



MANUAL DE USO DE LA PORCINAZA EN LA AGRICULTURA

“De la granja al cultivo”



Jorge Mario Noreña Grisales
Nelson Walter Osorio Vega
Juan Pablo Gómez Yarce



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

MANUAL DE USO DE LA PORCINAZA EN LA AGRICULTURA

“De la granja al cultivo”



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

Manual de uso de la porcinaza en la agricultura

“De la granja al cultivo”

2016

ISBN: 978-958-59135-3-0

Autores

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Jorge Mario Noreña Grisales - Docente Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Nelson Walter Osorio Vega - Docente Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Juan Pablo Gómez Yarce - Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Fotografías

Granja Porcícola La Pradera.

Granja Porcícola PAS.

Jorge Mario Noreña Grisales

Nelson Walter Osorio Vega

Porkcolombia

Diseño y diagramación

Cristina Yepes Pérez

Este manual se realizó con el apoyo de:

José Fernando Naranjo. Director Área Técnica. Porkolombia - Fondo Nacional de la Porcicultura

María Oliva Rodríguez Galindo. Coordinadora de Gestión Ambiental. Porkolombia - Fondo Nacional de la Porcicultura

Zulay Tafur Sanabria. Profesional área de suelos. Porkolombia - Fondo Nacional de la Porcicultura

Julia Matilde Restrepo: Jefe de Fincas y Medio Ambiente - PIC Colombia S.A.

Luz Stella Kuratomi: Directora Ejecutiva, CÁMARA DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS BALANCEADOS - ANDI.

Isabel Cárdenas Avila: Grupo Sostenibilidad Ambiental y Cambio Climático Dirección Innovación, Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria - MADR.

Ana María Martínez: Líder proyecto de Inocuidad de las Cadenas Agroalimentarias, Quindío - Instituto Colombiano Agropecuario - ICA.

Alejandro Vélez Baena: Administrador de Operaciones Agropecuarias - Solla S.A.

Sergio Octavio Giraldo: Departamento Técnico - TECNIAGRO S.A.

Inga Catherine Rodríguez: Profesional Universitario - Subdirección de Gestión Ambiental - CORANTIOQUIA.

Juan Carlos Cuao: Consultor Ambiental de Porkcolombia y empresas del sector porcícola nacional.

Luis Alberto González: Consultor Ambiental de Porkcolombia y empresas del sector porcícola nacional.

Porkcolombia - FNP



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.





CONTENIDO

Introducción.....	5
Unidad 1. Marco jurídico.....	13
Unidad 2. Generalidades del cerdo	15
Unidad 3. Producción de carne de cerdo a nivel mundial	19
Unidad 4. La porcínaza.....	23
Unidad 5. Función del suelo y disponibilidad de nutrientes	33
Unidad 6. Balance hídrico.....	55
Unidad 7. Manejo y aprovechamiento de la excreta porcina en la granja	63
Unidad 8. Riesgos y factores que condicionan el uso de la porcínaza como biofertilizante....	71
Unidad 9. Fundamentos de nutrición vegetal y su diagnóstico.....	81
Unidad 10. Plan de fertilización con excretas porcinas	87
Unidad 11. Pruebas físicas en suelos de uso agrícola y pecuario.....	101
Unidad 12. Estrategias de rehabilitación en suelos y pasturas para un uso racional de la porcínaza	119
Referencias bibliográficas.....	127
Vocabulario.....	135



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

INTRODUCCIÓN

Históricamente se ha reconocido la importancia del estiércol en la producción agraria. Según Gómez (1990), la excreta animal era una exigencia para la fertilización de cereales en la Europa Medieval, llegando a adquirir gran relevancia como insumo indispensable para la producción de alimentos destinados al consumo humano.

Así que el estiércol es un insumo de gran importancia en el desarrollo de la economía rural, porque al ser usado racionalmente tiene la capacidad de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, aumentando consecuentemente los rendimientos de los cultivos.

Lo anterior ha conllevado que gran parte de los adelantos tecnológicos en el sector agrícola se hayan orientado a éste campo, y no es casual, que Alan Robertson (1977)

en su “Manual de residuos de granja” escogió como portada el esquema de una “máquina” movida por un mecanismo de tracción animal, que incluía un tanque para

transportar la excreta líquida con un sistema de calibración para su adecuada distribución como biofertilizante en los campos.

Igualmente, se puede resaltar que en muchas exposiciones agrícolas del mundo, en materia de desarrollo e investigación, comúnmente se exhiben tecnologías en lo concerniente al uso eficiente de la excreta animal, con especial énfasis, en la importancia del uso racional de la misma, que garantice una buena productividad y la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción agropecuaria.

En el caso de las excretas porcinas, en Colombia en el año 1990, la empresa Tecniagro S.A. contrató un profesional del área de la bibliotecología, con gran experiencia en el sector agrícola colombiano, para elaborar una investigación bibliográfica sobre el estiércol de cerdo. Este trabajo se realizó usando referencias bibliográficas de la gran mayoría de bibliotecas del país y recolectando sólo las referencias fechadas entre los años 1979 y 1989, en los idiomas español, portugués, inglés y francés. Dicha investigación generó un total de 634 referencias bibliográficas, de las cuales 108 mencionan el tema de la fertilización con excretas porcinas (Lopera, 1990).

Considerando lo anterior, se puede valorar la trascendencia que ha tenido para la agricultura Colombiana, lo referente al aprovechamiento de las excretas porcinas como biofertilizante en los suelos con vocación agrícola, y es menester mencionar, que la importancia en los adelantos científicos para este campo, tiene alto interés a nivel mundial y que actualmente se desarrollan seminarios internacionales especializados en el manejo racional de estos subproductos para su aplicación en campo (NRAES, 1994).

Así que, retomando las ideas expuestas, es necesario en Colombia, el establecimiento

de políticas ambientales comprometidas con la construcción de una industria porcícola robusta, altamente competitiva y ambientalmente sostenible. Por consiguiente, se deberán replantear algunas percepciones sobre el tema y considerar a la porcinaza como un biofertilizante que siendo manejado racional y eficientemente en el sector agrario, es un insumo invaluable para aumentar la productividad de diversos cultivos.

Como se precisó anteriormente, la excreta porcina se considera un biofertilizante agrícola y es por ello, que una Directiva del Consejo de la Comunidad Económica Europea de diciembre de 1991, enfocada a la protección de las aguas contra la contaminación de diversas fuentes, incluye al estiércol dentro de la definición de *fertilizante* (MAFF, 1991). Además no es extraño, que las normas legales expedidas por el Ministerio de Agricultura de Colombia, consideren que el estiércol esté incluido dentro de los insumos agrícolas para uso masivo a nivel nacional por su trascendencia en el progreso del agro colombiano.

Sin embargo, el uso indiscriminado e irresponsable de este insumo agrícola, al igual que otros fertilizantes de diversos orígenes también utilizados en los cultivos, pueden conllevar a problemas de índole ambiental, generando impactos negativos principalmente en fuentes hídricas (siendo una causal de la pérdida de sustentabilidad de los agroecosistemas).

Debido a esto, han surgido varias posiciones por parte de algunos entes gubernamentales respecto al uso de la porcinaza fresca en campo, llegando a considerar que sólo era posible aplicar excretas porcinas, si habían sido sometidas previamente a tratamientos de “depuración” para minimizar los efectos nocivos sobre la naturaleza. No obstante, dicha percepción ya ha cambiado.

Pero es bueno aclarar, que actualmente, estos tratamientos no han brindado una solución definitiva al tema de minimizar los posibles riesgos ambientales. En tanto que, si generan una pérdida significativa de los nutrientes que son altamente requeridos por las plantas, y a su vez incrementan los costos de producción dentro del sistema productivo.

En investigaciones realizadas por Rankin (1993), se comparó el rendimiento económico de dos formas de utilización de la excreta porcina. En la primera, se trató en una laguna anaeróbica para luego ser depositada como fertilizante en cultivos agrícolas, y en la segunda, se usó como fertilizante sin someterse a ningún tratamiento, logrando apreciar, que la aplicación directa, siempre tuvo el mejor valor en el rendimiento de los cultivos. Este resultado fue soportado en la pérdida de nutrientes que implica el tratamiento de la excreta y es por eso, los estudios de Moser (1996) determinaron que después de 180 días de retención en una laguna anaeróbica se ha perdido el 60% del nitrógeno y el 30% del fósforo y el potasio.

El anterior panorama, indica que la alternativa más factible y económicamente viable para el productor en términos del uso de la porcina, es manejar la aplicación en fresco de este biofertilizante, fundamentado en un criterio de uso racional y bajo las recomendaciones técnicas de personal idóneo en el tema, que permitan reducir a su mínima expresión los posibles riesgos de contaminación ambiental.

Complementando lo anterior, Meeus-Verdinne y Destain (1993), afirman que el tratamiento de los residuos animales no ofrece un resultado definitivo a largo plazo y

por tanto, no es casualidad que existan muy pocas empresas en el mundo, dedicadas a la remoción de nutrientes en aguas con alta carga orgánica y mineral que procedan de empresas pecuarias, y se podría afirmar con certeza, que seguramente en más del 90 % de los casos, su destino final son los suelos con vocación agrícola y forestal.

Además es oportuno resaltar, que en los foros internacionales cuando se aborda el tema específico del tratamiento de las excretas (CMP, 1995; Piva, Prandini, & Mortiacchini, 1993), se ha reiterado que mientras no se desarrollen procedimientos económicamente viables para el productor en cuanto a la remoción de los nutrientes en las aguas procedentes de los efluentes de los sistemas de producción pecuario, su destino más adecuado serán los suelos con vocación agrícola y forestal.

Para sustentar lo antes expuesto, se puede afirmar que dentro de la normativa ambiental de Estados Unidos, se establece que las heces de origen animal deben terminar obligatoriamente como biofertilizante en los suelos y cabe precisar, que los costos que traería el hacer algo diferente a utilizarlo con esta finalidad serán demasiado altos (Moser, 1995 A), lo que estaría en detrimento de la competitividad económica de los sistemas productivos en un sector agroindustrial, que exige producir bajo los mínimos costos para ser económicamente rentable.

Boyd (1995) sostiene que hacer algo distinto al uso en el suelo como fertilizantes “causa muchos dolores de cabeza”, comenzando por la necesidad de obtener un permiso de vertimiento, y que sólo es justificable esta situación en países como Holanda y

Singapore, en los cuales existe una marcada deficiencia de áreas disponibles para cultivo, respecto a la sobreoferta de excretas provenientes de los sistemas de producción pecuarios, obligando a tratar los efluentes pecuarios generados al punto de poder descargarlos a los cuerpos de agua (Van Aspert, 1995; Go, 1995; Taiganides, 1992).

Por otra parte, en Estados Unidos, es prácticamente imposible conseguir un permiso de vertimiento para las aguas residuales de sistemas pecuarios; la norma es: “descarga cero” (Boyd, 1995; Ross, 1995). Y cualquiera sea el grado y tipo de tratamiento, necesariamente se dosifican a los suelos agrícolas como parte de las técnicas de fertilización y riego (Boyd, 1995). Por consiguiente, la solución más práctica y viable en el contexto Colombiano, consistiría en la aplicación racional y sostenible de estos subproductos pecuarios en el suelo, que permitan una disposición final de manera apropiada como fuente de nutrientes para diversos cultivos.

Según Huber, Joem, Jones, Sutton, Healy, McLoud & Wilcox, (1994), al presentar los múltiples sistemas de manejo de la excreta porcina en Norteamérica, dicen: “todos los sistemas retornan toda la excreta a las tierras”.

Sin embargo, se debe considerar, que el grado de tecnificación en las empresas porcícolas colombianas, ha traído consigo un incremento sustancial en la densidad de animales en las instalaciones, conllevando a la producción de grandes cantidades de porcina por unidad de área, por lo que se requerirá contar con mayores áreas de cultivo para su disposición.

Soliva (1993), expone una situación en Cataluña (España), cuando dice que en

muchas zonas, la producción de estiércol sobrepasa las necesidades de materia orgánica y nutrientes vegetales de los suelos para cultivo que están en las cercanías, siendo necesario sólo en estos casos, realizar tratamientos para estos subproductos que permitan darle una finalidad distinta.

Además, se puede rescatar lo enunciado por Moser (1995 B) cuando afirma: “En Estados Unidos, la cantidad de tierra que se tiene, determina la cantidad de cerdos que se pueden poner en una granja”. La anterior situación, no podrá considerarse como un factor limitante para el incremento de la productividad en los sistemas de producción porcícola colombiano, sino que se deberán plantear algunos procedimientos que permitan de manera responsable la transformación y acondicionamiento del estiércol porcino, para convertirlo en un fertilizante orgánico por excelencia con fines comerciales, que al igual que sucede en el sector avícola con el estiércol de las aves “gallinaza”, tenga la capacidad de generar valor agregado y dividendos representativos para el productor, permitiendo sopesar los costos de los tratamientos a los cuales será sometido este subproducto. En ese contexto, las áreas con vocación agrícola, seguirán siendo el sitio de disposición, y su fundamento de aplicación, seguirá siendo el de sus bondades como mejorador de las condiciones de fertilidad de los suelos.

Respecto a lo anterior, es preciso también comentar, que en el caso colombiano, las casas comerciales que proveen alimentos balanceados a las empresas porcícolas, han ajustado la formulación acorde a los

requerimiento del cerdo, según sus diferentes etapas productivas, línea genética y las condiciones ambientales predominantes en las diferentes regiones, lo que ha permitido aumentos considerables en las tasas de digestibilidad y absorción de nutrientes por parte de los animales, conduciendo a una disminución importante de las cantidades de nutrientes presentes en las excretas, lo que representa algo muy positivo en términos ambientales, dado que se podrá soportar una mayor cantidad de porcínaza en menos área de suelo destinado a cultivo.

Finalmente, se debe traer a colación el pronunciamiento del Profesor Chung Po (Director de la División de Industria Animal del Ministerio de Agricultura de Taiwan) en el seminario “Manejo de aguas residuales y excretas porcinas” realizado en México en marzo de (1995): “La remoción de los nutrientes de los residuos porcícolas es *inmoral, es un pecado*; ya que se gasta gran cantidad de gas natural y de energía en la producción de urea y amoníaco necesarios

para las producción agrícola. La remoción del nitrógeno de la excreta es un desperdicio de dinero y de energía. *Cuesta mucha energía producir nitrógeno*, para no reciclarlo, para dejar que se evapore. El fósforo también es un recurso, muy escaso y las autoridades quieren poner en vigor legislaciones sobre nitrógeno y fósforo y esto debería venir en el año 3.000. En este momento el mundo no está preparado para semejante desperdicio.” (Po, 1995).

Por lo antes descrito, se deberá promover en el caso Colombiano el aprovechamiento eficiente de la porcínaza, como un biofertilizante que es producido de manera bondadosa en los sistemas de producción porcícola del país y es pertinente invitar a la reflexión a los diferentes entes gubernamentales, para que se abstengan en algunos casos de formular y establecer normativas ambientales que estén direccionadas a limitar su aplicación directa en campo, sino por el contrario, permitan fomentar procesos de capacitación e instrucción, respecto al uso racional y la forma correcta como se debe utilizarse este insumo en la agricultura nacional.

OBJETIVO GENERAL

Establecer las directrices y criterios técnicos referentes al uso racional de la porcinaza fresca, que permitan consolidar el uso masivo de la misma como un biofertilizante de gran capacidad de aporte en la productividad de diferentes sistemas de producción agrícola colombianos.

Objetivos específicos

1. Enunciar los lineamientos legales y constitucionales de índole ambiental, respecto al uso de la porcinaza, que se deben tener presente para cimentar una producción porcícola prospera, competitiva y sostenible, que contribuirá de manera escalonada al desarrollo económico del país.
2. Definir las diferentes estrategias de manejo agronómico y ambiental referente al uso racional de la porcinaza fresca en cultivos de interés económico colombiano.
3. Determinar posibles riesgos ambientales durante y después de la aplicación de este subproducto pecuario, logrando concientizar al productor porcícola sobre la responsabilidad existente respecto al cuidado del medio ambiente.
4. Contribuir a la capacitación de productores agrícolas y pecuarios en lo concerniente al uso racional de la excreta porcina.

ALCANCE

Este manual recopila información de experiencias de campo e investigación, referente al uso racional de la porcínaza bajo una perspectiva de gestión ambiental, y bajo un marco que involucra la participación activa de autoridades ambientales, sectores productivos y la parte académica (en especial, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). Lo que lo convierte en un valioso instrumento de orientación técnica, especialmente para el productor porcícola, dado que integra diferentes conceptos, cálculos, metodologías y estrategias de manejo, que permiten establecer los principios básicos respecto al aprovechamiento eficiente de la porcínaza como biofertilizante en el agro colombiano, y que por ende contribuye al progreso económico de los sistemas de producción agropecuarios nacionales, encaminándolos hacia un horizonte de mayor sostenibilidad y competitividad en un mundo agrario cada vez más globalizado.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

UNIDAD 1

MARCO JURÍDICO

Respecto al uso de las excretas originadas en los sistemas de producción porcícolas como biofertilizante en diversos cultivos, se deben considerar algunos lineamientos de índole legal, que permiten al productor direccionar y desarrollar su actividad económica sin

generar impactos negativos sobre el medio ambiente. En la Tabla 1 se documentan en orden cronológico los aspectos normativos, que deben cumplir los productores porcícolas en Colombia.

Tabla 1. Marco jurídico

Norma	Año	Descripción
Ley 23	1973	Por la cual se expide el código de recursos naturales y de protección al medio ambiente, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811	1974	Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y se dictan otras disposiciones donde se establece el marco regulatorio para el manejo de las aguas en cualquiera de sus estados.

Tabla 1. Marco jurídico (Continuación)

Norma	Año	Descripción
Decreto 1449	1977	Establece las responsabilidades de los propietarios de predios ribereños sobre vegetación protectora, conservación de suelos, y aprovechamiento de aguas.
Ley 09	1979	Por el cual se establece el código sanitario nacional, uso del agua, manejo de vertimientos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594	1984	Por el cual se reglamenta parcialmente la ley 09 de 1979 en cuanto al uso del agua y manejo de vertimientos. Define los límites permisibles para el vertimiento o descarga de residuos líquidos a un cuerpo de agua o alcantarillado sanitario.
Resolución 150	2003	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.
Norma técnica colombiana (NTC) 5167	2004	Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.
Resolución del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) 2341	2007	Establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los predios de producción primaria dedicados a la producción de bovinos y bufalinos destinados para el consumo humano.
Resolución 2640	2007	Por el cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado para consumo humano.
Resolución 2115	2007	De los ministerios de Ambiente y de Protección Social, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 09 de 1979, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Define Las disposiciones en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Decreto 4728	2010	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010.
Resolución 698	2011	Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos de uso agrícola y se dictan otras disposiciones.
Resolución 631	2015	Rige la calidad de los afluentes domésticos y no domésticos vertidos a cuerpos de agua superficiales y alcantarillados. Especifica los límites de calidad de vertimientos por tipo de industria a diferencia del decreto 1594 que establece límites generales.
Decreto 1076	2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

“Para cualquier efecto deben tenerse en cuenta las normas que modifiquen, aclaren, sustituyan o deroguen las normas anteriormente referenciadas”.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

UNIDAD 2

GENERALIDADES DEL CERDO

2.1 Aspectos generales.

El cerdo es un mamífero que pertenece al orden *Artiodactyla* por la terminación de sus extremidades en número par de dedos; Familia: *Suidae*, y su nombre científico es *Sus scrofa*, donde se incluyen los cerdos domésticos y el jabalí, descendientes de los cerdos salvajes de Europa y otros del sureste asiático. Debido a sus condiciones de productividad y adaptabilidad se promovió su domesticación en China, probablemente hace unos 9000 años, posteriormente fueron introducidos a Europa y luego llevados por Cristóbal Colón y los expedicionarios españoles al continente Americano (Del Río, 1996).

A través de los años, estos animales han sido adaptados y mejorados genéticamente para la producción de carne, gracias a que poseen una alta velocidad de crecimiento

y desarrollo, además de su prolificidad, ya que en la cerda su ciclo sexual es de aproximadamente 21 días en condiciones normales y que al ser servidas por

inseminación artificial o monta natural procrean camadas muy numerosas en un periodo de gestación cercano a 114 días. Es bueno anotar, que los cerdos producidos en el país han sido sometidos a cruzamientos selectivos para mejorar la calidad y la capacidad de producción cárnica, logrando así una mejor conversión alimenticia. De la misma forma, se han venido mejorando otras características de interés, como la tasa de crecimiento y su precocidad, provocando que la pubertad en cerdas se alcance entre los 4 y 5 meses, aunque la vida reproductiva deba comenzar a los 7 u 8 meses de edad en las cerdas cuando se encuentren entre los 130 a 135 kg de peso vivo.

Otro aspecto relevante que se ha mejorado, en estos animales es su adaptación y habilidad materna, lo que ha permitido aumentar el número de lechones nacidos y destetados por cerda al año, el peso total de la camada al destete, los intervalos del destete al momento del servicio y el peso final al beneficio. Para lograr lo anteriormente señalado, se ha establecido la selección y utilización de líneas maternas especializadas en mejoramiento de aspectos reproductivos, y líneas paternas o de finalización han sido especializadas en producción de carne, cada una de estas compuestas por diversa razas como lo son:

Líneas Maternas:

YORKSHIRE, LANDRACE, LARGE WHITE

Líneas Paternas: Terminales:

DUROC, PIETRAIN Y HAMPASHIRE

Los resultados de los procesos de mejoramiento genético no solamente dependen de las razas y líneas genéticas seleccionadas, sino también, del programa de manejo de la granja porcícolas, la cual deberá contemplar aspectos sanitarios y de bioseguridad acorde al diseño de las instalaciones, así como de la ubicación

de la granja en relación a otros sistemas productivos agropecuarios cercanos, que puedan inducir una posible presentación de enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos y parásitos que terminen afectando los rendimientos en los sistemas de producción porcícola.

Se precisa también, que los cerdos son animales omnívoros, lo cual permite incluir en sus dietas una gran variedad de materias primas para la elaboración de alimentos balanceados, como el caso de la soja (soya), maíz, raíces y tubérculos, entre otros, que serán convertidos en kilos de carne (Del Río, 1996). Asimismo, pueden usar limitadas cantidades de forrajes frescos, ensilados o deshidratados. Por otro lado, su estómago tiene una capacidad de 6 a 8 litros en animales adultos, determinando un tránsito de alimento aproximado de 18 y 22 horas. Haciendo la salvedad, que es más rápida la digestión en un cerdo joven que en un adulto.

Al igual que en otras especies, el cerdo es jerárquico, gregario y establece estructuras sociales a las pocas horas de vida, lo cual se inicia al momento de competir por la glándula mamaria, donde se alimentará durante su lactancia; por ende, es importante que en las instalaciones de la granjas porcícolas exista una disposición adecuada de alimento y agua en las etapas posteriores, para favorecer las condiciones de bienestar de los animales, disminuyendo así, el efecto negativo que genera en la productividad este tipo de relaciones intraespecíficas.

Por último es bueno considerar que en Colombia, dependiendo del grado de tecnificación del sistema productivo se encontraran diferentes etapas o fases productivas como: hembras de remplazo o primerizas, cerdas en gestación, cerdas en lactancia, lechones lactantes, precebos, levante, cerdos de engorde o ceba y macho reproductor.

2.2 Influencia de la nutrición del cerdo en la disminución de olores y la concentración de nutrientes en las excretas.

Según el Comité Técnico de la Cámara de la Industria de Alimentos Balanceados - ASOCIACIÓN DE INDUSTRIALES DE COLOMBIA – ANDI 2016, en los últimos años ha mejorado significativamente la eficiencia alimenticia en la producción porcina, la cual se mide en términos de cuántos kilos de alimento consume un cerdo para producir un kilo de peso vivo. Hace 10 años la industria generaba conversiones alimenticias en la etapa de ceba de 2,42:1, y en la actualidad para esa misma etapa, están en 2,06:1, lo que implica reducciones en el consumo de alimento de aproximadamente un 14% y en consecuencia, reducciones en un 14.6% de la excretas producida por animal. En términos cuantitativos esto equivale a pasar de producir 75 kg a 64 kg de excreta seca por cada cerdo cebado.

Para dicho Comité la contribución al logro anterior por parte de la industria de alimentos se puede resumir en los siguientes puntos:

- En la utilización de planes nutricionales multietapas, los cuales son formulados según las necesidades de cada edad y etapa productiva de los animales. Lo que minimiza el desperdicio de nutrientes como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Cobre, Zinc y otros minerales.
- Uso de ingredientes o materias primas de excelente calidad, que aseguran mayor digestibilidad de la materia seca.
- Incorporación en los laboratorios de análisis y equipos de alta tecnología para realizar pruebas de control de calidad sobre las herramientas y maquinaria utilizadas en la elaboración de los alimentos, lo que garantiza formulaciones más exactas.
- Utilización de prebióticos y probióticos que contribuyen a un mejor desempeño productivo de los animales. Los primeros son aditivos no digeribles que se utilizan en el alimento para favorecer el crecimiento de la flora bacteriana benéfica evitando la proliferación de microorganismos patógenos, mientras que los segundos son microorganismos benéficos vivos que evitan el crecimiento de microorganismos nocivos y a su vez ayudan a mejorar la eficiencia de procesos involucrados con la digestión y absorción de nutrientes en el animal.
- El uso racional de promotores de crecimiento, los cuales permiten mejorar notablemente la conversión alimenticia.
- Uso de enzimas en la industria de alimentos, tales como:
 - Fitasas: que mejoran la digestibilidad del fósforo en las materias primas de origen vegetal.
 - Proteasas: que incrementan la digestibilidad de las proteínas.
 - Xilanasas y Celulasas: que aumentan la digestibilidad de los carbohidratos fibrosos.
- Aplicación del concepto de fósforo digestible en la formulación de alimentos, generando una reducción en la utilización de ingredientes que contengan este mineral en las dietas.
- Incorporación en las dietas de minerales orgánicos con mayor asimilación respecto a los tradicionales, lo cual genera una disminución de éstos en las excreciones del animal.

- Utilización de aditivos con base en *Yucca schidigera*, que disminuyen la emisión de gases tales como amonio y otros.
- Empleo de alimentos peletizados, que optimizan el uso de los nutrientes por parte de los animales.
- Disminución del desperdicio de alimento en las instalaciones productivas a través del diseño de comederos más adaptados a la anatomía y la etología del cerdo.
- Empleo de un mayor número de dietas y fases productivas, permitiendo que los niveles nutricionales se ajusten mejor a los requerimientos del animal y por ende, se reduzca el desperdicio de nutrientes que finalmente terminan siendo excretados por el cerdo. Esto se puede apreciar en la (Figura 1).

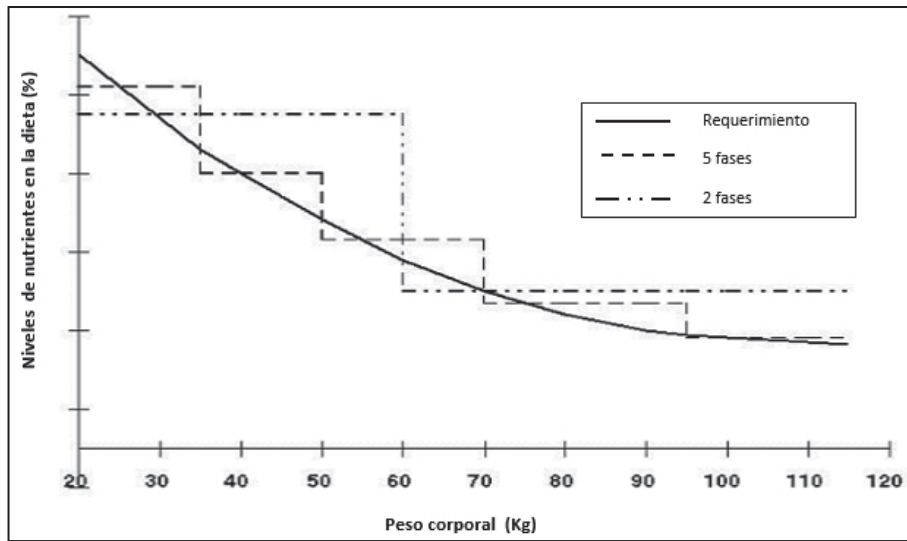


Figura 1. Efecto del número de fases productivas respecto al requerimiento animal según el peso corporal.

Fuente: SIMPSON y DE LANGE (2004).

Es de resaltar, que en Colombia se ha extendido el uso del concepto de proteína ideal y aminoácidos digestibles en las dietas actuales, que involucran la utilización de aminoácidos sintéticos, con el fin de disminuir la cantidad de nitrógeno en las excretas. Al

respecto, se entiende como proteína ideal el balance óptimo de los aminoácidos que componen la proteína que será suministrada para maximizar el crecimiento del cerdo, reduciendo los excesos de este nutriente en la dieta.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura .

UNIDAD 3

PRODUCCIÓN DE CARNE DE CERDO A NIVEL MUNDIAL

En el año 2015, el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), estimó una producción de 110.87 millones de toneladas de carne de cerdo a nivel mundial, lo que representó un incremento en la producción del 0.4% con respecto a la producción de 2014, que fue de 110.48 millones de toneladas como se aprecia en la Figura 2.

Las 110.48 millones de toneladas de carne de cerdo producidas a nivel mundial en el año 2014, incrementó en 1.5% la productividad con respecto al año anterior, que fue de 108.89 millones de toneladas, pero dicha producción, representa un crecimiento del 18% respecto a la cantidad de carne que se producía en el año 2005. Lo anterior evidencia un incremento sustancial en la producción de carne de cerdo en la última década, que ha sido favorecida por el aumento constante en la demanda.

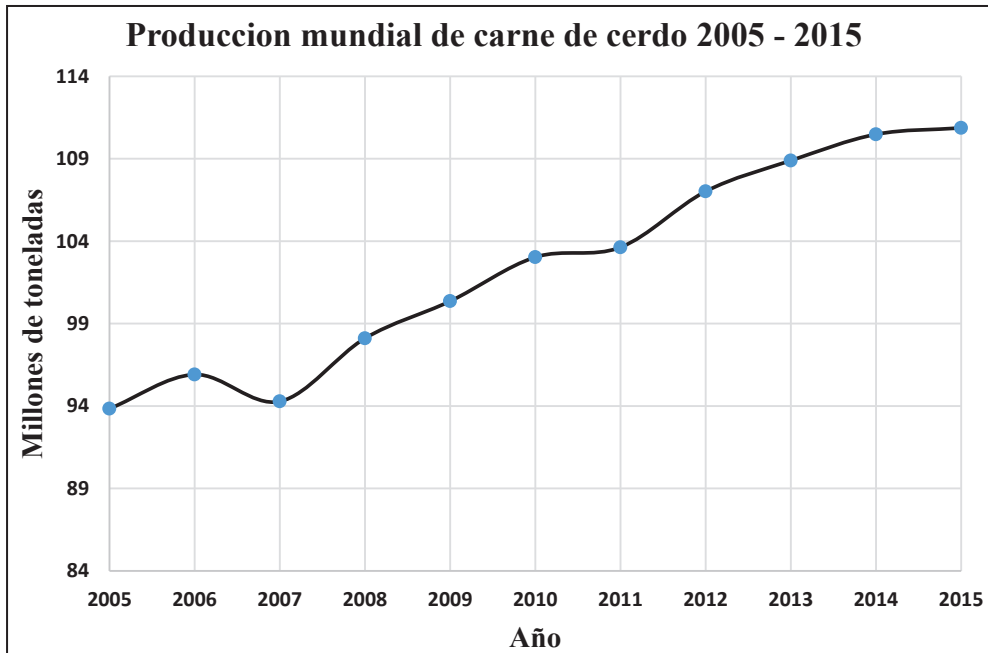


Figura 2. Producción mundial de carne de cerdo período 2005-2015

Fuente: Tomado y modificado de Observatorio de Precios con datos del USDA.

Según datos del USDA, en la producción de las 110.48 millones de toneladas producidas en 2014, los principales países productores de carne de cerdo fueron:

- 1º. China con una producción de 56.6 millones de toneladas de carne de cerdo, es decir, que en 2014 aportó el 51% del total mundial de la producción de carne de cerdo.
- 2º. La Unión Europea produjo 22.4 millones de toneladas, lo que representa el 20% del total de producción.
- 3º. Estados Unidos aportó el 10% del total de la producción mundial, representado 11 millones de toneladas de carne.
- 4º. Brasil produjo 3 millones de toneladas de carne, lo que representó un 3% de la producción mundial.

La distribución del censo de países productores de carne de cerdo a nivel mundial, se concentra en su mayor parte en Asia, especialmente en China (51%), seguido por la Unión Europea (20%) y EEUU (10%), como se ilustra en la (Figura 3).

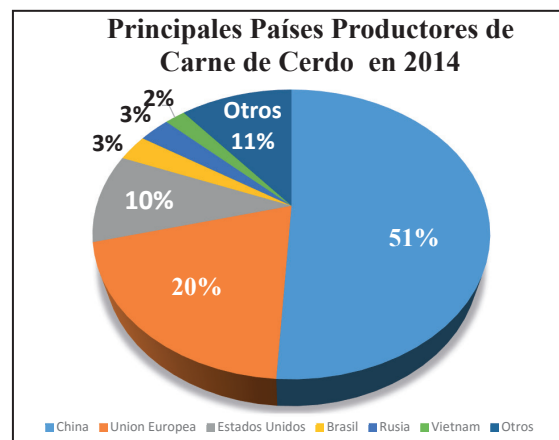


Figura 3. Principales países productores de carne de cerdo en 2014.

Fuente: Observatorio de Precios con datos del USDA.

Censo Población de Porcinos - Colombia 2016

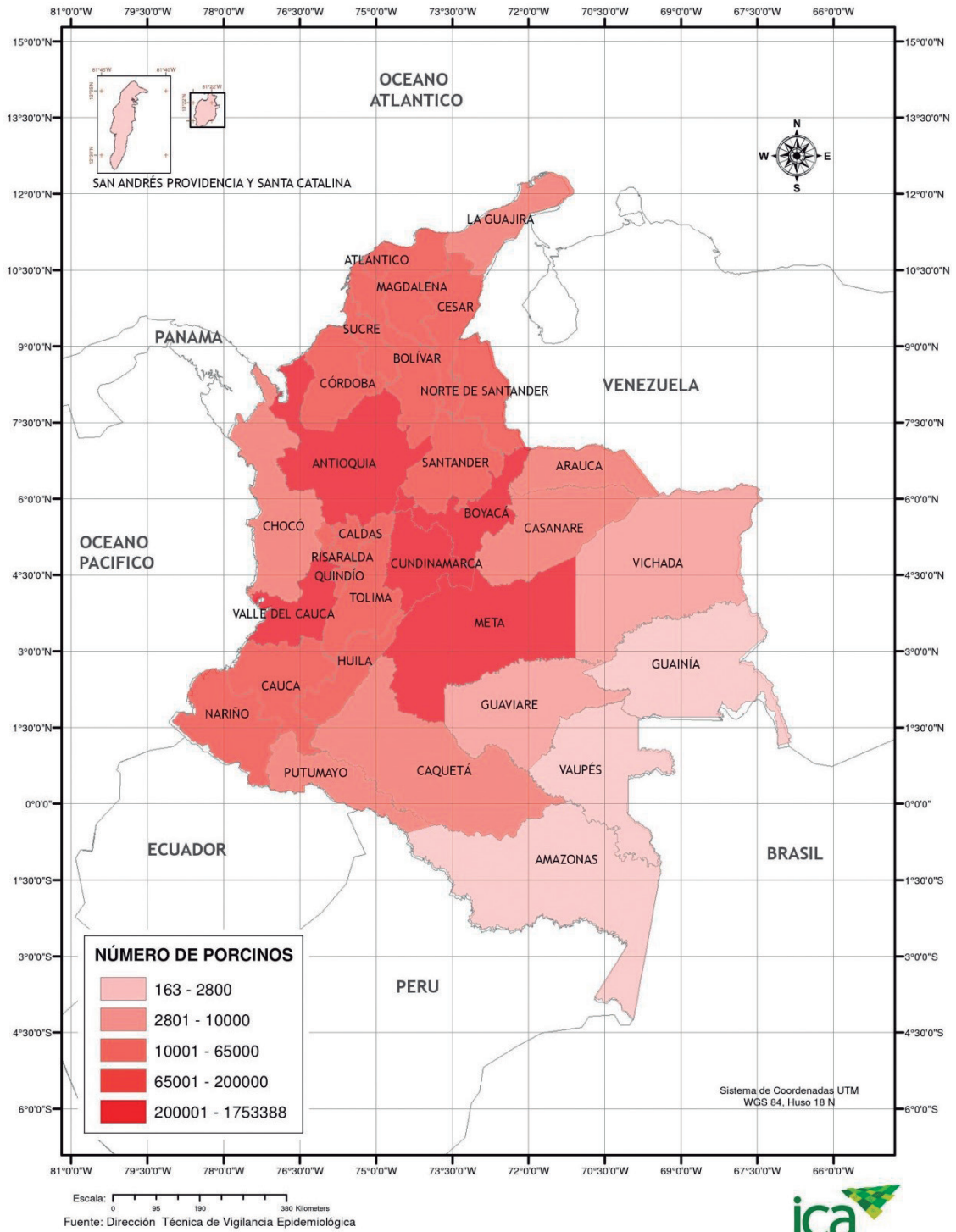


Figura 4. Censo poblacional de porcinos en Colombia (ICA 2016).

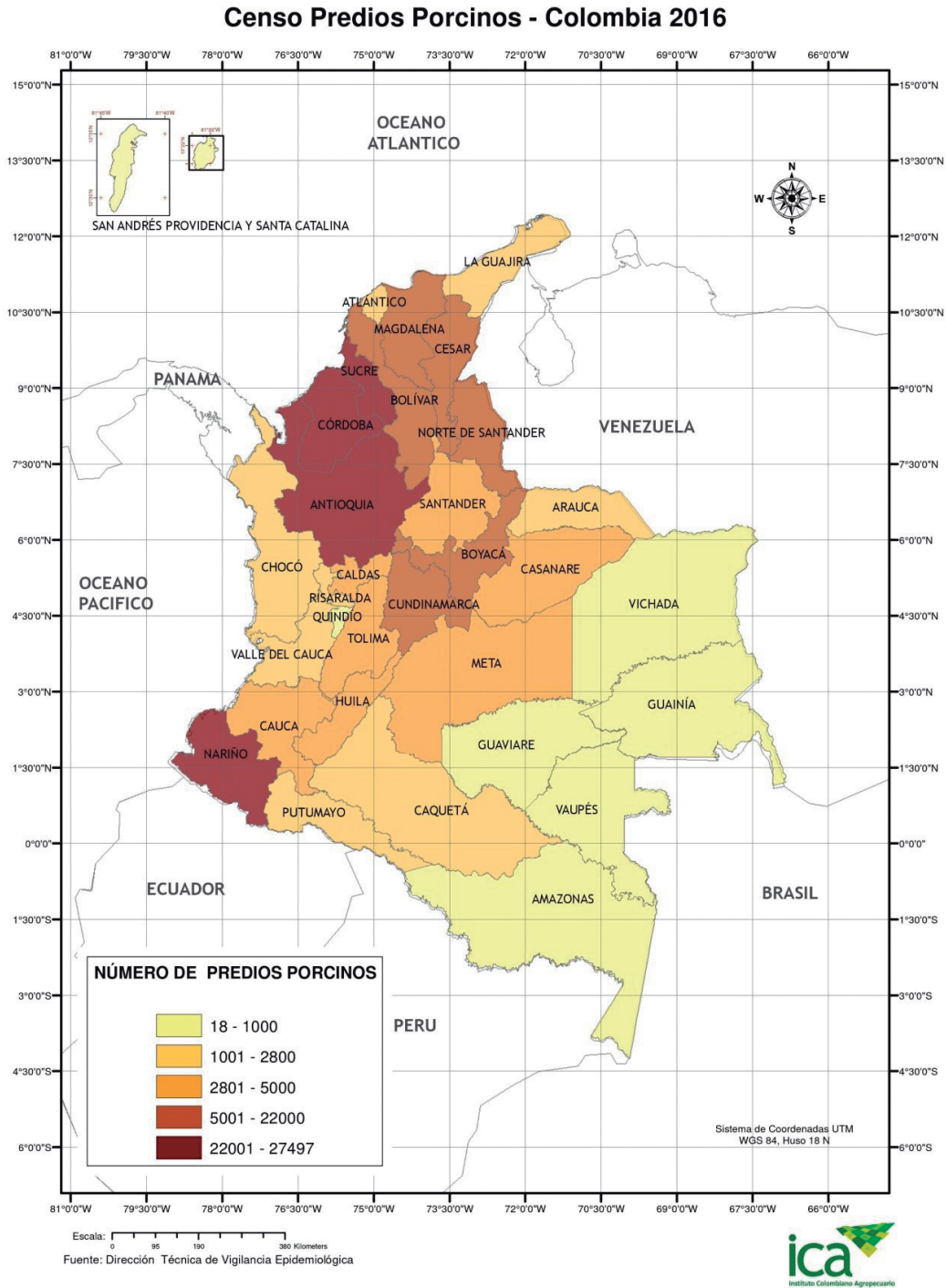


Figura 5. Censo poblacional de predios porcinos en Colombia (ICA 2016).

Se debe precisar, que en el caso del departamento de Antioquia, se registra una alta población de porcinos, que obedece a un alto consumo de carne de cerdo per cápita, que ha incentivado en los últimos años el desarrollo y tecnificación de los sistemas productivos porcícolas en este departamento.

De lo anterior, es prudente mencionar, que es necesario fomentar e implementar en las áreas geográficas poco dedicadas a esta actividad pecuaria, estrategias comerciales que permitan motivar la generación de nuevas empresas porcícolas, que aportarán aún más al progreso económico de la porcicultura en el país.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura .

UNIDAD 4

LA PORCINAZA

4.1 Aspectos Generales

4.1.1 Propiedades de la porcinaza

La porcinaza es un biofertilizante con grandes propiedades como fuente de nutrientes en diversos cultivos, pero es bueno aclarar, que su manejo agronómico y ambiental debe ser responsable y racional para poder aprovechar al máximo sus bondades en el ámbito agrícola.

Respecto al manejo de la porcinaza, es apropiado considerar, que durante el proceso de recolección, transporte, almacenamiento y distribución de la misma en campo, existen nutrientes como el nitrógeno que se pierden por diversas causas y es allí, donde se deberán a futuro encaminar diversos procesos investigativos que permitan aminorar dichos efectos.

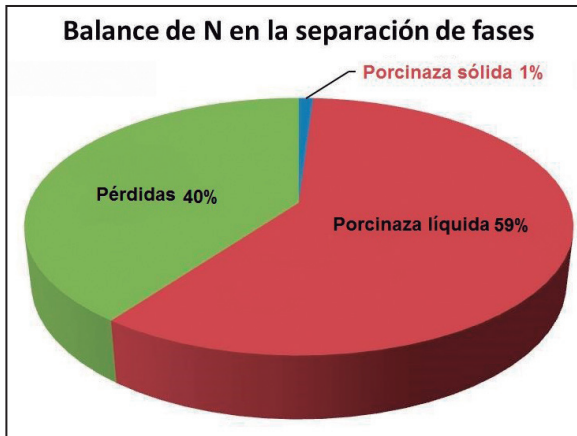


Figura 6. Balance de nitrógeno en la separación de fases.

Fuente: González, 2015.

En la Figura 6, se observa que el nivel de pérdidas de nitrógeno es alto y que la porcinaza líquida conserva la mayor cantidad de éste, por ende, lo convierte en una fuente invaluable.

4.1.2 Caracterización de la porcinaza

La porcinaza está formada por heces fecales y orina, mezcladas con el material utilizado como cama, residuos de alimento, polvo, otras partículas y además de una cantidad variable de agua proveniente de las labores de lavado.

Su producción puede ser afectada por varios factores, tales como:

- Estado fisiológico y sanitario del animal.
- Cantidad y calidad de alimento ingerido por el animal
- Volumen de agua consumida.
- Condiciones ambientales.

Considerando que la porcinaza está compuesta por orina y heces, la primera, representa aproximadamente el 45 % de la excreta, y la segunda el 55% de la misma. Asimismo, el contenido de humedad está

entre el 88% y 90%; el contenido de materia seca oscila entre el 10% y 12%. Entre tanto, los sólidos representan un 90% de las heces y un 10% de la orina, además la excreta porcina en el tanque estercolero contiene sólidos que flotan, sólidos que se sedimentan y sólidos en suspensión, y su densidad se aproxima a 1.0, aunque puede ser ligeramente superior (Peralta, 2005).

Respecto al pH, mientras más frescas sean las excretas, más neutro será el mismo y podrá variar entre 6 y 8; (ACP, CORANTIOQUIA & CORNARE, 1996). Por otra parte, la temperatura de la excreta fresca al momento de su expulsión es la misma que la del cuerpo del cerdo, posteriormente alcanza la temperatura del piso de la instalación y finalmente la temperatura de la misma estará determinada por el agua con la cual se mezcla.

De otro lado, la alcalinidad y conductividad eléctrica son propiedades más del agua de lavado y de bebida que propiamente de la excreta (ACP *et al.*, 1996).

4.1.3 Bondades de la porcinaza

Son muchos los atributos y beneficios que tiene la porcinaza como biofertilizante en la producción agrícola. Una de las principales ventajas para el productor al aplicar dicho insumo en el suelo, es que incurre en un ahorro económico al reducir la aplicación de fertilizantes de síntesis química en sus cultivos.

La porcinaza por sí sola, incrementa notablemente la fertilidad química de las áreas de cultivo al aportar Nitrógeno, Fosforo, Potasio y otros nutrientes importantes, además de mejorar las propiedades físicas y especialmente las biológicas, aumentando así la capacidad de crecimiento y desarrollo en las plantaciones agrícolas.

Cadavid (1983), menciona como principales efectos benéficos del uso de porcinaza en los suelos los siguientes:

1. Mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.
2. Incrementa la capacidad del suelo para retener humedad.
3. Mejora la capacidad de aireación del suelo.
4. Aumenta la composición química del suelo y libera lentamente N, P y K.
5. Servir como fuente de N y otros elementos nutritivos a las plantas.
6. Ayudar a volver asimilables los minerales insolubles.
7. Adsorber los fertilizantes inorgánicos solubles, reteniéndolos e impidiendo que se pierdan por lavado.
8. Servir de alimento a bacterias, hongos y otros microorganismos.

Además, la investigación presentada por este autor concluye que la aplicación de porcinaza ha tenido un efecto benéfico sobre la composición química, fertilidad del suelo, producción y valor nutritivo del forraje, y consecuentemente sobre la producción de leche por unidad de superficie, al disminuir el período de descanso de los potreros y aumentar la frecuencia de pastoreo en los mismos (Cadavid, 1983).

En el mismo sentido es importante señalar, que respecto al efecto de la porcinaza sobre el mejoramiento de las propiedades físicas de los suelos, Segarra (1983) indica que: “suele apreciarse una disminución en la densidad aparente de los suelos, lo que se traduce en una mayor “esponjosidad” de éstos, responsable de incrementos notables en la capacidad de retención de agua.” Al respecto también dicen Sutton, Jones, Joern, & Huber, (1994): “una ventaja de la

aplicación de la excreta porcina a los suelos es que mejora la estructura e incrementa su contenido de materia orgánica, lo cual conduce a un aumento de su profundidad efectiva, y su capacidad de retención de nutrientes y agua.”, y aún más específico es Weeks (1994), cuando afirma que la adición de excretas a los suelos ayuda a reducir los procesos de escorrentía en el suelo.

De la misma manera, Muñoz (1983) sustenta que: “muchos son los efectos benéficos producidos por los abonos orgánicos en el desarrollo de las plantas; los cuales se pueden atribuirse, entre otros aspectos, a que son materiales de rápida degradabilidad y fuente de nutrientes como N, P, K, Ca, Mg, B, Fe, Mn, Zn, y Cu. Asimismo, favorecen la presencia de microorganismos que enriquecen la microfauna del suelo y aportan beneficios sobre la estructura y la retención de humedad”.

Con respecto a la proporción de nutrientes en la excreta, dice Castellón (1993), que las cantidades de elementos secundarios (como azufre y magnesio) y de oligoelementos, son siempre suficientes para suplir toda deficiencia nutricional del cultivo cuando la aplicación de estos subproductos se hace de manera regular y efectiva. Es de anotar, que el nitrógeno de los residuos orgánicos contribuye a la nutrición de las plantas y también una parte de éste, se incorporará al humus del suelo, interviniendo en los complejos procesos de humificación que son favorables para la sostenibilidad del agroecosistema (Segarra, 1996).

Referente al humus, Rojas & Lora (1992), investigadores del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), sustentan que las pérdidas de humus que sufre el suelo son enormes y que pueden restituirse con la adición de abonos orgánicos que son fuente de humus, como es el caso de la porcinaza. Estos mismos autores refuerzan la anterior

posición agregando: “es tan obvio y conocido el valor del estiércol de los animales en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, que nos parece ocioso repetir la conveniencia de emplear este producto donde quiera que lo haya” (Rojas & Lora, 1992).

Se puede considerar finalmente que la excreta animal ayuda a incrementar y mantener la fertilidad del suelo, permite mejorar la profundidad de la capa arable e incrementar la capacidad de retención de agua, además que contribuye disminuir la erosión por viento y el agua, mejorar la aireación del suelo, y estimular la micro y macrofauna benéfica en el mismo (Veenhuizen, Eckert, Johnson, William, Manel & Schnitkey, 1992).

4.1.4 Valor económico de la porcinaza

Meeus-Verdinne & Destain (1993), afirman que: “A dosis compatibles, los efluentes animales tienen esencialmente una serie de efectos positivos sobre el suelo y las plantas. El estiércol es un importante generador de humus, de aporte benéfico del nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, boro, zinc y cobre, todos esenciales para las plantas, que hacen de las excretas un recurso importante para la agricultura. Por otro lado, los elementos indeseables en las excretas animales (cadmio, mercurio y arsénico) sólo son aportados en escasas cantidades”.

Prosiguiendo con el tema, Castellón (1993) reporta los resultados de dos ensayos realizados en el oeste de Francia en dos zonas diferentes utilizando maíz (*Zea mays*) para ensilar y pasto Raigrás Ingles (*Lolium perenne*). En ambas zonas y en los dos cultivos se compararon tres situaciones de fertilización: ninguna, mineral y orgánica. Después de 8 años de cultivo, el promedio para la producción anual fue similar para la fertilización con excreta (orgánica) y con fertilizantes de síntesis química (mineral) es

decir, 8,81 vs 9,17 y 10,96 vs 10,32 ton/ha respectivamente, y obviamente, superior a la producción de los suelos sin fertilizar.

Según reportan algunas investigaciones, se ha demostrado que a largo plazo en los sistemas arables, las más altas producciones sólo son posibles y sostenibles cuando se mantiene el nivel de materia orgánica en el suelo (MAFF, 1993). Lo antes enunciado, puede ser respaldado por la siguiente frase que hace alusión a la porcinaza líquida como fertilizante orgánico: “la aplicación a la tierra de las excretas líquidas beneficia al suelo y las cosechas producidas sobre él. El suelo tiene una tremenda capacidad para reciclar, retener y biodegradar las excretas líquidas” (Geohring & Van Es, 1994).

En la mayoría de los sistemas de producción dedicados a la ganadería de leche en el trópico alto colombiano, el uso de la excreta como fertilizante para los cultivos de pastos es un factor preponderante e indispensable para la sostenibilidad económica de esta agroindustria. La producción agrícola (sea pastos o cualquier otro cultivo) tiene como aliado a la actividad porcícola y en algunas regiones del territorio nacional, no es posible describir la actividad porcícola o la actividad lechera por separado, sino bajo la sinergia productiva en estos dos sistemas de producción pecuario. En este contexto, es bien importante resaltar la historia del Norte (cercano) de Antioquia, donde los antepasados llegaron a estas tierras degradadas, con avanzados procesos erosivos producto de muchos lustros de una agricultura en ladera técnicamente mal orientada, además de los efectos negativos que generó en el suelo la actividad minera motivada por la explotación del oro de aluvión en la segunda mitad del siglo XIX, donde fueron denunciadas 90 minas sólo en el municipio de Donmatías - Norte de Antioquia (Baena & Baena, 1989).

Es de precisar, que hace 20 años atrás, estos “suelos” entregaban 1.000 – 1.500 litros de leche por hectárea/año y en la actualidad con la aplicación de porcinaza producto de la actividad de las granjas porcícolas ubicadas en esta región, se está produciendo actualmente más de 12.000 litros de leche/hectárea-año (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

La situación antes descrita, bajo la percepción de expertos israelitas que visitaron el norte de Antioquia, concluyeron que la actividad conjunta de la porcicultura

con ganadería de leche, era el único caso exitoso de rehabilitación de suelos que conocían después de viajar por toda América (Uribe,1996). Es decir, la porcicultura establecida en estos territorios ha contribuido significativamente en la recuperación de la fertilidad física, química y biológica de esos suelos, recuperando y maximizando la productividad de estas áreas anteriormente deterioradas y que actualmente sirven como zonas que proveen abundante alimento y trabajo formal para miles de familias colombianas.

La excreta porcina puede ser considerada entonces, como un biofertilizante que aplicado en las dosis adecuadas según la condición de cada zona y las exigencias de cada cultivo, contribuye a la sostenibilidad y competitividad económica de muchos sistemas de producción agrícolas y pecuarios, que se verán a su vez favorecidos al sustituir en gran proporción el uso de fertilizantes de síntesis química de alto costo comercial. Es conveniente resaltar, que en Colombia se importan grandes cantidades de urea y fertilizantes nitrogenados con un precio de venta muy alto para los productores en el mercado nacional. En solo nitrógeno, la porcicultura del país vía excreta reciclaría cada año entre 27.000 y 30.000 toneladas; es decir entre 59.000 y 65.000 toneladas de urea, por un valor estimado entre US\$ 14.160.000 y 15.600.000, que representa un ahorro económico muy importante para los productores agrarios colombianos (Orrego, s.f).

4.1.5 Valor ambiental de la porcinaza

La adición de porcinaza al suelo como se ha venido argumentando, tiene efectos benéficos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando el rendimiento de los cultivos, que se refleja, por ejemplo, en el caso de los pastos para alimentación bovina, en una mayor producción de leche por unidad de área, debido a la disminución en el periodo de descanso en los potreros, al aumento de la carga animal y la frecuencia de pastoreo por el incremento en la cantidad y en la calidad de forraje producido por metro cuadrado.

A pesar de los efectos positivos sobre el suelo y las plantas, la porcinaza debe aplicarse de forma racional y compatible con la valoración

agronómica de las áreas destinadas a cultivo y las exigencias nutricionales de las plantaciones agrícolas. Teniendo presente lo anterior, la porcinaza se convierte en un fertilizante altamente apreciado en la agricultura colombiana.

En relación al valor ambiental de la porcinaza, muchas granjas generan gas combustible mediante biodigestores, que representa un ahorro de energía al sistema de producción. Por otro lado, la fertilización con porcinaza en los cultivos genera un rápido crecimiento y desarrollo de las plantas, permitiendo que se fijen más cantidades de CO₂, contribuyendo de este modo a reducir el efecto invernadero.

En el mismo sentido, el cerdo es una de las especies más eficientes en la conversión alimenticia, por tanto, la relación estiércol producido por tonelada de carne producida es comparativamente de las más bajas dentro de las especies domésticas destinadas a la producción cárnica. A su vez, es una especie que puede recibir diversas materias primas para su alimentación, lo cual permite utilizar alimentos producidos localmente, reduciendo un potencial impacto ambiental por reducción de gases efecto invernadero que se genera muchas veces por el transporte vehicular durante los largos recorridos para el traslado de los alimentos balanceados hacia los sistemas productivos (Guía para el subsector porcícola, 2002).

4.2 Estudios de caracterización de la excreta porcina

La Tabla 2 presenta un interesante estudio en 15 instalaciones porcícolas ubicadas en el norte de Antioquia, en las que se muestrearon ocho fases productivas: Ceba, Levante, Precebo, Lechones Lactantes,

Hembras de Reemplazo, Hembras Gestantes, Hembras Lactantes y Macho Reproductor. La evaluación permitió determinar en laboratorio las cantidades de Nitrógeno (N), Fosforo (P_2O_5), Potasio (K_2O) presentes en la excreta. Los resultados obtenidos fueron promediados tanto para la porcinaza solida fresca, como para la procedente del tanque estercolero. Es pertinente mencionar que todas las excretas fueron evaluadas en el Laboratorio GIEM (Grupo de Investigación de Estudios Moleculares) de la Universidad de Antioquia, y que los resultados fueron interpretados por el equipo de profesionales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín que elaboró el Manual.

Como se observa en la Tabla 2, la concentración de fósforo en la **porcinaza solida fresca** siempre es mayor respecto a la proporción de nitrógeno y potasio en todas las fases productivas, y cuando se promedia la relación P_2O_5 y N es casi 3:1. Mientras que, es prácticamente igual, para el caso del P_2O_5 y N, cuando procede del **tanque estercolero**.

Tabla 2. Contenido de nutrientes en la excreta porcina.

PROMEDIO PORCINAZA SOLIDA FRESCA POR FASE PRODUCTIVA	N (%) (N Total)	P (%) (P_2O_5)	K (%) (K_2O)
Ceba	1,097	3,265	1,165
Levante	1,196	3,308	1,331
Precebo	1,423	2,852	1,158
Lechones Lactantes	1,538	2,454	0,941
Hembras de Reemplazo	1,770	3,717	0,909
Hembras Gestantes	0,883	3,650	0,940
Hembras Lactantes	1,043	3,337	0,925
Macho Reproductor	0,816	4,277	0,845
Promedio Total porcinaza solida fresca	1,221	3,357	1,027
Promedio porcinaza solida (de % a gr/kg).	12,208	33,575	10,268
Promedio Tanque estercolero	0,188	0,187	0,131
Promedio tanque estercolero (de % a gr/L).	1,877	1,870	1,313

Los anteriores resultados permiten concluir, que la cantidad de N y P_2O_5 que haya que aplicar, deben calcularse según el nutriente que se presenta en mayor concentración en la porcinoza; lo anterior teniendo en cuenta que al desarrollar el Plan con base en el **fósforo**, que es el más concentrado, por defecto para los otros nutrientes habrá que suplir con otras fuentes (por ejemplo Urea o KCL). Por el contrario, si se calcula primero el requerimiento de nitrógeno, se estaría aplicando un exceso de fósforo, lo que podría ser arriesgado para la contaminación de cuerpos de agua. Así que, para evitar riesgos, a partir de la cantidad de porcinoza que puede aplicarse por unidad de área se debe estimar el tiempo de riego para cada superficie de cultivo.

De otra parte, se ha demostrado que el fósforo se ha venido incrementando en algunas regiones del país (principalmente por las prácticas de manejo, respecto a la adición de P_2O_5 en diferentes fuentes), hasta llegar a niveles muy altos, lo que puede aumentar consigo el riesgo de contaminación de diversos afluentes, principalmente por procesos de escorrentía (más que por lixiviación o percolación). Por lo anterior, es recomendable que los planes de fertilización con porcinoza consideren éste nutriente como el factor principal al momento de realizar cálculos.

Respecto al fósforo, está ampliamente documentado en la literatura que uno de los grandes riesgos de aplicar porcinoza a los suelos es la transferencia de iones de fosfato a las aguas de escorrentía (Knowlton *et al.*, 2004). Así que, el exceso de P en los cuerpos de agua (lagos, lagunas, estuarios, desembocadura) causa eutrofización (Koehler *et al.*, 2016).

Se ha reportado que cuando la solución del suelo tiene >0.1 mg de P/L hay una

significativa transferencia de P vía escorrentía (McDowell y Sharpley, 2001). Esto equivale a una medición de P por la técnica de Bray, que es el método de extracción de P del suelo más ampliamente usado en Colombia, de $\sim 50-60$ mg de P/kg. Así pues, desde la perspectiva de manejo de la porcinoza como fertilizante, es necesario mantener esos valores en mente para hacer monitoreo del P disponible en el suelo y así restringir las aplicaciones de éste, particularmente si hay mucha escorrentía. Esto cobra mucha importancia si el suelo a fertilizar está en una zona montañosa (dado que a mayor pendiente mayor escorrentía) y si además hay compactación del suelo (por sobrepastoreo o sobremecanización). Asimismo, hay mayor riesgo de transferir P al agua de escorrentía si los fertilizantes o enmiendas orgánicas se aplican y dejan en la superficie que si se aplica y luego se incorporan al suelo (primeros 20 cm) (Daverede *et al.*, 2003). Por lo anterior, se puede adoptar como medida de precaución que si el nivel de P en la solución de un suelo dado es superior a 20 mg/L (o si el nivel de P-Bray II es superior a 62.85 mg/kg) no se debe aplicar porcinoza al terreno (Figura 7).

Una práctica de manejo del suelo que mejora la absorción de fósforo por las plantas, y reduce la oportunidad de que se mueva por el agua de escorrentía, es el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (Miyasaka y Habte, 2001). Como se mencionará en la sección de microorganismos del suelo, estos hongos forman una simbiosis con las raíces de las plantas y mejoran la capacidad de las plantas para captar nutrientes, particularmente fósforo. De esta manera, se mejora la capacidad de la planta para absorberlo y así se reduce la cantidad de fertilizantes y enmiendas requeridas. Por lo que la inoculación micorrizal puede ejercer un control en un manejo de adecuado de los nutrientes del suelo y de las enmiendas, y así reducir la contaminación ambiental.

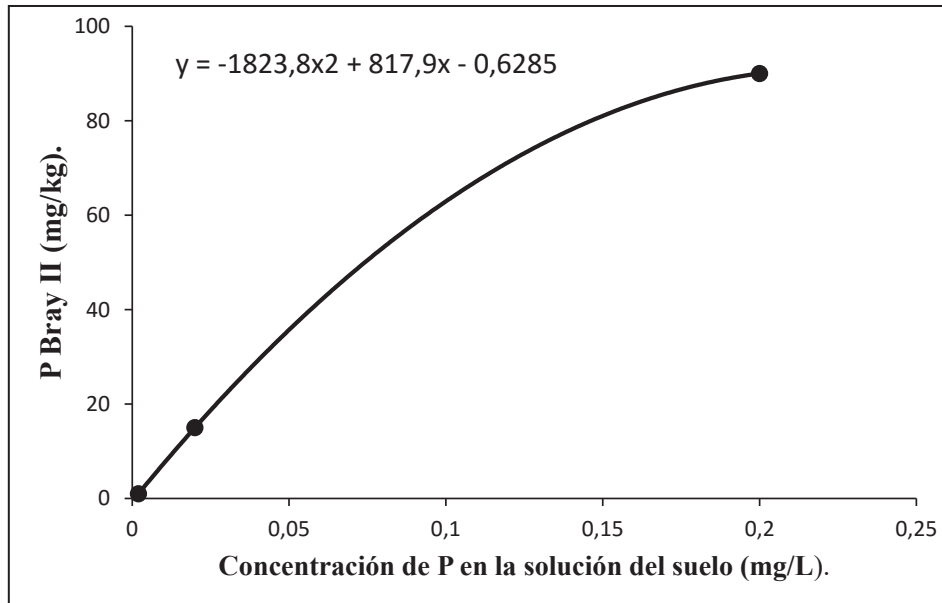


Figura 7. Relación entre P-Bray y P en solución en Andisoles

Al aplicar porcinaza y fertilizantes existen dos aspectos a tener en cuenta: (i) las plantas cultivadas tienen mayores requerimientos de N que de P_2O_5 , (ii) la porcinaza tiene una concentración muy similar de ambos nutrientes y en muchos casos mayor de P_2O_5 respecto al N. Esto por supuesto varía con la dieta, edad del animal y el tipo de porcinaza (líquida, sólida, mezcla de ambas, fresca o compostada).

De esta manera, si la dosis de porcinaza se calcula a partir de los requerimientos de N, lo más seguro es que se sobreestime la cantidad de P_2O_5 , lo cual llevaría con el paso del tiempo de repetir esta aproximación a aumentar los riesgos de transferir P a la escorrentía (Osorio, 2015). La situación se empeora si el requerimiento de N es sobreestimado, tal como suele suceder. Por lo anterior, es recomendable calcular la dosis de porcinaza basado en los requerimientos de P_2O_5 de los cultivos, esto claramente permite tener controlado el P y mantener una concentración de N moderada en el suelo.

Si se requiere un poco más de N se puede considerar la aplicación de un fertilizante nitrogenado (por ejemplo Urea, Sulfato de Amonio, Nitrato de Amonio) para satisfacer el requerimiento de dicho elemento.

4.3 Balance de nitrógeno

Según Noreña (2016)¹, el balance de N permite determinar la dosis de aplicación nitrogenada por ha/año, con base en las entradas y salidas al ecosistema. Es decir, que de un lado se cuantifica lo que ingresa por la adición de fertilizantes de síntesis química, más el nitrógeno producto de la fijación biológica, y el proveniente de precipitaciones y descargas eléctricas, principalmente. Y de otro lado, se estiman las salidas, especialmente como consecuencia de procesos de volatilización, desnitrificación, lixiviación, escorrentía y la extracción por parte de las plantas (ya sea como heno, silo, frutos o follaje, entre otros). Asimismo, cuando se evalúan modelos ganaderos (o de algunos rumiantes) deben incluirse las

1 Comunicación personal.

salidas de N por la venta de animales, leche, carne, así como, las excreciones del ganado fuera del sistema o por la muerte de los mismos. Paralelamente, deben incluirse las entradas de N por la compra de animales, nacimientos o producto de la inclusión de concentrados y suplementos en la dieta. Finalmente se cuantifica lo que hay en el suelo, así como, el nitrógeno presente en las excretas, raíces y hojarasca. Los resultados obtenidos se relacionan con los requerimientos de nitrógeno de cada cultivo, el cual se calcula según el rendimiento esperado.

En las excretas, el nitrógeno está constituido principalmente por nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal (Moser, 1995A, 1996). El orgánico es de lenta disponibilidad y por lo tanto, los cultivos lo pueden ir utilizando a medida que va siendo degradado en el tiempo pasando de las formas orgánicas a las formas minerales (NO_3^-) disponibles para las plantas. De lo anterior es importante detallar, que durante el proceso

de transformación de las excretas ejercido por la acción de los microorganismos del suelo, el nitrógeno orgánico es transformado a nitrógeno amoniacal y de la misma manera, el nitrógeno amoniacal es transformado por los microorganismos a nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-). El NO_3^- es la forma como las plantas absorben el nitrógeno, pero se debe considerar que si hay excesos del mismo en las áreas de cultivo, puede presentarse desbalances nutricionales en los vegetales y en su defecto casos de intoxicación en los animales que las consumen, además de posibles riesgos ambientales por procesos asociados a la lixiviación y escorrentía de este nutriente en el suelo que finalmente afectarán las fuentes hídricas circundantes.

Lo antes mencionado, amerita el establecimiento en los sistemas productivos de programas de manejo racional para las excretas porcinas, evitando así pérdidas innecesarias de este nutriente en los suelos, que es algo indeseable en lo productivo y lo ambiental.



Fuente: Noreña Grisales J. M.

UNIDAD 5

FUNCIÓN DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Nelson Walter Osorio Vega¹

5.1. Aspectos generales.

5.1.1 Definición.

El suelo es un medio poroso formado en la superficie terrestre por procesos de intemperismo derivados de fenómenos biológicos, geológicos e hidrológicos (Zapata, 2006). Éste difiere de la roca meteorizada o sedimentos por la presencia de estratos

aproximadamente horizontales (horizontes) que se producen por una continua influencia de la percolación del agua y de la acción de los organismos vivos. El conjunto de horizontes constituye el perfil del suelo (Figura 8). Según Sposito (2008), desde el punto de vista químico, el suelo es un sistema multicompuesto, abierto y biogeoquímico que contiene sólidos, líquidos y gases. El que

¹ Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director del Grupo de Investigación en Microbiología del Suelo. E-mail: nwsorio@unal.edu.co

sea abierto significa que el suelo intercambia materia y energía con el medio (atmósfera, biosfera e hidrósfera). Estos flujos de materia y energía hacia o desde el suelo son variables en el tiempo y en el espacio, pero son esenciales para el desarrollo del perfil del suelo y determinan la fertilidad del suelo, y en buena parte la nutrición vegetal.

Según el Soil Survey Staff (USDA 2014), el suelo es un cuerpo natural compuesto por materiales orgánicos y minerales que cubre la mayoría de la superficie terrestre, contiene materia viva y sostiene la vegetación. El suelo está constituido por estratos (horizontes) cuya formación y características son el resultado de la actividad de organismos y factores climáticos sobre el *material parental* (roca, sedimento o depósito orgánico a partir del cual se forma el suelo). Éste efecto está condicionado por el relieve y el tiempo. Para fines prácticos el límite inferior del suelo está definido por la presencia de la roca dura o un límite de 2 m.

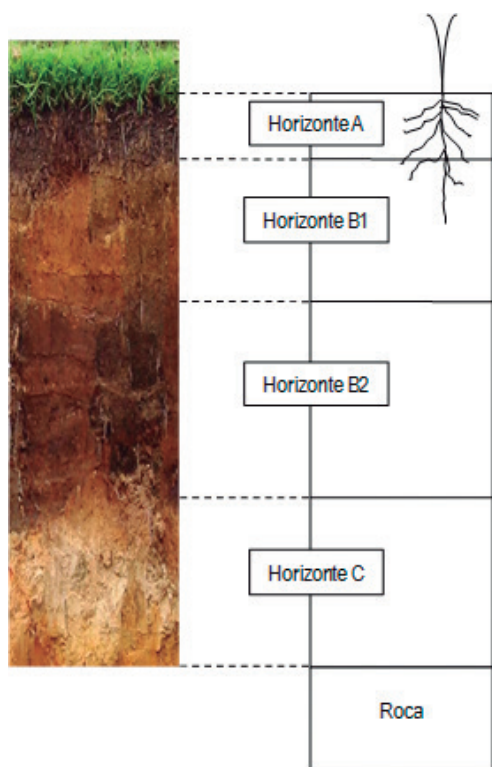


Figura 8. Perfil de un suelo y su representación en horizontes.

Fuente: Zapata R.

En el suelo hay dos fases una sólida y una porosa, la primera comprende la fracción mineral y la fracción orgánica (Barber, 1995). Las partículas sólidas están constituidas por agregados de diferente tamaño, comúnmente entre 0.5-3 mm de tamaño. Estos agregados determinan una propiedad muy importante llamada estructura del suelo (Jaramillo, 2011). Cada agregado está constituido por partículas finas (arena, limo, arcilla y materia orgánica). Estas partículas están unidas entre sí por diferentes mecanismos, dentro de los cuales se destacan la presencia de iones de Ca^{2+} y Al^{3+} que actúan como agentes floculante entre las partículas de arcillas y materia orgánica humificada (humus). Algunas sustancias excretadas por bacterias (exopolisacáridos) y hongos (p.e., glomalina) actúan como pegantes entre partículas. Igualmente, se pueden encontrar hifas de hongos y raíces que unen físicamente las partículas finas entre sí.

El arreglo de las partículas finas del suelo en los agregados determina a su vez la presencia de espacio poroso. Los poros grandes (>0.08 mm) son llamados macroporos se encuentran entre agregados vecinos y permiten la circulación de agua y aire y facilitan el crecimiento de raíces gruesas y pequeños insectos. Los poros finos (<0.08 mm) son llamados microporos y están dentro de los agregados; estos son responsables de la retención de agua en el suelo, la cual la ejercen partículas muy finas del suelo (arcillas y humus) (Brady & Weil, 1999). Las raíces finas crecen dentro de los agregados y toman agua y nutrientes en el agua retenida entre estos microporos. En términos generales se acepta que un suelo en buen estado de humedad para el crecimiento y actividad de raíces y microorganismos es aquel que tiene los microporos llenos de agua y los macroporos llenos de aire. De esta manera la estructura del suelo determina en buena parte la aireación del suelo y la

retención de humedad (Jaramillo, 2011). Entre los gases del suelo se destacan el N_2 , O_2 y CO_2 , entre muchos otros, los cuales se intercambian fácilmente con aquellos de la atmósfera. Cuando el suelo está saturado de agua otros gases cobran gran relevancia CH_4 , H_2S , N_2O , entre otros.

5.1.2 Disponibilidad de nutrientes en el suelo

Las partículas de arcillas tiene la capacidad de retener agua, entre mayor sea el contenido de estas partículas mayor cantidad de agua podrá retenerse. En el agua del suelo se pueden encontrar iones disueltos (K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , $H_2PO_4^-$), moléculas inorgánicas (H_3BO_3 , H_4SiO_4) y orgánicas (ácidos orgánicos, azúcares, entre otros), gases disueltos (CO_2 , O_2) entre otras (Havlin *et al.*, 1999). Por lo anterior, es más preciso hablar de solución del suelo. Los iones disueltos pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas o por microorganismos del suelo. Por lo dicho, los nutrientes que están en la solución del suelo se consideran bio-disponibles y su concentración es un índice de disponibilidad para las plantas (Lindsay, 2001; Zapata, 1997).

La disponibilidad de un nutriente en el suelo está gobernada por las interacciones de éste con las distintas fases del suelo (sólida, líquida, gaseosa) y con la población microbiana del mismo (Osorio, 2015). Las plantas toman los nutrientes exclusivamente de la solución del suelo y para que la raíz absorba los nutrientes éstos deben encontrarse en una forma química soluble, en la gran mayoría de los casos éstas son formas iónicas (NO_3^- , NH_4^+ , $H_2PO_4^-$, Ca^{2+} , K^+ , entre otros.) aunque pueden estar en forma molecular (H_3BO_3 y H_4SiO_4). Para un nutriente dado, existe un equilibrio físico-químico entre la solución del suelo, la fase de intercambio y la fase sólida precipitada (principalmente compuestos no-cristalinos).

Este equilibrio permite que un nutriente pueda “desplazarse” entre la solución del suelo y la fase de intercambio, o entre los sólidos precipitados y la solución del suelo (Brady y Weil, 1999).

Una vez que un ión (nutriente) es absorbido por las raíces de la planta su concentración en la solución del suelo disminuye, así los iones que están retenidos en la superficie de las arcillas se desplazan a la solución del suelo (Havlin *et al.*, 1999). Así mismo, los compuestos precipitados en el suelo se disuelven para liberar iones a la solución del suelo (Lindsay, 2001; Barber, 1995). Igualmente, luego de una aplicación alta de un fertilizante soluble al suelo, la concentración del ión en la solución del suelo incrementa hasta alcanzar una concentración por encima de equilibrio en la solución. Por lo tanto, los iones se precipitarán con otros para formar compuestos insolubles o se adsorberán sobre la superficie de las arcillas y/o óxidos e hidróxidos. Es necesario aclarar que los compuestos que inicialmente se precipitan son considerados no-cristalinos (amorfos) y con el paso del tiempo pueden cristalizarse y, consecuentemente, reducir su solubilidad (Zapata, 2006). De la misma manera, la fuerza de retención de los minerales de la fracción arcilla puede cambiar con el tiempo, pasando de una retención débil de tipo electrostático a una retención más fuerte de un carácter más específico que conlleva a la formación de enlaces más estables y, por ende, el paso de éste ión así adsorbido a la solución del suelo será más difícil (Osorio, 2015).

Los nutrientes también pueden estar en la materia orgánica y en la biomasa microbiana del suelo y pueden pasar a la solución del suelo a través de un proceso de descomposición enzimática que realizan los microorganismos. Evaluar la fracción disponible de un nutriente en éstas fracciones

implica determinaciones bioquímicas e incubaciones que también se pueden utilizar para diagnosticar la fertilidad del suelo.

Los materiales orgánicos frescos principalmente consisten en hojas, tallos, cortezas, raíces, excrementos de animales, entre otros. Estos materiales son inicialmente atacados por hormigas, escarabajos, colémbolos, lombrices que los consumen y digieren a través de un sistema digestivo que incluye bacterias que ayudan a degradarlos. Estos residuos transformados son de nuevo depositados en el suelo y continúan su descomposición debido a la acción de bacterias y hongos. La descomposición de los materiales orgánicos es un proceso en el cual las células microbiales liberan enzimas que atacan enlaces específicos de polímeros para liberar los monómeros que las componen.

En esta fase de descomposición del material orgánico, llamada *mineralización*, se liberan CO_2 por la respiración y se liberan nutrientes (cationes y aniones) que pueden ser absorbidos por los microorganismos del suelo y por las raíces de las plantas (Jaramillo, 2011). Los materiales orgánicos frescos y aquellos parcialmente fragmentados (detritos) son una muy buena fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Algunos materiales se descomponen fácilmente (<1 año), mientras que otros lo hacen más lentamente. Los productos finales de esta etapa son CO_2 , H_2O , NH_4^+ , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , ácidos orgánicos y otras sustancias incompletamente oxidadas (particularmente fenoles).

Una vez los materiales orgánicos de fácil descomposición desaparecen del suelo quedan algunas sustancias de más difícil descomposición. Estas sustancias al no ser absorbidas por las plantas ni por los microorganismos se acumulan en el suelo, reaccionan entre sí, con cationes di y trivalentes, y con minerales arcillosos del

suelo de manera aleatoria para formar sustancias orgánicas muy complejas. Los nuevos compuestos sintetizados tienen enlaces muy diferentes a la de los compuestos formados biológicamente (celulosa, proteínas, almidones, etc.) y, por ende, resultan recalcitrantes para los microorganismos. Estos complejos orgánicos de muy difícil degradabilidad reciben el nombre de sustancias húmicas o simplemente *humus*. Estas sustancias le confieren al suelo estabilidad de agregados, capacidad de intercambio catiónico y capacidad buffer del pH, entre otras. Esta fase es llamada *humificación*. Como las sustancias húmicas son más estables y perduran en el suelo se integran a la estructura del mismo (Zapata, 2006).

5.1.3 Descomposición de la materia orgánica (mineralización).

La cantidad de materia orgánica que se aporta al suelo de manera natural es variable ya que depende del tipo de vegetación. En cultivos agrícolas se tienen valores anuales que fluctúan entre $0.5\text{-}5.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que en los bosques húmedos los valores están entre $7\text{-}15 \text{ Mg ha}^{-1}$. Los materiales orgánicos frescos y aquellos parcialmente fragmentados (detritos) son una muy buena fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Algunos materiales se descomponen fácilmente (<1 año), mientras que otros lo hacen más lentamente. El proceso de descomposición de materiales orgánicos y el consecuente aporte de nutrientes puede monitorearse a través de la "técnica de bolsa plásticas". Esto consiste en introducir una masa conocida de material orgánico (hojarasca) en bolsas hechas con una malla de plástico, el tamaño de apertura de los poros de la malla usualmente es $0.5\text{-}1 \text{ mm}$. A través del tiempo se recolectan bolsas con la hojarasca descompuesta y se determina la masa y el contenido de

nutrientes y se compara con la condición inicial (Figura 9). Al graficar la relación entre el peso de material en la bolsa en función del tiempo, se puede obtener figuras que muestran la dinámica de descomposición de

la materia orgánica fresca (hojarasca, litter) (Figura 10); asociado a esto se puede medir la tasa de liberación de nutrientes cuando ocurre tal descomposición (León, 2007).

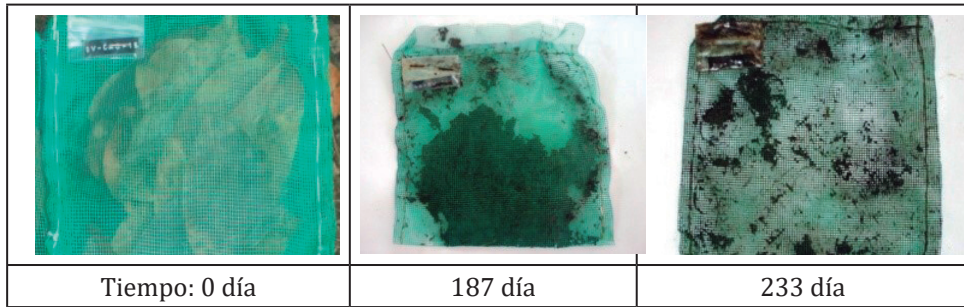


Figura 9. Apariencia de bolsas plásticas que contienen hojarasca a diferentes tiempos de descomposición.

Fuente: Martínez (2013).

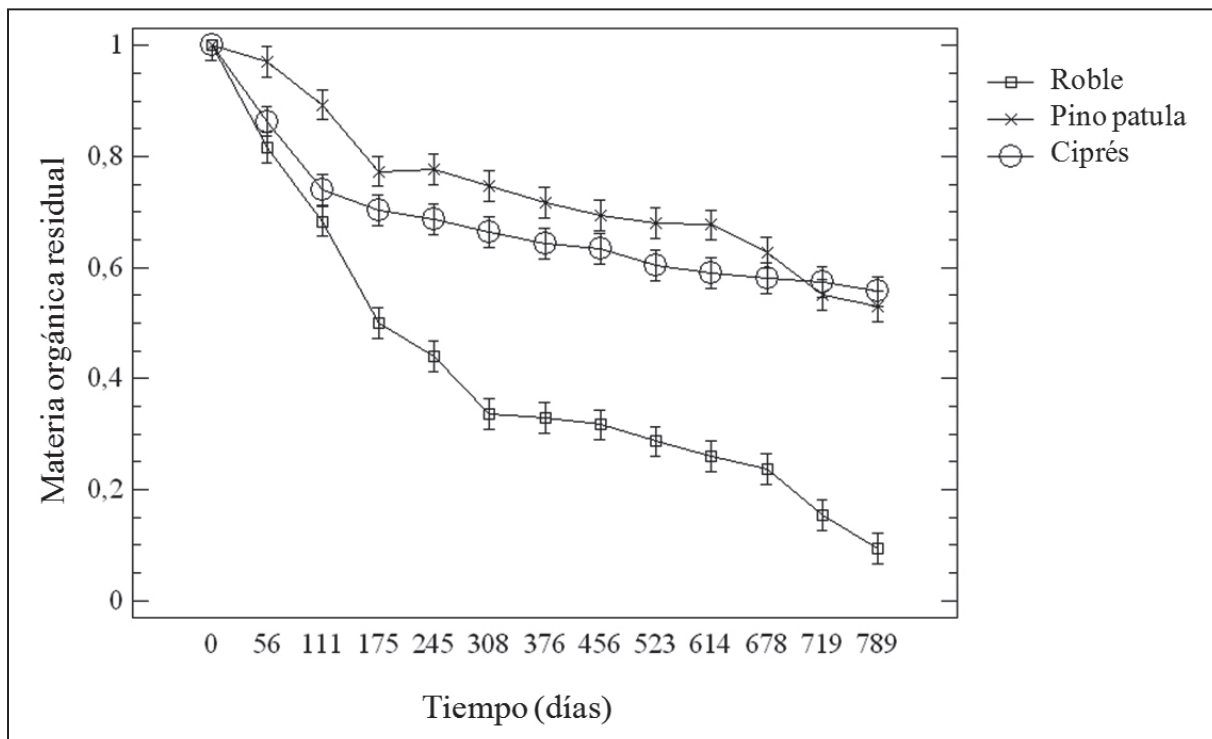


Figura 10. Materia orgánica residual de hojarasca de roble (*Quercus humboldtii*), pino (*Pinus patula*) y ciprés (*Cupressus lusitanica*) en bolsas plásticas de descomposición.

Fuente: León (2007).

La descomposición de los materiales orgánicos es un proceso microbioal, en el cual las células microbiales liberan enzimas que atacan enlaces específicos de polímeros

para liberar monómeros (Osorio, 2015). Estas enzimas son extracelulares ya que son liberadas hacia el medio externo de las células para que realicen su función.

En el caso de la celulosa la degradación es relativamente fácil ya que el enlace β (1 \rightarrow 4) que mantiene unidos los monómeros de glucosa se repite una y otra vez, de tal manera que la enzima celulasa es muy efectiva para realizar la hidrólisis del enlace. Las proteasas hidrolizan el enlace péptido que mantiene unidos los aminoácidos en las proteínas. Posteriormente, las enzimas desaminasas liberan NH_3 de los grupos amino (R-NH_3^+), una vez en solución el amonio toma un protón de la solución del suelo para formar NH_4^+ . Las enzimas fosfatasas hidrolizan el enlace ester C-O-P que mantiene unido al fosfato a un carbono, de esta manera el fosfato es liberado. Estos compuestos liberados (glucosa, aminoácido, amonio, fosfato) son absorbidos por los microorganismos para su metabolismo. En esta etapa inicial de descomposición el ataque microbial (principalmente por hongos y bacterias) sobre azúcares, celulosa, almidones, proteínas es muy rápido y estos compuestos pronto desaparecen. Los productos finales de esta etapa son CO_2 , H_2O , NH_4^+ , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , ácidos orgánicos y otras sustancias incompletamente oxidadas (particularmente fenoles).

5.1.4 Microorganismos del suelo

El suelo en sí es un ecosistema muy complejo, este podría ser considerado como un microcosmos donde minerales y materia orgánica (viva o muerta), el agua, y el aire comparten un espacio de gran actividad físico-química (Paul y Clark, 1989). El suelo es una combinación de fases que interactúan íntimamente entre ellas en un sistema de ninguna comparación. Tal complejidad puede ser percibida por la heterogeneidad de estos componentes minerales y las diversas propiedades físico-químicas que se generan, lo cual varía debido al grado de meteorización del suelo (Azam y Memon, 1996). Similarmente, la materia orgánica

es heterogénea porque puede tener múltiples orígenes y diferentes estados de descomposición.

En un ambiente complejo su población de habitantes no es menos compleja. Dentro de la población microbial se tienen bacterias, actinomicetos, cianobacterias, hongos, algas, protozoarios y virus (Atlas & Bartha, 1997; Ingham, 1999). En general, los microorganismos más abundantes en el suelo son las bacterias, aunque los hongos (por su mayor tamaño) representan alrededor del 70 % de la biomasa (Prescott *et al.*, 1999). Torsvik *et al.* (1990) afirmaron que en un gramo de suelo puede encontrarse 10000 especies diferentes de microorganismos, muchos de ellos no conocidos debido a que no pueden ser cultivados. Tal diversidad es también complementada con una alta densidad de microorganismos. En general, en un gramo de suelo seco es posible encontrar 10^6 - 10^8 bacterias, 10^6 - 10^7 actinomicetos y 10^4 - 10^5 hongos. Otros tipos de microorganismos como algas y protozoos, varían entre 10^3 - 10^6 , y 10^3 - 10^5 , respectivamente. Además, la rizosfera, el volumen de suelo cerca a las raíces que es afectada por las sustancias orgánicas que aquellas raíces liberan es más poblada que el resto del suelo. Lazarovitz & Nowak (1997) y Bowen y Rovira (1999) afirman que desde la perspectiva microbiana, el suelo es un desierto en comparación al ambiente nutritivo de la rizosfera.

Los microorganismos del suelo son entidades que influyen varios aspectos del suelo y cada uno desempeña diferentes actividades. De particular interés son aquellos microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes (Foth & Ellis, 1996). Así, en muchos casos los microorganismos del suelo pueden determinar la disponibilidad de nutrientes y por eso son considerados

herramientas para el manejo del suelo y la nutrición de la planta. La actividad microbial del suelo es bastante diversa y hace parte de los ciclos biogeoquímicos de varios elementos (C, N, O, P, S, entre otros). Como actividades específicas en el suelo se incluye la descomposición de la materia orgánica y de materiales orgánicos adicionados a este (Stevenson, 1986), la fijación de N₂ atmosférico, la descomposición de minerales primarios, mineralización del N-orgánico (nitrificación) (Kuenen & Robertson, 1994), solubilización de P, oxidación de S, producción de antibióticos, formación de asociaciones simbióticas para mejorar la captación de nutrientes por parte de las plantas, protección de plantas contra patógenos (Scher, 1986), descomposición de contaminantes (bioremediación), la producción de fitohormonas (Frankenberger & Arshad, 1995), etc. Es importante

considerar que de acuerdo a la forma en que obtienen el Carbono (C) y la energía se clasifican en heterótrofos, autótrofos y fotótrofos. Los heterótrofos obtienen el C y la energía de la oxidación de materiales orgánicos. Los autótrofos: obtiene el C del CO₂ y la energía de la oxidación de sustancias inorgánicas. Los fotóautótrofos: obtiene el C del CO₂ y la energía de la luz solar.

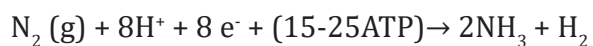
La presencia de microorganismos en el suelo es variable pero sigue la tendencia de que a mayor profundidad se disminuye la cantidad de estos. La razón para ello es que buena parte de los microorganismos que se aíslan en medio de cultivos agarizados son heterótrofos y aeróbicos, y con la profundidad los compuestos carbonáceos y el O₂ disminuyen. En consecuencia, la densidad de las poblaciones microbiales va disminuyendo.

Los microorganismos del suelo representan una parte integral del mismo. Sus funciones son vitales para la disponibilidad de nutrientes (fertilidad). Estos microorganismos determinan la dinámica de la descomposición de la materia orgánica y por consiguiente, liberan nutrientes de ésta a la solución del suelo. Además, participan en diferentes reacciones que incrementan la disponibilidad de nutrientes o su absorción por las raíces. También, los microorganismos pueden facilitar la pérdida de algunos elementos (p.e., desnitrificación). El conocimiento de tales interacciones puede permitirnos intervenir en el manejo a través de biofertilizantes para maximizar los beneficios de la actividad microbiana (Rao, 1992) y mejorar la productividad vegetal y la calidad del suelo (Turco, 1994).

5.1.5 Bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN).

El N es uno de los nutrientes más limitantes para el crecimiento de las plantas. Algunas bacterias de la rizosfera tienen la capacidad de fijar N₂ en formas orgánicas que pueden ser usadas por las plantas. Las condiciones de la rizosfera favorecen la fijación de N₂ porque esta es llevada a cabo por bacterias heterótrofas que usan compuestos orgánicos como fuente de electrones para la reducción

de N₂. La reacción simplificada de la fijación de N₂ es la siguiente:



Esta reacción de reducción es realizada exclusivamente por algunas bacterias, actinomicetos y cianobacterias (Graham, 1999). La fijación de N₂ la realizan estos microorganismos en forma libre o asociados con plantas (Zuberer, 1999), con estos últimos se hace el proceso más eficiente ya que aportan la energía requerida.

Entre las bacterias fijadoras de N₂ se destacan las de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Allorhizobium*, *Sinorhizobium*, y *Mesorhizobium* que forman simbiosis con leguminosas (Graham, 1999). En este caso la concentración de O₂ es regulada por la hemoglobina. El suministro de compuestos carbonáceos ocurre en el interior de los nódulos y así se evita la competencia con otros microorganismos. Esta es sin duda la interacción entre planta y bacteria más estudiada.

Otros fijadores de N₂ son: (i) *Azotobacter paspali* el cual crece en la rizosfera de pasturas tropicales tales como *Paspalum notatum* c.v. batatais y *Digitaria* sp., con las cuales exhibe cierto grado de especificidad. Aunque la fijación de 5-25 kg N ha⁻¹ año⁻¹ es ampliamente aceptada, valores tan altos como 90 kg N ha⁻¹ año⁻¹ han sido reportados; (ii) *Acetobacter diazotrophicus* es otro fijador de N₂ que puede crecer dentro del tejido de la raíz (endofito) de la caña de azúcar, incluyendo tejidos vasculares donde puede alcanzar un densidad poblacional de 10⁶ células g⁻¹ de estos tejidos. La caña de azúcar puede obtener 100-150 kg N ha⁻¹ de esta asociación (Zuberer, 1999) (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de fijación de N₂ por bacterias en diferentes sistemas (libre, asociativo o simbiótico).

Planta hospedera	N ₂ fijado (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Soya	57-124
Alfalfa	128-600
Trébol	104-160
Lupino	150-169
<i>Centrosema</i>	112
<i>Stylosanthes</i>	30-196
Lenteja	35-97
Caupí	73-240
Garbanzo	41-279

Fuente: Foth y Ellis (1996).

5.1.6 Hongos micorrizo arbusculares (HMA)

El término micorriza fue propuesto para describir la asociación simbiótica que se presenta, de manera natural, entre las raíces del 95 % de las especies vegetales y ciertos hongos del suelo (mico=hongo; rrizza=raíz) (Smith & Read, 1997). Es una relación mutualista en la que el hongo coloniza la raíz y proporciona a la planta hospedera agua y nutrientes que absorbe del suelo a través de su red externa de hifas. La planta por su parte aporta los compuestos carbonados que el hongo utiliza como fuente energética (Sylvia, 1999).

La formación de esta simbiosis se constituye es una estrategia exitosa desarrollada por las plantas para mejorar la absorción de nutrientes en suelos naturales e intervenidos en agricultura (Habte & Manjunath, 1991). Las endomicorrizas o micorrizas arbusculares se constituyen en la interacción entre hongos del grupo *Glomeromycota* y las raíces de casi el 80% de todas las especies de plantas terrestres incluyendo muchas especies de plantas de interés agrícola, pecuario y hortícola (Bolan, 1991). Las estructuras infectivas de los HMA, como las esporas e hifas, germinan y entran en contacto con la superficie de las raíces y la penetración de la raíz. Una vez dentro de las raíces, los HMA producen hifas intraradicales y extraradicales que captan todos los nutrientes, principalmente de P, de la solución del suelo. La captación de P del suelo por los HMA y la subsiguiente translocación y transferencia a la planta huésped permite obtener un nivel equivalente o superior de producción vegetal (Marschner & Dell, 1994; Sylvia, 1999; Plenchette *et al.*, 1983).

La inoculación hace referencia al proceso de aplicar alrededor del sistema radical de la

planta, un sustrato que contenga estructuras infectivas (esporas, hifas, raíces infectadas) con el fin de lograr la colonización de las raíces. La inoculación micorrizal se facilita en aquellos cultivos que tienen una fase de semillero, vivero o almácigo (Osorio, 2015) (Figura 11). En esos casos se puede aplicar el inóculo en el hoyo donde se siembra la semilla o la plántula. También se puede mezclar el inóculo con el sustrato de crecimiento de las raíces. La dosis es variable (50 g kg^{-1} de suelo) y depende, en buena parte, de la calidad del inóculo. Para cultivos, pasturas, o árboles la

dosis en campo está alrededor de 100 a 200 kg ha^{-1} . Antes de inocular un suelo es necesario conocer el grado de dependencia micorrizal de la especie vegetal que se requiere cultivar (Habte y Manjunath, 1991). Se recomienda la aplicación de inóculo micorrizal cuando: (i) las plantas requieren altas cantidades de P, (ii) la concentración de P disponible es baja, (iii) la población de HMA nativa del suelo es escasa o poco efectiva (suelos erosionados, degradados), (iv) se ha realizado un manejo intensivo de fungicidas, y (v) la especie vegetal depende de la asociación micorrizal.



Figura 11. Efecto de la inoculación micorrizal sobre el crecimiento de plántulas de café, curuba, leucaena y aguacate. En todos los casos la concentración de P en la solución del suelo fue de 0.02 mg/L .

Fuentes: Jaramillo (2006), Corredor (2007), Montoya (2007) y Osorio (2008).

Un aspecto relevante de la asociación micorrizal es que al incrementar la absorción de nutrientes del suelo, puede reducir el potencial de contaminación de aguas y suelos, particularmente de por iones fosfatos y nitratos (Miyasaka y Habte, 2001). Por lo anterior, el uso combinado de porcinaza y HMA puede ser compatible y altamente deseable para reducir los riesgos ambientales al usarla.

5.1.7 Microorganismos solubilizadores de fósforo (PSM).

En años recientes, los microorganismos solubilizadores de P (PSM, por sus siglas en inglés) de la rizosfera han recibido mucha atención (Osorio, 2011). La mayoría de las bacterias del suelo pueden solubilizar fosfatos insolubles, pero son particularmente activas aquellas que pertenecen a los géneros *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Bacillus* (Kucey, 1983; Bar-Yosef *et al.*, 1999). Así mismo, son particularmente activos como PSM los hongos de los géneros *Penicillium*, *Aspergillus* y *Mortierella* (Whitelaw, 2000; Osorio, 2002).

Los principales mecanismos involucrados en la solubilización microbial de P son la producción de ácidos orgánicos y la liberación de protones a la solución del suelo. Los ácidos comúnmente reportados por los investigadores de PSM son ácido glucónico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido láctico, ácido tartárico, ácido aspártico (Hue, 1991; Rokade & Patil, 1993; Bolan *et al.*, 1994). Estos ácidos son el producto del metabolismo microbiano, principalmente por respiración oxidativa o por fermentación de carbono orgánico soluble por ejemplo la glucosa. La producción de ácidos orgánicos por los PSM se incrementa si la fuente de N es

amonio en lugar de nitrato (Roos y Luckner, 1984). Cuando el suelo es inoculado con PSM, los ácidos orgánicos disminuyen el pH de la rizosfera y favorece así la solubilización de las rocas fosfóricas y otros minerales del suelo (silicatos de magnesio, feldespatos, hidroxidos de hierro, entre otros.) (Kim *et al.*, 1997, 1998; Osorio, 2015).

Al inocular el suelo conjuntamente con AMF y PSM se puede mejorar la efectividad en la absorción de P solubilizado (Bass, 1990; Azcon & Barea, 1996; Osorio y Habte, 2001). Las plantas micorrizadas pueden liberar una mayor cantidad de sustancias carbonadas en su rizosfera (micorrizosfera) que las plantas no micorrizadas y los PSM ubicadas en la rizosfera (o micorrizosfera) liberarían más ácidos orgánicos a la solución del suelo para disolver fosfatos insolubles (p.e., P-Ca) (Sreenivasa & Krishnaraj, 1992; Toro *et al.*, 1996; Rahman y Parsons, 1997). Por otro lado, las hifas extraradicales podrían captar más eficientemente el fosfato liberado por los PSM en la rizosfera (Figura 12), evitando así la fijación.

En la Tabla 4 se presenta el efecto de la inoculación con *G. fasciculatum* (HMA) y *Mortierella* sp. (PSM) sobre el crecimiento (g/pote) de *Leucaena* en tres suelos tropicales de Colombia (Comparaciones verticales, Prueba de Duncan, $P \leq 0.05$).

Tabla 4. Inoculación de *Leucaena* en diferentes órdenes de suelos

Tratamiento	Mollisol	Oxisol	Andisol
Control (no inoculado)	0.86 d	0.32 c	0.26 a
+PSM	1.18 c	0.30 c	0.28 a
+HMA	1.36 b	0.84 b	0.28 a
+PSM+HMA	1.48 a	0.97 a	0.26 a

Fuente: Osorio y Habte (2015).

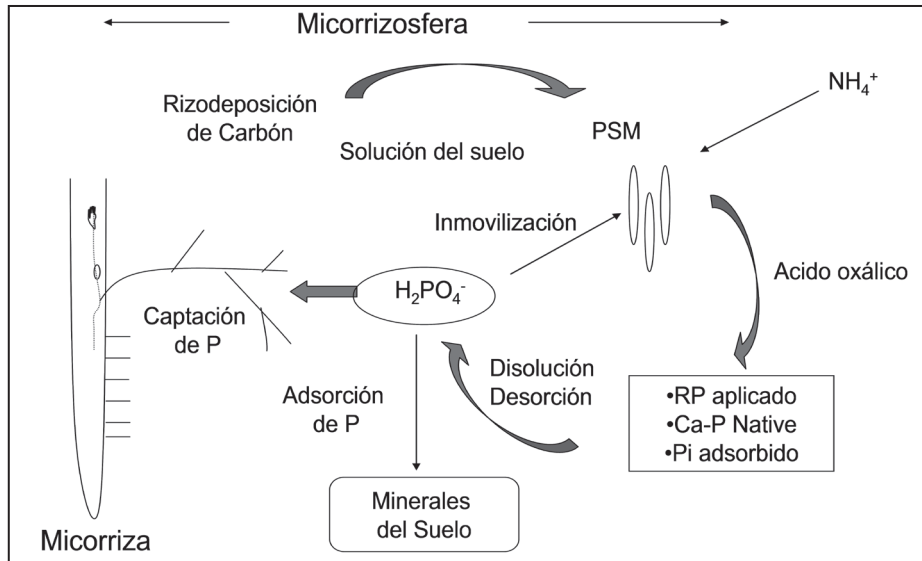


Figura 12. Solubilización microbiana de fosfatos y la captación micorrizal de P (Osorio, 2015).

5.1.8 Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR).

Las bacterias de la rizosfera que al reintroducirse al suelo pueden aumentar el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos por diferentes vías. El acrónimo PGPR (por sus siglas en inglés) ha sido ampliamente usado para agrupar estos microorganismos. Recientemente se ha propuesto dividir los PGPR en categorías: Biocontrol-PGPR y PGPR (Bashan & Holguin, 1998). Se afirma que esta separación es importante para diferenciar los mecanismos empleados por estas bacterias para promover el crecimiento de las plantas. Biocontrol-PGPR son estrictamente aquellas bacterias que participan en el biocontrol de patógenos de plantas, mientras que PGPR son bacterias que cumplen otras funciones diferentes (p.e., nutricional, hormonal). Se han detectado efectos favorables en el crecimiento y la nutrición vegetal (Bashan *et al.*, 1999; Chanway, 1997) a través de la solubilización microbiana de manganeso, hierro, fósforo, entre otros. Los géneros de bacterias comúnmente reportados son *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Geobacter* (Kopler *et al.*, 1988; Lazarovitz y Nowak, 1997).

5.1.9 Bacterias oxidantes del azufre

La presencia de azufre como ión sulfato (SO_4^{2-}) es también el resultado de la actividad bacteriana en el suelo (Paul y Clark, 1989). Existen bacterias (*Acidithiobacillus thiooxidans*) que son capaces de oxidar el S elemental o sulfuros y producir sulfato (vía ácido sulfúrico, H_2SO_4) y así genera una reducción del pH del suelo, lo cual es deseable en suelos neutros (pH 7) o alcalinos (pH >7).

5.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos pueden ser clasificados en diferentes sistemas taxonómicos, aquí se ilustrará muy brevemente el sistema taxonómico desarrollado por el USDA. Detalles de esta información pueden ser encontrados en diversas publicaciones y particularmente el sitio <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/taxonomy/>.

Entre los criterios de clasificación más relevantes están el tipo de material parental (materia orgánica, minerales, ceniza volcánica), algunas condiciones de clima (humedad, aridez, frío extremo), la presencia de horizontes diagnósticos (epipedones

molico, umbrico, ocrico, antropico, histico, melanico, entre otros; endopedones: agríco, argílico, albico, espodico, calcio, cambico, oxico, entre otros) y algunas propiedades físico-químicas (CIC, fijación de P, densidad aparente) (Jaramillo, 2011). El sistema pretende ser natural porque se apoya en criterios de formación natural en el suelo que quedan reflejados en el perfil del suelo. Al mismo tiempo reconoce condiciones climáticas que restringen el uso del suelo, particularmente para el uso agrícola. Estos criterios se van utilizando a diferentes niveles taxonómicos y van generando información que se va acumulando a los niveles más profundos del sistema. Finalmente, el sistema se refleja en mapas geográficos donde se puede conocer la distribución de los suelos en una región dada. El sistema del USDA no es el único, pero sí el más empleado en el mundo dada la intención inicial de ser inclusivo para todos los suelos, lo cual se ha reflejado en la formación de comités internacionales que lo revisan y mejoran a través del tiempo.

Según el USDA (2014), el sistema es jerárquico y cubre seis categorías: Orden > Suborden > Gran grupo > Subgrupo > Familia > Serie. Con el nivel superior (*Orden*) se puede tener información muy general asociada con los procesos de formación del suelo que se ve reflejada en la morfología del perfil del suelo. En el *Suborden* se puede conocer los regímenes de temperatura y humedad, material parental, estados de descomposición de la materia orgánica.

En el *Gran Grupo* se ilustran algunas condiciones del suelo como arreglo y grado de expresión de horizontes, saturación de bases, regímenes de humedad y temperatura del suelo, algunas características más específicas. El *Subgrupo* se considera si el suelo presenta características centrales al Gran Grupo (*Típico*) o si presenta algunas propiedades especiales que permiten asociarlo con otro tipo de suelo (Orden, Suborden, Gran Grupo) -*Intergrado* o *Extragrado*-. En el nivel taxonómico de *Familia* se consideran clases texturales, clase mineralógica, temperatura del suelo. En la *Serie* se consideran propiedades físicas y químicas más específicas (tipo y arreglo de horizontes, color, textura, pH, estructura, consistencia) que permiten tener una clase taxonómica más homogénea. En la Tabla 5 se ilustra las características más relevantes de los 12 órdenes de suelo.

En la Figura 13 se presenta un mapa general de suelos con la distribución de los diferentes órdenes de suelos en Colombia. En este caso se puede observar en buena parte de la Orinoquia dominan los Oxisoles, en la región Andina abundan los Andisoles y Entisoles, en la región Pacífica dominan los Entisoles, en la región Caribe los Entisoles e Inceptisoles y en menor medida los vertisoles (Sucre, Bolívar y Córdoba) y Aridisoles (Guajira), en la región amazónica los Inceptisoles son dominantes, seguidos de Entisoles y Oxisoles; se destacan por su alta fertilidad los suelos del Valle del Cauca (Mollisoles y Vertisoles).

Tabla 5. Ordenes de suelos y características generales asociadas.

ORDEN	CARACTERÍSTICAS
Entisol	Suelos que la morfología de su perfil no se han expresado procesos de formación, se consideran suelos muy jóvenes (recientes) que se pueden encontrar en laderas muy pendientes o en los aluviones al margen de los ríos. No presentan horizonte B.
Inceptisol	Suelos con un incipiente desarrollo del perfil del suelo, no ha habido suficiente expresión de otros procesos de formación del suelo, y así no exhiben características para ubicarse en otros órdenes, sus propiedades están asociadas a su material parental. Normalmente ubicados en laderas, coluvios, presentan horizontes Bw.
Aridisol	Suelo formado en regiones áridas-desérticas, en las cuales permanece seco por más del 50% del año.
Vertisol	Suelos arcillosos, con arcillas expandibles (tipo 2:1), normalmente formados en regiones relativamente secas, que alternan periodo lluviosos y otros secos muy largos. Forman grietas en los periodos más secos. Su fertilidad natural es alta, pero la expansión y contracción de la arcillas puede limitar su potencial agrícola
Mollisol	Suelos mullidos, fértiles, profundos, bien drenados, con buen contenido de materia orgánica y con vegetación de pasturas.
Andisol	Suelos normalmente derivados de ceniza volcánica y que exhiben propiedades andicas (baja densidad aparente, alta fijación de P, dominancia de minerales de bajo ordenación -no cristalinos-)
Alfisol	Suelos con un estado intermedio en su evolución, en los cuales hay expresión de procesos de formación del suelo, con regímenes de humedad favorables, conservan un alto niveles de bases intercambiables y relativa baja acumulación de materia orgánica en el perfil.
Spodosol	Suelos con horizontes espodico y albico (E). Se forman en relieves estables, con material parental rico en cuarzo, con horizonte superficiales ricos en arena y en regiones lluviosas. Esto permite la acumulación iluvial de humus y/o arcillas en partes intermedias del perfil (Bh, Bt). Usualmente la vegetación natural asociada es de bosques.
Oxisol	Suelos altamente meteorizado, arcillosos, formados en regiones tropicales lluviosas. Su fracción arcillosa está dominada por arcillas y oxido de hierro y aluminio que exhiben baja capacidad de intercambio catiónico. Suelo de baja fertilidad natural.
Ultisol	Suelo muy meteorizado y lixiviado, formado en regiones tropicales lluviosas. Suelos con acumulación iluvial de arcillas en el perfil que forman un el horizonte Bt. Suelos con baja fertilidad natural, muy ácidos, con bajo contenido de bases intercambiables.
Histosol	Suelo formado casi exclusivamente por materia orgánica. Presenta más del 30% de materia orgánica a 40 cm de profundidad. Normalmente son saturados con agua o artificialmente drenados. Gran expresión del horizonte O.
Gelisol	Suelos ubicados en regiones de latitudes templadas muy frías (regiones polares o subpolares) o en muy altas elevaciones, donde puede ocurrir congelación del agua del suelo (permafrost). Usualmente rico en materia orgánica y con perfil disturbados.

Tabla elaborada a partir de Buol et al. (1997).

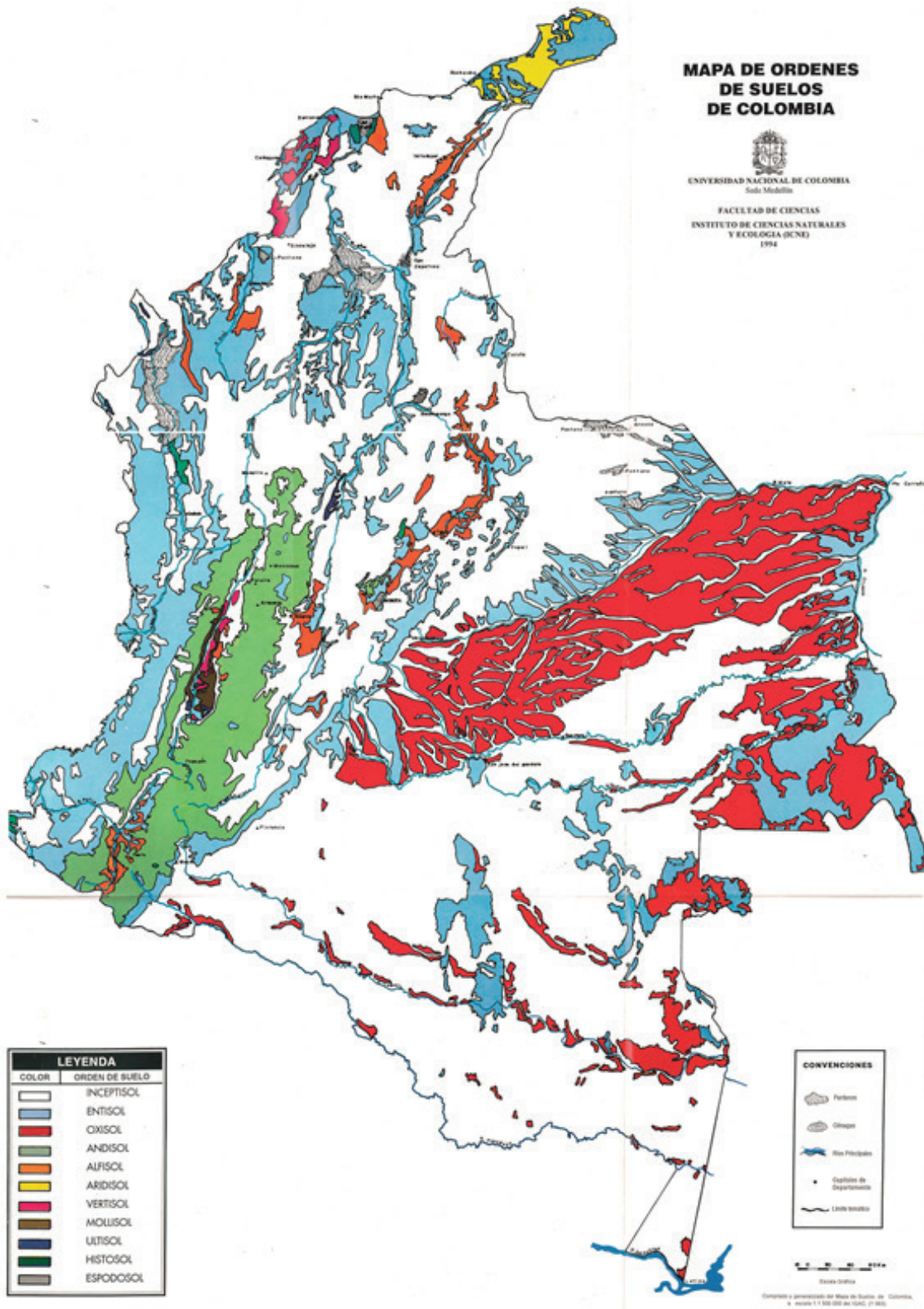


Figura 13. Mapa de órdenes de suelos de Colombia.

Fuente: Jaramillo *et al.* (1997); Jaramillo, Parra, González (1994).

5.3 Muestreo de suelos

El suelo es la base para el establecimiento de cualquier proyecto agrícola, pecuario, forestal, pero antes de establecer su uso es necesario conocer sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas del mismo. Luego que las limitaciones del suelo han sido detectadas se puede determinar su uso más adecuado y el manejo racional que debería dársele.

El objetivo del muestreo define la metodología a emplear, a continuación se describirá la metodología comúnmente aceptada para muestrear suelos con el fin de evaluar su fertilidad, es decir, su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas. Estas sugerencias deben ser consideradas como orientaciones generales que permitirán, a quien toma las muestras, adoptar criterios para enfrentar casos particulares en el campo al momento del muestreo. Es importante que la muestra de suelos sea representativa del terreno que se desea evaluar, usualmente se emplea una muestra compuesta que consiste en una mezcla de porciones de suelo (submuestras) tomadas al azar en un terreno homogéneo. Los análisis de suelos en el laboratorio se realizan siguiendo metodologías bastante detalladas, con técnicas analíticas muy exactas y precisas, por esto el muestreo representa la fuente de error más común.

5.3.1 Delimitación de suelos

En una finca es común encontrar diferentes tipos de suelos, por lo que es necesario identificarlos y definir sus límites dentro del paisaje. Cada tipo de suelo se considera como un terreno homogéneo e independiente que corresponde a una unidad de muestreo y debe ser identificado con base en características

como la pendiente (plano, inclinado), material parental (aluvión, coluvión), uso (pastura, bosque), manejo (fertilizado, no fertilizado) entre otras. El cambio en estas características usualmente coincide con los límites de cada unidad de muestreo como se aprecia en la Figura 14.

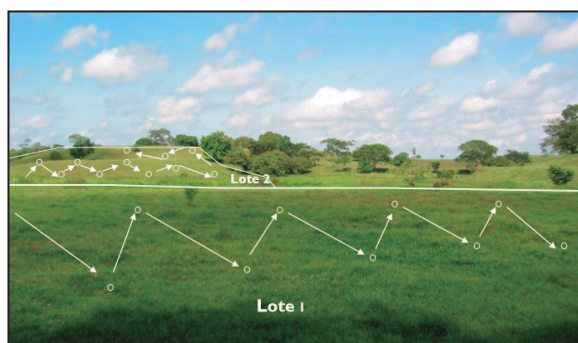


Figura 14. Delimitación de lotes (1 y 2) para definir unidades de muestreo de suelos en una pastura de kikuyo, Rionegro, Antioquia. En la figura se muestra el recorrido en zig-zag y los puntos corresponden a los sitios de toma de submuestras.

Fuente: N.W. Osorio.

5.3.2 Toma de submuestras.

La muestra de suelo tomada dentro de cada unidad de muestreo es una “muestra compuesta”. Esta resulta de mezclar varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo. El número de submuestras por unidad de muestreo es variable, en general se recomienda tomar entre 10-15. Es pertinente tener en cuenta que esta técnica de muestreo es válida sólo si el suelo dentro de cada unidad es homogéneo, por lo que es muy importante hacer una buena definición de las unidades de muestreo. Una vez se han definido los límites de cada unidad se procede a tomar las submuestras. Para ello se hace un recorrido en zig-zag sobre el terreno, tomando una submuestra en cada vértice donde se cambie la dirección del recorrido (Figura 14).

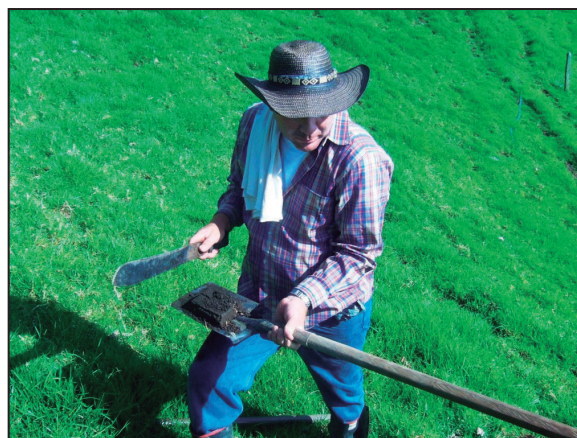
Es necesario asegurarse que las herramientas estén completamente limpias, libres de superficies oxidadas y que no contengan residuos de otros materiales.



Figura 15. Recorrido para la toma al azar de submuestras de suelo en un lote de aguacate en La Ceja, Antioquia.

Fuente: N. W. Osorio

un área de 40 cm x 40 cm, y luego introducir el barreno o pala a la profundidad deseada. En general, se recomienda una profundidad de 20 cm para la mayoría de cultivos agrícolas, lo cual coincide con la mayor concentración de raíces en el suelo. Para el caso de pasturas 10-15 cm es suficiente. Si se utiliza una pala se hace un hueco en forma de "V" y luego tomar una porción de 10x10x3 cm de una de las paredes del suelo extraído y se transfiere a un balde limpio (Figuras 16 y 17). Cuando se emplea el barreno se deben transferir entre 100-200 g del suelo. Es importante tener en cuenta que las herramientas deben limpiarse después de tomar cada submuestra.



Figuras 16 y 17. Toma de submuestras.

Fuente: Noreña Grisales J. M.



Figuras 18 y 19. Sitio de la toma de una sub-muestra en una plantación de aguacate (izquierda) y de café (derecha).

Fuente: N. W. Osorio (izquierda) y A. Tamayo (derecha).

Para especies frutales, plantaciones forestales y agrícolas (café, cacao, aguacate, etc.) algunos recomiendan tomar dos submuestras por sitio, una de 0-20 cm de profundidad y otra de 20-40 cm en la mitad de la gotera del árbol (la sombra proyectada por el árbol a mediodía) (Figuras 18 y 19). Sin embargo, la interpretación de los resultados y las recomendaciones de manejo son basadas en la muestra superficial y poco en la muestra profunda. Ya que normalmente la gran mayoría de raíces se concentra en los primeros 20 cm de profundidad, la muestra en profundidad es innecesaria. En cualquier caso se debe remover piedras, raíces gruesas, lombrices e insectos del suelo. Las porciones del suelo se desmenuzan con la mano. Cuando se haya completado el número total de submuestras deseado, se transfiere aproximadamente 1 kg de suelo previamente homogenizado a una bolsa plástica limpia (muestra compuesta). La bolsa debe cerrarse y marcarse con el nombre o número del terreno muestreado o con un código elegido por el muestreador. Recuerde que una muestra (1 kg) representa un terreno homogéneo y no se deben mezclar muestras de terrenos diferentes.

La muestra compuesta debe enviarse a un laboratorio de suelos lo más pronto posible. Esto en términos prácticos significa de 1 a 2 días máximo. Esta puede ser mantenida a temperatura ambiente sin exponerla al sol. Si la muestra se encuentra muy húmeda se debe dejar secar a la sombra.

5.3.3 Cuidados al tomar muestras del suelo

Es importante evitar contaminar la muestra y por tanto durante el muestreo evite fumar, comer, o manipular otros productos (cal, fertilizantes, cemento, etc.). Así mismo, no se debe tomar muestras cerca de caminos, canales,

viviendas, linderos, establos, saladeros, estiércol, estanques o lugares donde se almacenen productos químicos, materiales orgánicos, o en lugares donde hubo quemas recientes. De igual manera, evite tomar submuestras de “parches” o áreas pequeñas que difieren del resto del lote, por ejemplo, de pequeños sitios salinos o mal drenados. Lávese bien las manos antes de hacer el muestreo. No utilice bolsas o costales donde se hayan empacado productos químicos, fertilizantes, cal o plaguicidas.

5.3.4 Época de muestreo

Engeneral se recomienda realizar el muestreo 2 meses antes del establecimiento de un cultivo. De esta manera hay suficiente tiempo para obtener los resultados, interpretarlos, establecer las recomendaciones y adquirir las enmiendas y fertilizantes, en caso de sea necesario aplicarlos. En cultivos perennes la frecuencia del muestreo puede ser cada 1 año, esto podría hacerse al inicio de la floración. La frecuencia de muestreo puede ser más intensa para cultivos altamente tecnificados (flores, hortalizas, etc.). En pastos establecidos se puede muestrear cada 1 ó 2 años, luego de hacer un pastoreo o corte. Con el fin de disminuir el costo de la inversión inicial en el cual se debe incurrir cuando es necesario muestrear y analizar varios lotes a la vez se puede establecer un cronograma de muestreo de suelos para los diferentes potreros y así diferir dicho costo.

5.4 ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO

5.4.1 Preparación de la muestra.

Una vez la muestra llega al laboratorio de suelos se realiza el registro, en el cual se especifican datos como área, profundidad, drenaje, relieve, temperatura, precipitación,

cultivo anterior y actual, fertilización anterior, entre otros. Esta información es útil al momento de definir qué cultivo se puede establecer y con cuáles prácticas de manejo (época y método de aplicación de cal, fertilizantes, enmiendas orgánicas, y/o inóculos microbiales). Posteriormente la muestra de suelo se seca en estufa alrededor de 50C durante 48-72 horas. La muestra seca se pasa a través de tamices de 2 mm de apertura y se pesa una determinada cantidad para los diferentes análisis químicos.

5.4.2. Extracción del nutriente.

La forma como tradicionalmente se determina la cantidad disponible de un nutriente en el suelo es a través del uso de extractantes químicos. Estos pueden ser ácidos diluidos (HCl, H₂SO₄), soluciones salinas neutras (KCl, CaCl₂), o simplemente agua. El objetivo con estas soluciones es extraer fracciones *disponibles* de un nutriente dado: (i) la fracción del nutriente en la solución del suelo (soluble), (ii) la fracción que está débilmente adsorbida sobre la superficie de las arcillas y óxidos (intercambiable) y (iii) los precipitados sólidos fáciles de disolver. Se asume que la cantidad extraída es la sumatoria de estas fracciones que estarán disponibles para el cultivo durante su ciclo de crecimiento y producción.

Existen diversos métodos químicos para extraer del suelo los nutrientes, en Colombia se utilizan diversos métodos y muy

particularmente aquellos que aparecen en la Tabla 6. Estos métodos han sido calibrados para los cultivos y suelos de Colombia por el ICA (instituto Colombiano Agropecuario) y también han sido usados por el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) en múltiples estudios del levantamiento de suelos. La gran mayoría de los laboratorios de suelos de universidades y empresas privadas emplean estos métodos. Una vez el nutriente se ha extraído, la suspensión formada por la muestra-solución extractora se pasa a través de papel filtro. Luego, a través de un método analítico dado se cuantifica en el filtrado la cantidad del nutriente que fue extraída por la solución extractora. Los métodos analíticos pueden variar entre laboratorios, normalmente se incluyen potenciometría, espectrofotometría visible, absorción atómica e inducción de plasma, entre otros como se observa en la Tabla 6. Por supuesto los equipos se calibran previamente con soluciones estándares para asegurar la confiabilidad de la lectura. Normalmente, los laboratorios de suelos tienen programas de calidad para asegurar que el dato analítico es confiable.

Las unidades en las que se expresan los resultados también varían entre laboratorios, pero se recomienda emplear el sistema internacional (S.I.) de unidades. Por ejemplo, se recomienda usar cmol_c kg⁻¹ en lugar del tradicional meq/100 g, así mismo, se emplea mg kg⁻¹ en vez de ppm.

Tabla 6. Métodos de extracción y análisis usados para evaluar la fertilidad del suelo en Colombia.

Parámetro	Método de extracción	Unidades S.I.†	Determinación analítica
Textura	Bouyoucos	-	Densimetría
pH	H ₂ O (1:1, V:V)	-	Potenciometría
MOS	Walkley & Black	g kg ⁻¹	Titulación redox
Al	Yuan (KCl 1M)	cmol _c kg ⁻¹	Titulación
Ca, Mg, K, Na	Acetato de amonio 1M	cmol _c kg ⁻¹	Absorción atómica
P	Bray II (NH ₄ F 0.03 M y HCl 0.1 M)	mg kg ⁻¹	Espectrofotometría

Tabla 6. Métodos de extracción y análisis usados para evaluar la fertilidad del suelo en Colombia. (Continuación)

Parámetro	Método de extracción	Unidades S.I.†	Determinación analítica
S	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 0.008 M	mg kg ⁻¹	Turbidimetría
Fe, Mn, Cu, Zn	Olsen (NaHCO ₃ 0.5 M)-EDTA	mg kg ⁻¹	Absorción atómica
B	Agua caliente	mg kg ⁻¹	Espectrofotometría
N-NO ₃	Al ₂ (SO ₄) ₃ 0.025 M	mg kg ⁻¹	Potenciometría
N-NH ₄	KCl 1M	mg kg ⁻¹	Potenciometría
Salinidad	Pasta saturada	dS m ⁻¹	Conductividad eléctrica

† cmol_c kg⁻¹= meq/ 100 g; mg kg⁻¹= ppm; dS m⁻¹= mmhos/cm; g kg⁻¹= % x10; MO= materia orgánica.

5.4.3 Interpretación del análisis de fertilidad del suelo.

La interpretación del análisis del suelo es un proceso complejo, porque además de considerar cada parámetro individualmente se deben considerar las interacciones entre ellos, y estimar la interdependencia con las condiciones climáticas y el manejo del cultivo.

Los resultados del análisis del suelo tienen que ser considerados en términos indicativos y no necesariamente cuantitativos y son específicos para el método de extracción determinado. La interpretación de los análisis se basa en los resultados de experimentos de campo, a partir de los cuales se han establecido categorías de suficiencia de un nutriente (muy baja, baja, media, alta y muy alta). Las categorías “muy baja” y “baja” indican una deficiencia del nutriente en el suelo, por tanto se recomienda aplicar una dosis alta de éste a través de un fertilizante o una enmienda orgánica. La categoría “Media” indica que la disponibilidad del nutriente es suficiente para el cultivo y se puede aplicar fertilizantes o enmienda orgánica en una dosis moderada para mantener dicho nivel de fertilidad, debido a que el cultivo a establecer removerá nutrientes y lo empobrecerá. Cuando la categoría es “Alta” no se recomienda aplicar el nutriente ya que no hay respuesta del cultivo a la aplicación del elemento. Si la categoría es “Muy alta” esto puede ser un indicador de que se podría

generar toxicidad o desbalance nutricional con otros elementos, en algunos casos se podría generar contaminación ambiental. Valga la pena aclarar, que esto aplica para los nutrientes extraídos y no para otros parámetros tales como el contenido de carbono orgánico, la textura, salinidad, pH, aluminio.

En Colombia, se observa en la Figura 20 el mapa de fertilidad natural de suelos y a su vez se consideran de manera general los rangos que aparecen en la Tabla 7. Estos rangos pueden utilizarse para la gran mayoría de cultivos de interés agrícola (maíz, frijol, sorgo, plátano, cacao, kikuyo, raigrás, tabaco, entre otros). Para aquellos cultivos más exigentes en nutrientes (banano, papa, flores) existen otros rangos que pueden ser consultados en literatura más especializada, pero su aplicabilidad está sujeta a la región de influencia del experimento. Por ejemplo, en algodón la categoría “Media” para K en el Valle del Cauca es de 0.25-0.45 cmol_c kg⁻¹, mientras que en los Llanos Orientales es de 0.1-0.15.

La interpretación del contenido de materia orgánica del suelo (MOS) merece una mayor elaboración. En primer lugar, esta materia orgánica es del horizonte A que se encuentra humificada (no se considera para este fin la materia orgánica de la hojarasca, horizonte O). Tradicionalmente, la MOS se utiliza para determinar la capacidad que

tiene un suelo de suministrar nitrógeno a partir de su descomposición. En general, se asume que a mayor temperatura ambiental habrá mayor descomposición de la MOS y, por ende, un mayor suministro de N. Sin embargo, el proceso de descomposición de la MOS depende de la actividad de los microorganismos; la temperatura es uno de los múltiples factores que controlan este proceso. Los microorganismos del suelo, particularmente aquellos responsables de la nitrificación, son negativamente afectados por la fuerte acidez, el alto contenido de aluminio intercambiable (Ali) y la deficiencia de fosfato. Por lo anterior, la capacidad de un suelo para suministrar N a las plantas cultivadas no puede atribuírsele solo a la temperatura.

En términos generales, se puede afirmar que la cantidad de MOS será determinante para suministrar N a las plantas cuando haya condiciones favorables para los

microorganismos del suelo. Estas condiciones se pueden presentar en las zonas de vida bosque seco y muy seco tropical, en Colombia corresponden a la región Caribe y a los Valles interandinos del Río Magdalena y Cauca. Por el contrario, las zonas de vida bosque húmedo y muy húmedo tanto a nivel tropical, premontano y montano, normalmente presentan suelos ácidos, ricos en Aluminio y pobres en nutrientes. En consecuencia, los suelos de las regiones Andina, Pacífica, Orinoquia y Amazonía no presentan una buena descomposición de la MOS, y por ende, el suministro de NO_3^- es bajo. Por lo anterior, la MOS tiende a acumularse y es común encontrar que en estos suelos, aún con altos niveles altos de MOS, es necesario aplicar fertilizantes nitrogenados y/o enmiendas orgánicas (gallinaza, porcিনaza, entre otras) para obtener rendimientos satisfactorios en los cultivos. La dosis a aplicar se determina experimentalmente y depende del nivel de rendimiento proyectado.

Tabla 7. Rangos generales para interpretar los resultados del análisis químico de suelos.

Parámetro	Unidad	Interpretación				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Ca	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	<1	1-3	3-6	6-9	> 9
Mg	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	<0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3	> 3
K	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	< 0.05	0.05-0.15	0.15-0.3	0.3-0.5	> 0.5
Na	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	< 0.5	0.5-1			> 1
Al	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	< 0.5	0.5-2			> 2
P	mg kg^{-1}	< 5	5-15	15-30	30-45	> 45
S	mg kg^{-1}	< 3	3-6	6-12	12-15	> 15
Fe	mg kg^{-1}	< 10	10-25	25-50	50-100	> 100
Mn	mg kg^{-1}	< 2.5	2.5-5	5-10	10-20	> 20
Cu	mg kg^{-1}	< 0.5	0.5-1	1-3	3-5	> 5
Zn	mg kg^{-1}	< 0.5	0.5-1.5	1.5-5	5-10	> 10
B	mg kg^{-1}	< 0.2	0.2-0.5	0.5-1	1-1.5	> 1.5

Fuente: adaptado de ICA.

Para la interpretación del pH del suelo se puede utilizar la Tabla 8. Asociado al valor de pH hay otras condiciones como la presencia y posible toxicidad de Al, la disponibilidad de micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B), cationes

de cambio (Ca, Mg, K, Na), la disponibilidad de P, Mo, entre otros. Así mismo, de una manera general se puede prever si se requiere encalar o no.

Tabla 8. Interpretación del pH del suelo (agua, 1:1, V:V).

pH	Categoría	Interpretación
< 5.0	Extremadamente ácido	Severa toxicidad por Al y quizá por Mn; Alta probabilidad de deficiencia de P, S, Mo y bases intercambiables; se esperan altos niveles de algunos micronutrientes. La mayoría de cultivos requieren encalamiento.
5.0-5.5	Fuertemente ácido	Toxicidad por Al y Mn; deficiencia de P, S, Mo y bases; altos niveles de algunos micronutrientes. Muchos cultivos requieren encalamiento.
5.5-6.0	Moderadamente ácido	No toxicidad por Al; mayor disponibilidad de P, S, Mo y bases (especialmente a pH cercano a 6). Algunos cultivos susceptibles a la acidez del suelo requieren encalamiento.
6.0-6.5	Ligeramente ácido	En general es una adecuada condición para la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Algunos micronutrientes (particularmente Fe y Mn) pueden estar en baja disponibilidad para cultivos susceptibles a su deficiencia.
6.5-7.3	Neutro	Altos niveles de Ca, Mg. Algunos cultivos pueden mostrar deficiencias de micronutrientes. La disponibilidad de P puede ser baja.
7.4-8.0	Alcalino	Baja disponibilidad de P y micronutrientes. Altos niveles de Ca, Mg. El Na puede ser un problema.
> 8.0	Muy alcalino	Severas limitaciones en la disponibilidad de algunos nutrientes. El Na puede ser tóxico.

Fuente: ICA (1992).

En la Tabla 9 aparecen los criterios para clasificar el contenido de materia orgánica del suelo (humificada) que aparece en el horizonte A.

Tabla 9. Categorías del contenido de MOS en función de la altitud y la temperatura.

Altitud (m)	Temperatura (°C)	Categorías				
		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
< 1000	> 24	< 1	1-2	2-3	3-5	> 5
1000-2000	18-24	< 2	2-3	3-5	5-10	> 10
> 2000	< 18	< 3	3-5	5-10	10-20	> 20

Para la correcta interpretación del contenido de la MOS en la fertilidad del suelo se deben considerar otras condiciones del suelo tales

como aireación, pH, Al intercambiable, P disponible, actividad microbial.

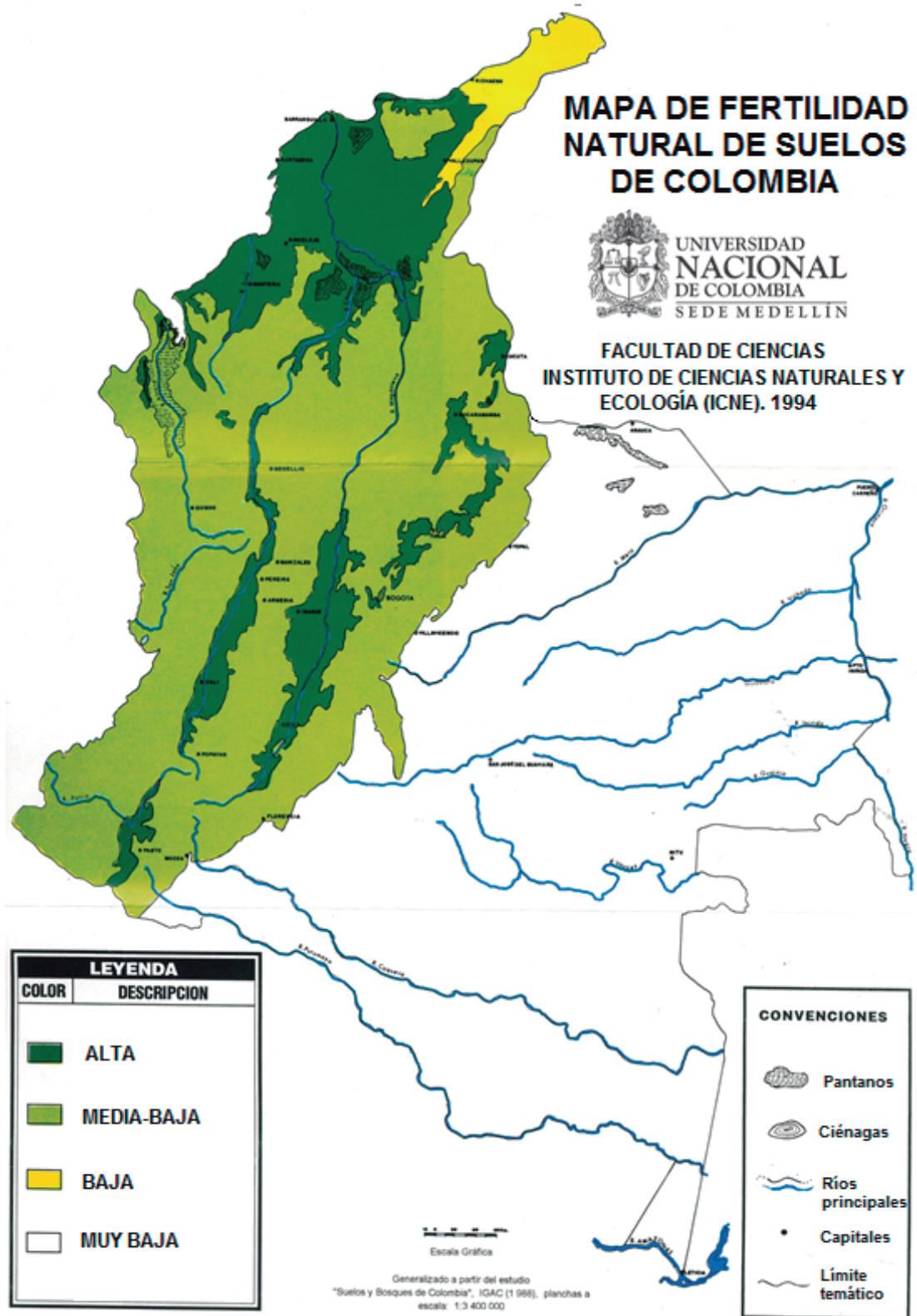


Figura 20. Mapa general de fertilidad de suelos de Colombia.

Fuente: Jaramillo *et al.* (1997); Jaramillo *et al.* (1994).



Fuente: Noreña Grisales J. M.

UNIDAD 6

BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico se fundamenta en la ley física universal de conservación de masas y expresa la equivalencia entre las “entradas” de agua, por ejemplo, por precipitación. Este balance define el caudal a aplicar al suelo de porcina (metros cúbicos/día), teniendo presente la época del año y de las características climáticas de la zona en la que se ubica el sistema productivo. Es fundamental por ende, entender este concepto para definir la tasa y frecuencia de riego, debido a que es menester en algunos

casos restringir la aplicación de porcina en una determinada superficie, sobretodo, donde el suelo está a capacidad de campo¹, ya que se incrementan los riesgos de contaminación de afluentes por procesos asociados a la escorrentía (Peralta, 2005).

6.1 Demanda hídrica.

Depende principalmente de las especies vegetales establecidas como cultivo. Por lo tanto, la dosis de aplicación, época, modo y

¹ Capacidad de campo: es el contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo luego de ser saturado.

frecuencia; deberán estar basados en criterios técnicos y agronómicos, como en el estado fenológico del cultivo y las características de los suelos: textura, estructura, profundidad efectiva, presencia de estratos impermeables, densidad aparente, densidad real, porosidad, drenaje, permeabilidad, tasa de infiltración, percolación, retención de humedad y demás condiciones de oferta ambiental, además de otros factores tales como: pendiente, topografía, entre otros (Peralta, 2005).

Es apropiado resaltar, que la superficie necesaria para hacer la aplicación, deberá ser determinada de acuerdo con los resultados del análisis del balance hídrico, teniendo presente que este balance no sobrepase los requerimientos del cultivo en cuanto a su demanda hídrica.

Por otra parte, es necesario delimitar las zonas del predio donde se aplicará la porcinaza, respetando en especial las áreas de retiro, correspondiente a sitios cercanos a fuentes hídricas o zonas que presenten inminente riesgo de contaminación durante la aplicación, es por ello, que las características del sitio seleccionado para la aplicación del estiércol deben cumplir los siguientes requisitos de prevención de riesgos:

- No estar expuestos a inundaciones periódicas y/o afloramientos de agua.
- Contar con medidas que minimicen la escorrentía a cursos de agua superficial.
- Respetar los retiros correspondientes a las fuentes hídricas, siguiendo las normativas ambientales vigentes.

Es prudente mencionar, que se deben estandarizar las prácticas agronómicas y/o culturales (uso de equipos, maquinaria y otras labores), que permitan una distribución homogénea del estiércol en el suelo y controlar la velocidad de avance de la porcinaza líquida aplicada, evitando posibles riegos de escorrentía. Es de anotar, que la escorrentía como se ha venido reiterando, es un factor muy importante a considerar en el momento de minimizar riesgos de contaminación de las fuentes hídricas y por ende, se debe disponer en los sistemas productivos de estrategias de manejo que mitiguen esos posibles riesgos, como son las zanjas perimetrales, las barreras vivas y el establecimiento de los cultivos bajo curvas de nivel.

Del mismo modo, es una necesidad determinar la capacidad de los tanques de almacenamiento de la porcinaza en las granjas porcícolas, principalmente en los períodos que no puede ser aplicada por condiciones de saturación del suelo u otras situaciones no previstas. Lo anterior, es un factor muy importante para evitar procesos de aplicación indebidos o desbordamiento de los tanques con posterior flujo no controlado de porcinaza hacia los lotes de cultivo.

En el caso de Colombia, el balance hídrico está determinado por las condiciones climáticas presentes en cada región como se aprecia en la (Figura 21), y es de anotar que deberá prestar principal atención en cuanto a dosis y frecuencias de aplicación de porcinaza fresca en campo en zonas muy húmedas y súper húmedas, porque es allí donde los riesgos de contaminación de fuentes hídricas por procesos de escorrentía son más elevados.

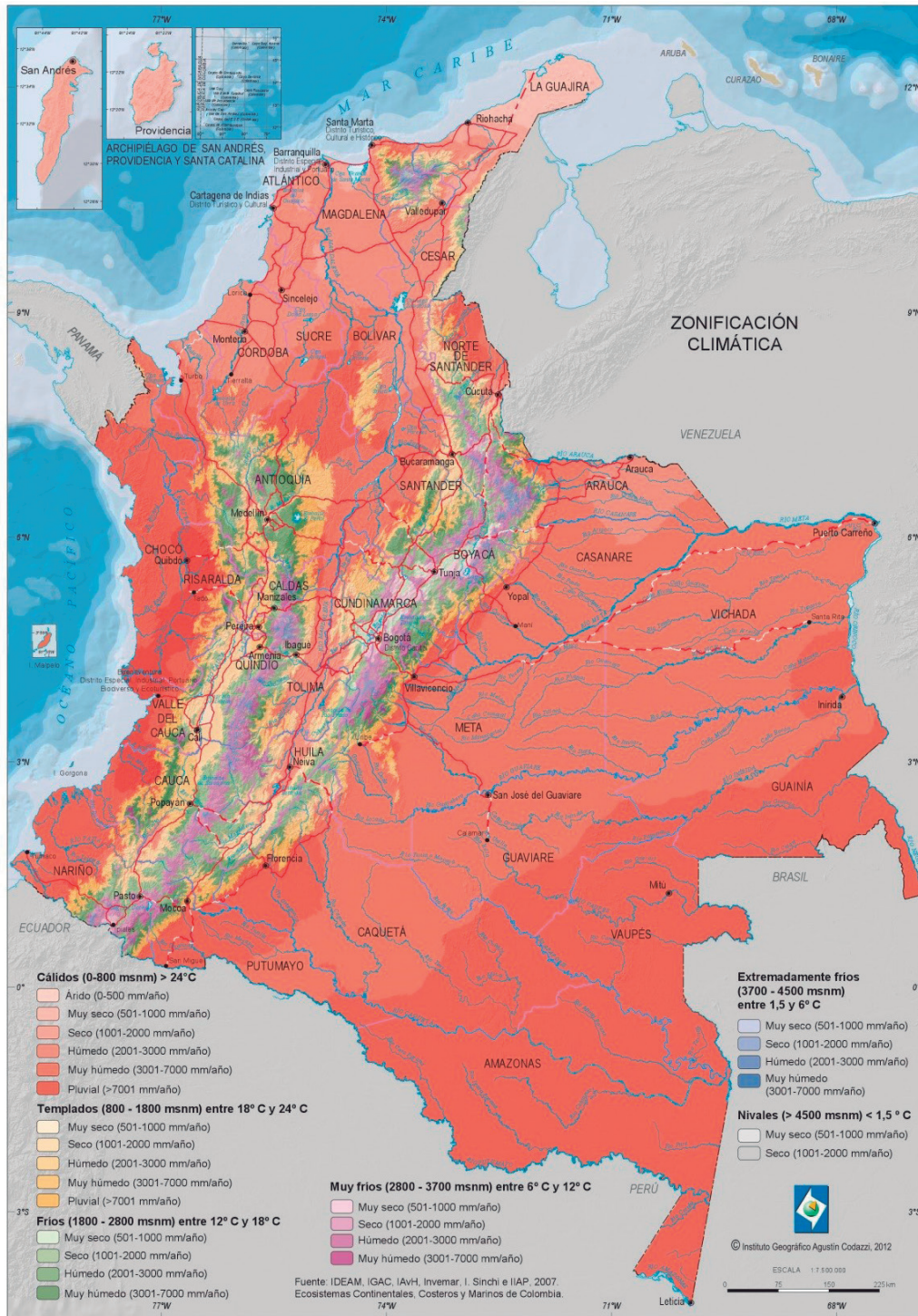


Figura 21. Zonificación climática (IGAC, 2012).

Fuente: www.igac.gov.co/geoportal

Complementariamente, se presentan otras variables que son claves para la determinación del balance hídrico, como las expuestas en el mapa de humedad (Figura 22), precipitación por regiones (Figura 23), temperatura (Figura 24) y vientos (Figura 25).

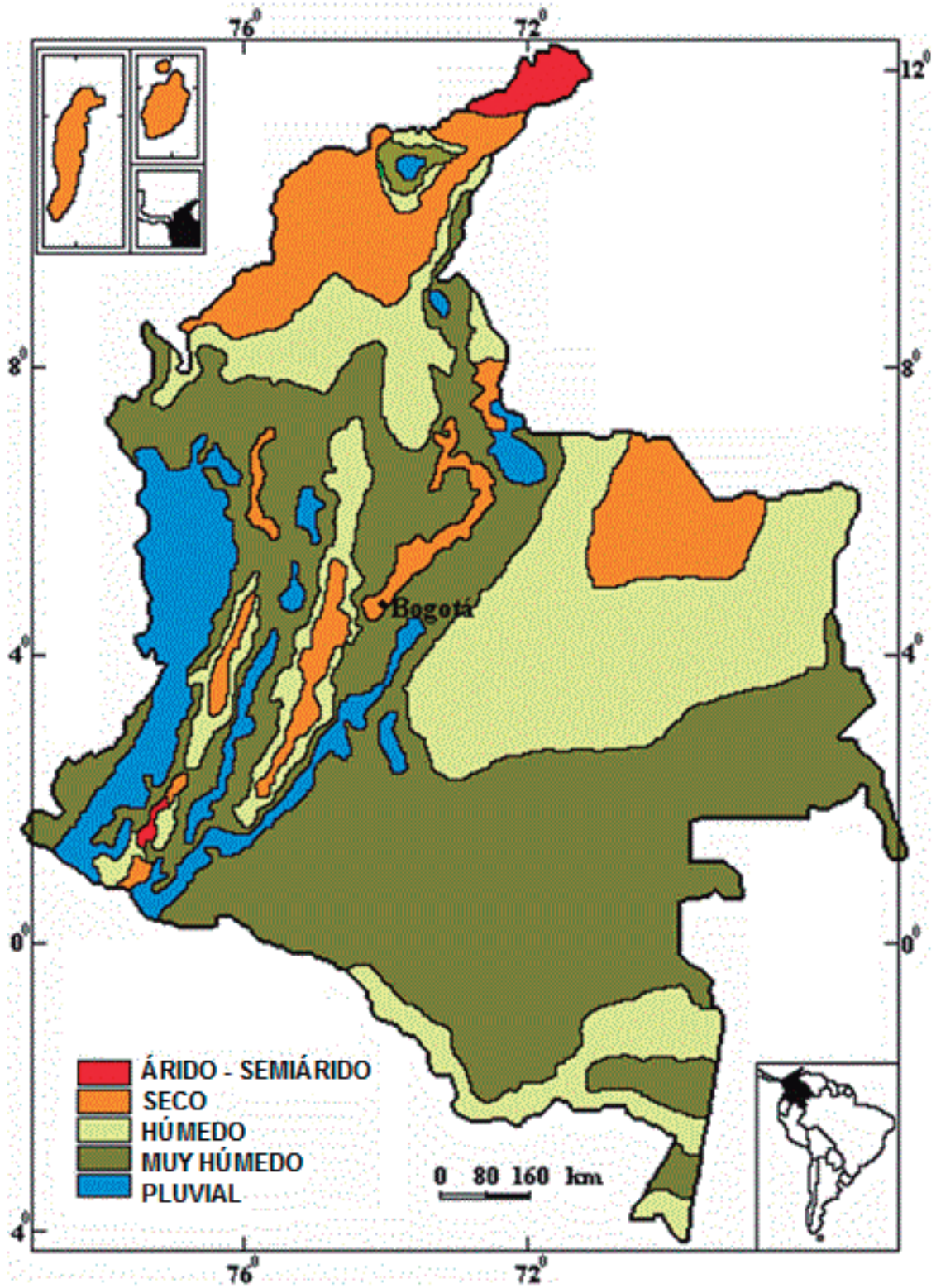


Figura 22. Mapa de humedad.

Fuente: Malagón et al, 1995.

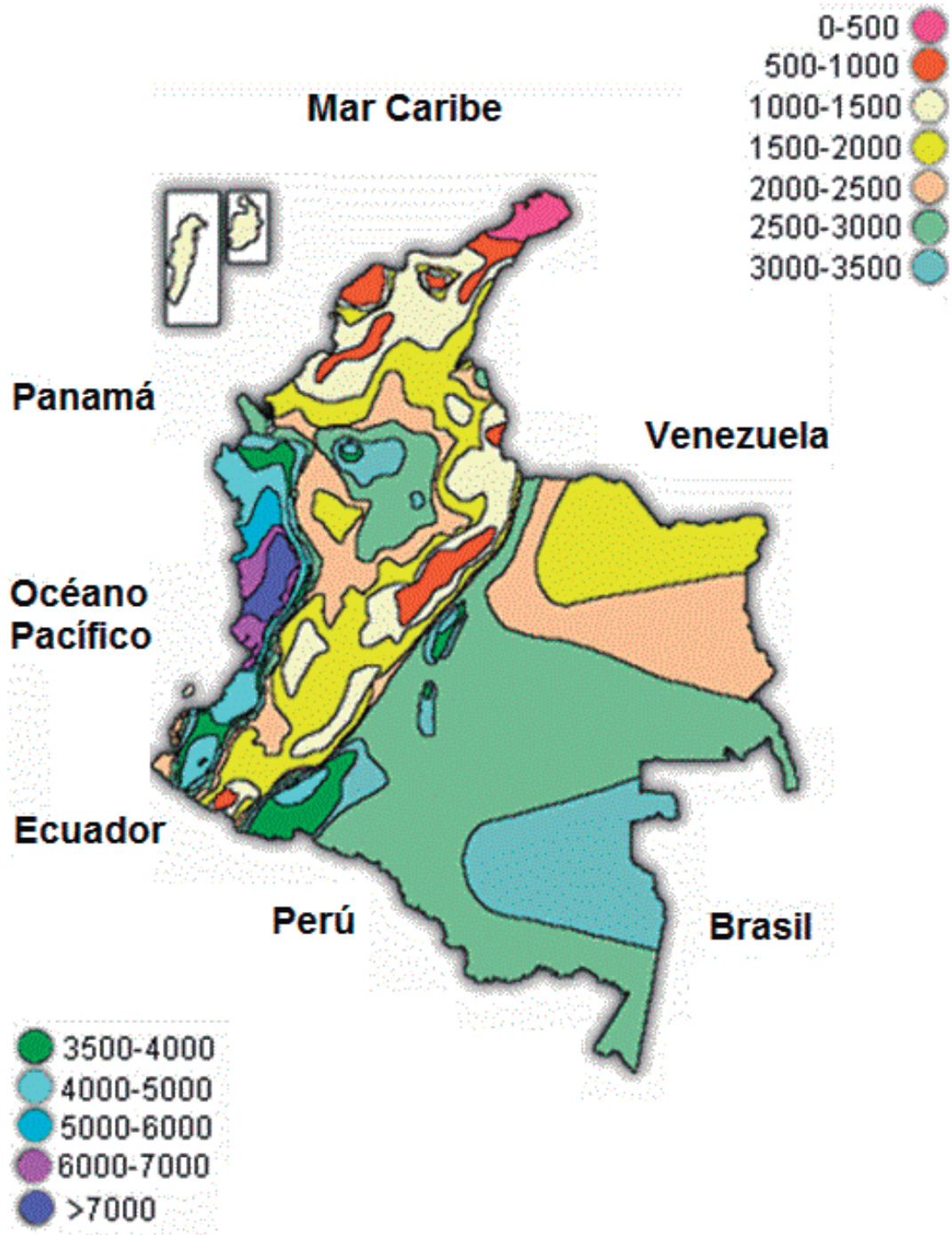


Figura 23. Mapa de Precipitación por regiones.

Fuente: www.todacolombia.com/geografia-colombia/mapas-de-colombia.html

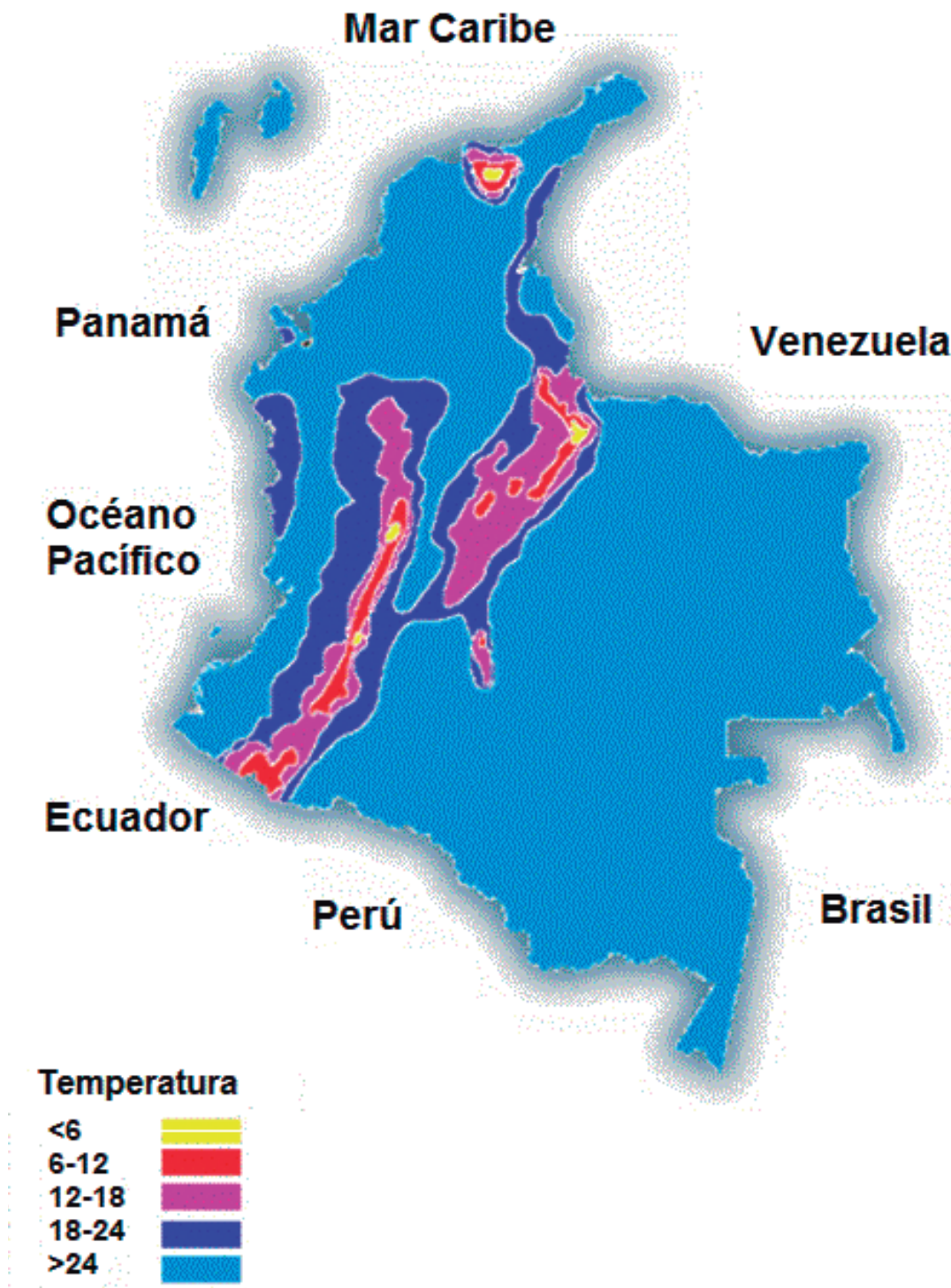


Figura 24. Mapa de Temperatura.

Fuente: www.todacolombia.com/geografia-colombia/mapas-de-colombia.html

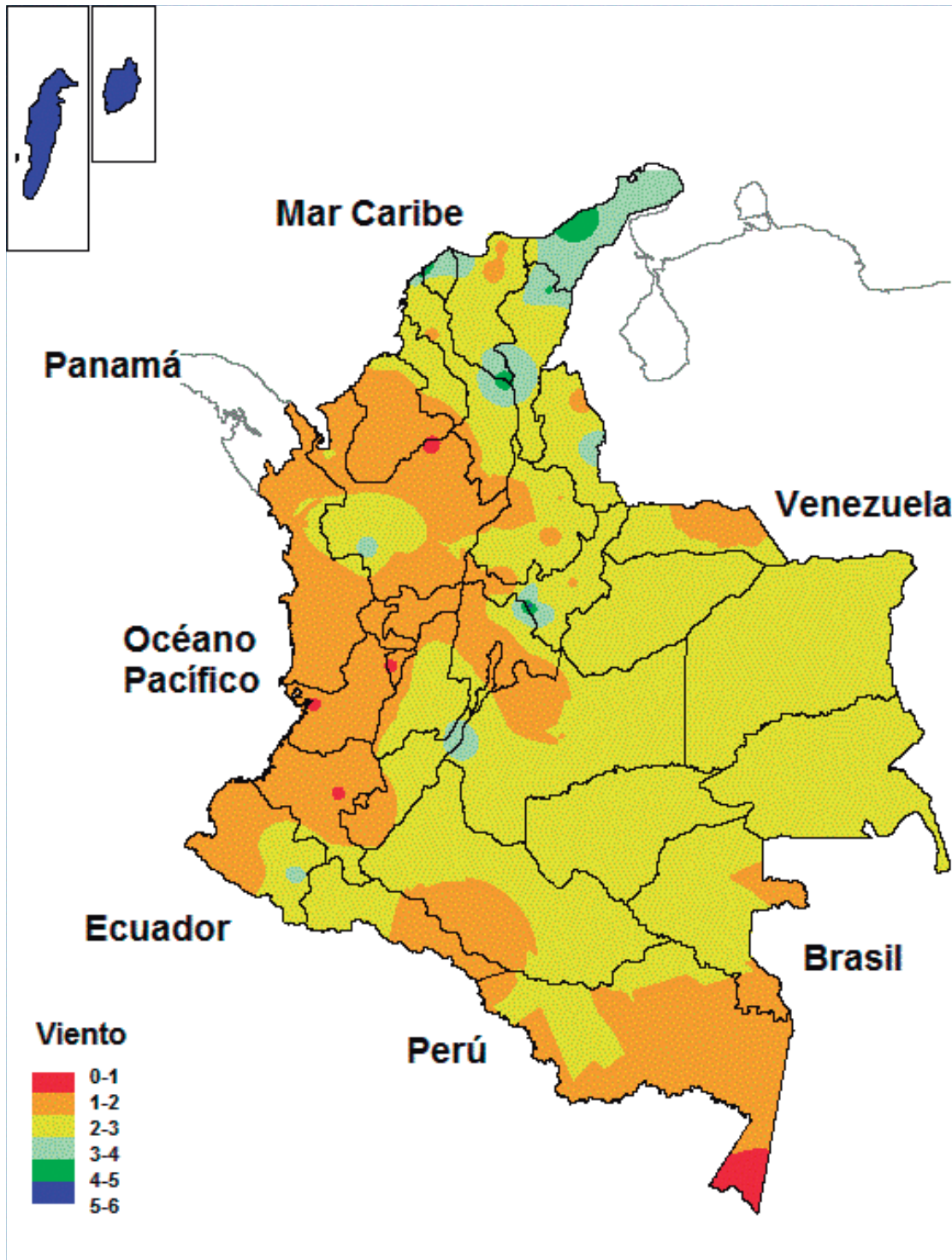


Figura 25. Mapa de vientos.

Fuente: www.todacolombia.com/geografia-colombia/mapas-de-colombia.html



Fuente: Porkcolombia - Fondo Nacional de la Porcicultura

UNIDAD 7

MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LA EXCRETA PORCINA EN LA GRANJA

Con la expresión “excreta líquida” se hace referencia a la subproducto generado en aquellos sistemas productivos que utilizan agua para el aseo frecuente, fosas inundadas debajo de pisos ranurados, tanques de vaciado, o un sistema de manejo cualquiera que entrega la excreta en forma líquida (menos del 10 % de materia seca) (ACP *et al.*, 1996). En el manejo correcto de la excreta líquida, la separación de sólidos y líquidos no es un proceso obligatorio. El poricultor debe tener muy claros sus objetivos cuando toma la decisión de definir qué tipo de

sistemas es más apropiado para realizar la separación de la fracción sólida de la líquida.

Por otro lado, el contenido de humedad de la fracción sólida producto de la separación es una variable importante. No debe confundirse material sólido con materia seca. Fracciones sólidas con contenidos de humedad superior al 70% son de manejo muy difícil y generalmente es necesario someterlas a un proceso de secado antes de poder manipularlas propiamente como sólidos (ACP *et al.*, 1996).

Los sistemas de tratamiento de excretas tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental y generar un material orgánico que pueda ser utilizado como fuente alternativa de nutrientes en los planes de fertilización de diversos cultivos. Entre los principales sistemas de tratamientos aplicados a la excreta porcina se puede mencionar:

7.1 Separación Sólido – Líquido

Cuando la excreta debe ser almacenada por cualquier período antes de proceder a su disposición, la separación de sólidos reduce el volumen de almacenamiento líquido necesario en una cifra cercana al 20 %. De otro lado, si la excreta se va a someter a cualquier tratamiento, la separación de sólidos también reduce las magnitudes y especificaciones del sistema de tratamiento siguiente.

La capacidad de remoción de sólidos bajo los sistemas empleados en la industria porcina, dependerá del método de separación utilizado (ACP *et al.*, 1996). De la separación pueden obtenerse subproductos con mejores propiedades para el manejo y transporte, el líquido puede desplazarse por tuberías sin el peligro que se taponen (Peralta, 2005); sin embargo, este método no siempre significa un ahorro energético o en costos, pues es necesario manejar la fracción sólida.

Según Peralta (2005), entre las principales ventajas del proceso de realizar la separación de sólido-líquido se puede mencionar:

- La separación permite realizar de mejor forma el almacenamiento de las excretas.
- La reducción de olores, manteniendo el contenido nutritivo de la porcina y facilitando la producción de biogás, o el procesamiento de la fracción sólida como abono o enmienda para suelos.

- La separación de sólidos hace posible aplicar la excreta en este caso líquida como biofertilizante en las primeras etapas de emergencia y desarrollo de algunos cultivos.

Por otro lado, las principales limitantes para su aplicación son:

- Los costos de infraestructura y mano de obra que implica el proceso de separación
- La disponibilidad de espacio para los sistemas de almacenamiento de las excretas sólidas.

La separación de sólidos puede realizarse con el empleo de procesos biológicos, químicos o mecánicos. En los efluentes de origen pecuario generalmente se utilizan éstos últimos, tales como: tanques de sedimentación, separadores de malla inclinada estática, mallas vibradoras, separadores con base en la fuerza centrífuga, malla circular rotativa, correa plana, entre otros.

Las siguientes son las situaciones más comunes por las cuales se recomienda realizar la separación sólido-líquido en la porcina:

- a) Cuando es insuficiente el área de cultivos con respecto a la cantidad de porcina producida. Es importante precisar, que la separación de sólidos remueve aproximadamente el 25% de los nutrientes presentes en la porcina y en esta medida, la cantidad de área de cultivo que es posible fertilizar con la excreta de una explotación dada, se reduce en la misma proporción. En este caso, los sólidos no son adicionados a los suelos objeto de la fertilización con líquido.
- b) Si se aplica a ciertas especies vegetales la porcina, donde su uso es condicionado por normativas sanitarias o también cuando se pretende aplicar como fertilizante en las primeras etapas de

emergencia de algunos cultivos, para reducir el riesgo que las plántulas sean afectadas en su crecimiento y desarrollo por acumulación excesiva de sólidos en la superficie.

- c) Por poco espacio disponible de los sistemas de almacenamiento. Es de anotar, que la separación de sólidos puede reducir el volumen de almacenamiento con porcinoza líquida en una cifra cercana al 20 %.
- d) Para la obtención de un material sólido de alto valor como fertilizante, que a futuro puede ser utilizado con fines comerciales para utilizarlo como abono o enmienda en suelos.
- e) En casos específicos, debido al recurrente taponamiento de tuberías, especialmente cuando se pretende transportar la porcinoza hacia áreas de cultivo distantes o conducirla hacia arriba por pendientes pronunciadas.
- f) Si la excreta se va a someter a cualquier tratamiento, la separación de sólidos también reduce las magnitudes y especificaciones del sistema de tratamiento.
- g) Si no existe en el sistema productivo, bombas de alta potencia, que permitan impulsar este subproducto hacia sitios alejados donde será aplicado.

7.2 Compostaje

Es una técnica para el procesamiento de residuos orgánicos; su característica fundamental es que durante todo el tiempo del proceso es necesario garantizar un flujo continuo de oxígeno en el material que se estará compostando (ACP *et al.*, 1996). Según Peralta (2005), es un proceso que consiste en la descomposición de la materia orgánica lábil hasta alcanzar su forma más estable. Para garantizar que un material orgánico pueda compostarse de manera adecuada, debe existir en estos materiales una buena relación carbono - nitrógeno, es decir, entre 20 y 35 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. En la excreta fresca porcícola, normalmente hay una relación de 5 partes de carbono por 1 parte de nitrógeno, lo que hace necesario mezclar la excreta con materiales ricos en carbono.

El producto final del compostaje es un material con una cantidad de nitrógeno inferior al que existe en la excreta fresca, ya que durante este tratamiento se elimina gran cantidad de este elemento. En condiciones normales, el proceso de compostaje puede durar entre 3 y 4.5 meses, por lo que debe tenerse un área con la capacidad suficiente para procesar los volúmenes de porcinoza que se producen diariamente dentro del sistema productivo (ACP *et al.*, 1996).

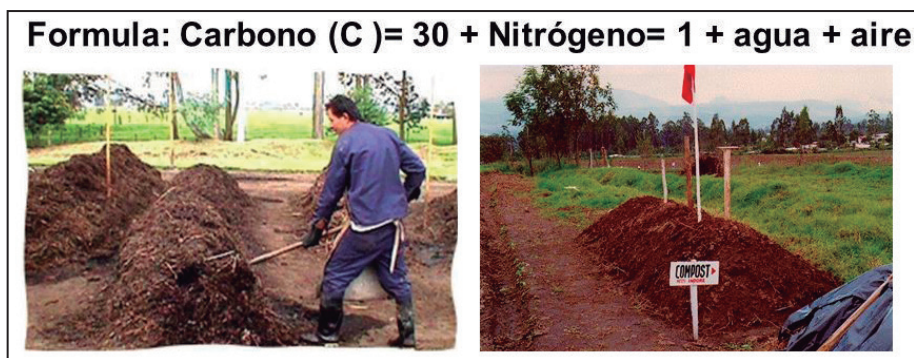


Figura 26. Compostaje tradicional

Fuente: Tomado y modificado de: http://images.slideplayer.es/1/20413/slides/slide_15.jpg



Figura 27. Compostaje tecnificado

Fuente: Tomado y modificado de: <http://www.compostandociencia.com/wp-content/uploads/2014/12/fendt-5-1-e1406047745342.jpg>

En la Figura 26 se ilustra una forma de realizar compostaje con la porcিনaza de una manera tradicional y en Figura 27 se aprecia un sistema de compostaje más tecnificado, con la capacidad de manejar y procesar grandes volúmenes de material.

Según Peralta (2005), algunas de las ventajas del compostaje son:

- Secado rápido con temperaturas elevadas.
- Un producto más seco, que favorece su manipulación y transporte.
- Permite tratar volúmenes altos de material a un costo razonable.

A su vez, este mismo autor menciona algunas desventajas:

- Requiere un área delimitada y extensa cuando se manejan altas cantidades de porcিনaza a compostar.
- Las hileras o montículos deben mantener las condiciones aeróbicas, lo que hace necesario realizar prácticas como el “volteo” del material
- Requiere personal capacitado para garantizar la eficiencia en el proceso.

7.3. Biodigestor.

Un biodigestor es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Como fruto de este proceso se obtiene un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de dióxido de carbono (ACP *et al.*, 1996). En la Figura 28 se observa un biodigestor en funcionamiento dentro de un sistema productivo.



Figura 28. Biodigestor

Fuente: Tomado y modificado de: https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcTXeFX5-SRZwUYdlj67OPDSKzpArs_RYuUOLXpmycDcykve7vErJA

Según Peralta (2005), este tratamiento tiene como ventajas las siguientes:

- El líquido obtenido del tratamiento es menos oloroso que la excreta inicial.

- Producción de biogás. Esto puede implicar beneficios económicos a través del uso del biogás en servicios domésticos y calefacción en fases productivas como lechones lactantes y otras que lo requieran, brindando un ahorro de energía eléctrica dentro del sistema productivo.
- Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas. Aunque el nivel de destrucción de patógeno variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención.

Entre sus principales limitaciones, este mismo autor señala:

- El proceso de instalación y entrada en funcionamiento del biodigestor puede demorar algunas semanas e incluso meses.
- Alta inversión inicial en materiales y construcción del biodigestor.
- A menor temperatura ambiental el proceso de transformación de las excreta resulta más lento.
- Por acción de las reacciones bioquímicas en ausencia de oxígeno, se producen otros compuestos (H_2S , mercaptanos, ácidos orgánicos y aldehídos) que generan corrosión y malos olores cuando no existe un eficiente manejo de este sistema de tratamiento (Peralta, 2005).

7.4 Lombricultura.

Es otra alternativa para procesar las excretas porcinas en estado sólido. Sin embargo, su factor crítico es un adecuado control de la humedad y los depredadores, sin embargo, no necesita un estricto manejo de temperatura ni la intervención periódica de personal para garantizar las condiciones aeróbicas como

sucede en el compostaje. En las figuras 29 y 30, se observa la lombriz roja californiana usada comúnmente en lombricultivos para el procesamiento de materiales orgánicos como la porcinaza.



Figura 29. Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*).

Fuente: Tomado y modificado de: <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRCCFIWPDDeLixiceF-4PJcSt9pbuqG01iBNZUQRXZxcdeB7m0hOBKQ>



Figura 30. Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) transformando sustratos orgánicos

Fuente: Tomado y modificado de: https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQuqX1CFZw_Cf8k3Zbr7J09UyKqMayW46EFB6-p3ceZ2nHBcP-F

Algunas de las ventajas de este sistema de tratamiento son:

- Se puede manejar en espacios reducidos
- Se obtiene un producto estable.
- Requiere poca inversión inicial.

- Como una posible desventaja podría mencionarse:
- Requiere alta cantidad de mano de obra cuando se desea establecer este sistema para el procesamiento de grandes cantidades de material.

7.5 Lagunas de Oxidación.

Es un método de estabilización sencillo para el tratamiento de efluentes agrícolas. Consisten en retener el efluente en estanques durante un período de tiempo suficiente para provocar la degradación de la materia orgánica por medio de la actividad microbológica (Peralta, 2005). En la Figura 31, se evidencia una laguna de oxidación en funcionamiento dentro de un sistema de productivo pecuario.



Figura 31. Laguna de oxidación

Fuente: Tomado y modificado de: <http://img.inforegion.pe.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2013/02/PLANTA-DE-OXIDACION-OLPASA-617x351.jpg>

Las lagunas de oxidación generalmente funcionan de manera anaeróbica (bajo condiciones de ausencia de oxígeno) en los sistemas de producción pecuarios. En este caso las principales ventajas de este tipo de tratamiento son:

- Condiciones de establecimiento muy poco exigentes.
- Soportan altas cargas orgánicas.
- Pueden cumplir funciones de sedimentación y digestión.

- El biogás producido puede ser recuperado y utilizado.

Las principales desventajas de las lagunas anaeróbicas son:

- Mayores necesidades de espacio.
- Pueden generar problemas de olores.
- Tiempos elevados de retención.
- Costos de instalación relativamente altos en comparación a otros sistemas de tratamiento.

En las lagunas anaeróbicas, la excreta es sometida a un proceso de descomposición en el cual la materia orgánica es degradada en procesos sucesivos hasta llegar a compuestos simples como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno que se liberan al aire (ACP *et al.*, 1996).

En las lagunas anaeróbicas la remoción de nutrientes como fósforo y potasio oscila alrededor del 30 % y 60% para el nitrógeno dependiendo básicamente del tiempo de retención. En ese sentido es bueno considerar, que el volumen de la laguna depende del tiempo de retención necesario y que mientras más alta y estable sea la temperatura ambiental de la zona, menor será el tiempo de retención. En condiciones favorables puede estimarse un tiempo de retención no inferior a 120 días (ACP *et al.*, 1996).

7.6 Tanque estercolero

Los tanques estercoleros o balsas son una herramienta fundamental para regular el equilibrio entre la producción continua de porcínaza y la aplicación estacional en los cultivos. Esta regulación se realiza gracias al volumen del tanque, que debe ser necesario para hacer una buena gestión de los nutrientes, principalmente del nitrógeno. Durante el almacenamiento se producen efectos interesantes, como puede

ser la reducción de agentes patógenos y un cierto grado de mineralización. A su vez, en éste proceso se producen fermentaciones incontroladas y pérdidas por volatilización de amoníaco y compuestos orgánicos, por lo cual se generan olores desagradables y pérdida de valor fertilizante de la porcínaza. Para evitarlo, es conveniente cubrir los tanques con el objeto de evitar que los animales respiren el ambiente enrarecido a causa de la volatilización del amoníaco y la materia orgánica; y que además, el tanque se encuentre fuera del recinto sanitario de la granja, para facilitar la evacuación sin la necesidad de que entren tractores o cisternas. Si el tanque está cubierto, se reduce la pérdida de valor fertilizante, de malos olores y molestias a la vecindad así como se reduce la entrada de agua lluvia. Un ahorro de agua en la granja repercutirá siempre económicamente y de una manera positiva en el volumen necesario del tanque y en costo del transporte. El almacenamiento la porcínaza líquida como tratamiento primario contribuye a la reducción de patógenos y, en general, reducción de la capacidad de contaminación microbiológica, aunque no total.

La supervivencia de patógenos en los tanques estercoleros depende del tiempo de almacenamiento, así lo presentó (Bentancur, O. & Otros, 2016) en el estudio titulado “Persistencia de patógenos en porcínaza líquida procesada en tanques estercoleros y biodigestores” donde se evaluó la persistencia de virus, bacterias, mohos, levaduras, y parásitos en porcínaza líquida, procesada en biodigestores y tanques estercoleros en el centro-occidente de Colombia. Como resultados, luego de 3 días de almacenamiento de la porcínaza líquida en tanques estercoleros, de los 26 patógenos evaluados, 15 persistieron. El *Circovirus Porcino* tipo 2 (PCV2), mohos, levaduras, *Salmonella spp.*, *Balantidium coli* y *estrongilidos* no persistieron. Como conclusión del estudio, se observó variación en la persistencia de agentes patógenos en los tanques estercoleros, indicando que estos funcionan como sistema de transformación de la porcínaza para la remoción de éstos, siempre y cuando se aumenten los tiempos de almacenamiento si se quiere mejorar su eficiencia.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

UNIDAD 8

RIESGOS Y FACTORES QUE CONDICIONAN EL USO DE LA PORCINAZA COMO BIOFERTILIZANTE

En muchos eventos donde se ha abordado el riesgo de la aplicación de estiércol porcino a los suelos, paralelamente se ha venido destacando su importancia como mejorador de las propiedades químicas, físicas y biológicas, cuando se aplica de manera racional. Según (Orozco, 1983; El Colombiano, 1995; Gómez, 1995), dicha situación ha motivado la realización de diversas investigaciones en el departamento de Antioquia (Colombia), para discutir sobre la pertinencia de la incorporación de la excreta porcina en los suelos.

Por tanto, al garantizar un uso racional de la excreta como fertilizante, se disminuyen los impactos ambientales negativos a los afluentes. Por eso dice Rankin (1993), que la contaminación con cargas demandantes de oxígeno, así como la sedimentación, ocurre como resultado de descargas accidentales, aguas de escorrentía y como consecuencia de procesos erosivos. En el mismo sentido, advierte Mosser (1995 B) cuando afirma que la contaminación de aguas con excretas es un *problema de su manejo* y no un problema de la excreta en sí misma.

Así que, los riesgos ambientales por la aplicación de porcínaza como biofertilizante no son mayores a los generados con la adición de fertilizantes de síntesis química o lodos de depuradoras (biosólidos). Inclusive podría decirse, que estos riesgos podrían ser menores debido a la forma química como se encuentran algunos minerales, y que además se ha evidenciado que la excreta porcícola incrementa la actividad biológica en el suelo (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

Por otro lado, el MAFF (1993), menciona que en el Reino Unido alrededor del 50 % de los lodos de depuradoras se emplea como fertilizante para uso agrícola y es evidente en este caso, que en lo referente a metales pesados (plomo, cadmio, mercurio, cobre, zinc y níquel) no son comparables la cantidades presentes de los mismos por unidad de volumen en este tipo de material, respecto a lo encontrado en la porcínaza, debido a que el contenido de éstos en este subproducto pecuario es considerablemente menor (Giraldo & SA, D. T. T., 2003). En el mismo sentido cabe resaltar, que siempre y cuando el pH del suelo no alcance valores excesivamente bajos, éste tiene capacidad de inmovilizar metales pesados (Meadows, Meadows & Randers, 1994).

8.1. Riesgos del uso de la porcínaza

8.1.1 Riesgo de contaminación de fuentes hídricas por procesos de escorrentía.

Robertson (1977) sustenta, que la contaminación de cuerpos de agua durante el desarrollo de las actividades de aplicación de porcínaza a los cultivos, podría ocurrir por procesos de escorrentía derivados principalmente por condiciones climáticas de alta precipitación donde el suelo se

encontrará a capacidad de campo y su capacidad de infiltración y absorción de la porcínaza es limitada. De igual manera, estas mismas condiciones se replicarían cuando ocurre inundación de tierras recién fertilizadas o cuando se presenta suelos con alto grado de compactación, debido al pisoteo animal u otras labores agrícolas.

Es prudente mencionar también, que las altas dosis y frecuencias de aplicación serían otros factores que crearían la posibilidad de contaminación por escorrentía. Es de anotar, que el riesgo de escorrentía se aumenta si la excreta se aplica sobre un suelo con poca o mínima cobertura vegetal (MAFF, 1991). Por lo anterior, que se recomienda realizar la aplicación de porcínaza en áreas de cultivos bien manejados en términos agronómicos, permitiendo que las plantas posean una buena capacidad de absorción de nutrientes, garantizando así, que los riegos de contaminar cuerpos de agua por escorrentía sean mínimos. En ese sentido, actividades como el mantenimiento de franjas sembradas de pastos o coberturas densas a los lados de las cuerpos de agua, además de franjas de gramíneas nobles intercaladas con los cultivos, ya sea en rotación o en zonas permanentes, son prácticas recomendadas como medida para disminuir los posibles riesgos de contaminación por escorrentía (MAFF, 1993; Huber *et al.*, 1994).

Respecto a lo antes afirmado, un ejemplo a resaltar es el descrito por Pulgarín & Molina (2000), que evaluaron la concentración de nitratos en una corriente de agua que transcurre por potreros de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*¹). Los potreros fueron sometidos de manera continua a diferentes dosis de fertilización con porcínaza,

1 También conocido como *Pennisetum clandestinum*.

encontrando niveles de nitratos más de 150 veces inferiores al límite máximo tolerable en la afluyente evaluada. Es bueno considerar, que en esta investigación no se reportó diferencias significativas entre las distintas dosis de aplicación de porcinaza.

8.1.2 Riesgo ambiental derivado del contenido de nutrientes de la porcinaza.

Los nutrientes como Nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros, que se encuentran en la porcinaza al igual que otros abonos orgánicos como la gallinaza y los fertilizantes comerciales de síntesis química, deben ser incorporados al suelo según las demandas nutricionales que el cultivo de interés requiere para su crecimiento y desarrollo.

En el caso específico del nitrógeno procedente de la porcinaza respecto a los riesgos por contaminación de fuentes hídricas con este nutriente, en un estudio realizado por González (2015), en la granja porcícola San Miguel, ubicada en el municipio de Marsella, departamento de Risaralda-Colombia, con coordenadas origen terraza (34.750 N 41.000 E) a 1.050 msnm, se sustenta que este riesgo fue disminuido a través de los años, debido que la cantidad de Nitrógeno que producen los cerdos en sus excretas es de 8,26 g/día x cada 100 kg de peso vivo, y que comparado con los 44,5 g/día que reporta la Guía Ambiental del Subsector Porcícola editada en el año 2002; se puede evidenciar una reducción substancial del 81,4% en el contenido de Nitrógeno en la porcinaza para el caso de los cerdos en fase de ceba. Lo anterior, puede ser explicado debido a la implementación en la dieta de los animales de minerales orgánicos, el uso de aditivos con base en *yucca schidigera*, que disminuyen la emisión de gases tales como amonio y otros, además del empleo de alimentos peletizados y aumento en la digestibilidad de los

nutrientes a través de mejores procesos de fabricación de los alimentos entre otros aspectos, que han contribuido a aumentar la digestibilidad y absorción de nutrientes en la dieta, disminuyendo así los niveles de nitrógeno excretado por los cerdos.

En el mismo estudio, también cabe resaltar que haciendo una comparación entre el nitrógeno presente en las excreta respecto al nitrógeno que finalmente es dispersado en el suelo como fuente de nutrientes, la infiltración de nitratos (NO_3^-) hacia cuerpos de agua subterránea cuando se aplica porcinaza como fertilizante, sólo alcanza el 0,11% del total de Nitrógeno aplicado y concentraciones máximas de 3,3 mg/l, la cual es inferior a la exigida por la Res. 2115 del 2007 de los ministerios de Ambiente y de Protección Social, que exige una concentración máxima de 10 mg/l. Lo anterior, es algo muy positivo, debido a que despeja muchas dudas referentes a los riesgos de contaminación de las afluentes subterráneas con este nutriente y se abre la oportunidad para fomentar aún más el uso masivo de la porcinaza en los sistemas de producción agrícolas.

De la misma forma, en esta investigación realizada por Gonzales (2015), se describe además un caso de estudio en pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), donde se aprecia el efecto sobre el cultivo al ser incorporada la porcinaza en diferentes formas al suelo como biofertilizante: porcinaza cruda (PC), porcinaza sólida compostada (PSC), porcinaza sólida de lombricultivo (PSL), porcinaza sólida seca (PSS) y porcinaza líquida sometida al biodigestor (PB). Se evidencia entonces, que en general todas las formas de aplicación anteriormente enunciadas, aumentan el contenido de proteína cruda en el pasto y que a su vez, las aplicaciones de porcinaza cruda (PC) directamente del tanque estercolero

al cultivo, al igual que porcínaza líquida que es sometida a digestión anaerobia por biodigestor (PB), poseen la mayor eficiencia

en la toma del nitrógeno por parte del cultivo como se observa en la Figura 32.

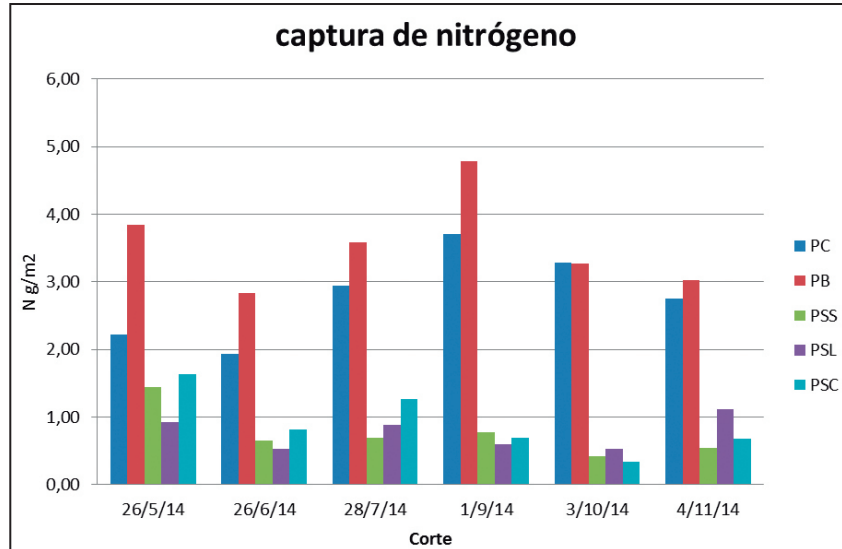


Figura 32. Nitrógeno por el pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*).

En la Figura 32, se aprecia como las diferentes formas como se aplica la porcínaza al cultivo aumentan el contenido de proteína cruda en el pasto Estrella africana, lo que representa algo muy relevante para la alimentación del ganado bovino y ovino en nuestro país, porque puede contribuir a suplir de forma más económica los requerimientos nutricionales de los animales, que seguramente se verá reflejado en mejores índices productivos y una mayor tasa de rentabilidad para el productor pecuario.

En otro estudio realizado por Osorio (2008), la adición de porcínaza fresca ha resultado en un incremento en la concentración de NO_3^- ; tal como se ilustra en la tabla 10. En este caso, la adición de porcínaza a Andisoles sembrados con pasturas de Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) incrementó notable la productividad y la capacidad de carga de estos terrenos al pasar de 0.3 hasta 5 animales/ha, en este último caso con una productividad diaria de leche hasta de 25-35 L/animal. La ventaja de

utilizar este insumo es que también aporta otros nutrientes (fosfato, potasio, calcio, magnesio, entre otros), pero es necesario considerar, que se debe tener mucho cuidado de no generar desbalances nutricionales y/o contaminar aguas corrientes o subterráneas. En muchos casos con la adición de enmiendas orgánicas se puede exceder la cantidad requerida de nutrientes en el suelo y con frecuencia se observan valores disponibles (extraídos con acetato de amonio) muy altos. Lo anterior, puede ser evitado si se monitorea frecuentemente la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través del tiempo (Osorio, 2014).

Según la Tabla 10, se obtuvo en comparación con el testigo, una mejora del pH, es decir, un incremento que favorece la neutralización del aluminio (lo cual mejora la absorción de los principales nutrientes), notándose, casi en la totalidad de resultados, aumentos positivos en las concentraciones de macro y micronutrientes en los dos suelos en estudio.

Tabla 10. Efecto de la aplicación de porcina durante 10 años sobre la disponibilidad de elementos en dos Andisoles de Colombia cultivados con Kikuyo.

Tratamiento	pH	Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	ClCef		
----- (cmol _c kg ⁻¹) -----								
<u>Don Matías:</u>								
Control no fertilizado	5.4	1.2	1.9	0.5	0.16	3.8		
Cada 2 pastoreos	5.5	0.0	3.0	2.1	0.55	5.6		
Cada pastoreo	5.9	0.0	6.6	3.3	1.27	11.2		
<u>Rionegro:</u>								
Control no fertilizado	5.3	1.7	2.2	0.8	0.62	5.4		
Cada pastoreo	5.6	0.0	8.2	3.6	1.07	13.0		

Tratamiento	NO ₃	NH ₄	P-Bray II	Fe	Mn	Cu	Zn	B
----- mg kg ⁻¹ -----								
<u>Don Matías:</u>								
Control no fertilizado	20	13	10	495	5	3	5	0.2
Cada 2 pastoreos	45	21	85	1005	6	6	20	1.3
Cada pastoreo	85	15	160	671	4	8	22	1.2
<u>Rionegro:</u>								
Control no fertilizado	2	37	5	186	6	2	5	0.3
Cada pastoreo	12	44	140	241	16	15	42	1.1

Fuente: Osorio (2008).

8.1.3 Riesgo ambiental asociado al contenido microbioal de la porcina.

El riesgo epidemiológico relacionado con la aplicación de porcina como biofertilizante en diversos cultivos tiene varios aspectos a analizar, entre ellos se puede considerar:

la posibilidad de sobrevivencia en el suelo de los microorganismos provenientes de la excreta, el transporte de los mismos hacia las fuentes hídricas y la capacidad que tiene estos patógenos de generar enfermedad en otras especies (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

Según Segarra (1983), la supervivencia en los suelos de los microorganismos patógenos aportados por las excretas dependerán de muchos factores bióticos y abióticos, como es la exposición a luz solar, las condiciones aeróbicas del suelo y las corrientes de viento. Además es pertinente decir, que las condiciones que favorecen la supervivencia de los microorganismos nativos del suelo, en la mayoría de los casos tienden a ser desfavorables para estos patógenos, lo que implica la erradicación de los mismos, debido a la competencia por la alimentación y por espacio vital (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

En países como Bélgica, algunos investigadores sostienen que al aplicar excreta como fertilizante “los riesgos de transmisión de enfermedades por las aguas

son escasos” (Meeus-Verdinne & Destain, 1993). Además es apropiado resaltar, que la gran mayoría de las bacterias patógenas son intraespecíficas y que los coliformes que son

patógenos y habitan normalmente el tracto intestinal de un cerdo, no son las mismas especies patógenas para humanos y otras especies (Giraldo & SA, D. T. T.,2003).

De otro lado, el riesgo de contaminar microbiológicamente cuerpos de agua está fundamentalmente en la escorrentía al momento de la aplicación. Por esto, la forma más eficiente de evitar la contaminación microbial de las fuentes hídricas, no estará en el tratamiento de las excretas sino en evitar y controlar los procesos de escorrentía de la misma (Giraldo & SA, D. T. T.2003).

Lo anterior expuesto nos permite evidenciar, como el uso de la porcinaza como

biofertilizante no ofrece aparentemente problemas sanitarios graves, siempre y cuando se haga un manejo responsable de la misma en las áreas de cultivo. Retomando lo expresado, es conveniente citar lo expuesto por Moser (1995A), quien afirma lo siguiente: “La madre naturaleza es el mejor sistema para la descomposición de las aguas residuales. El objetivo es optimizar la naturaleza, no cambiarla. Al utilizar la excreta como fertilizante, es la tierra misma la que realiza la función de tratamiento de estos materiales. En el suelo hay más de un millón de bacterias por gramo y estas bacterias se encargarán de transformar la porcinaza”.

8.2. Factores que condicionan el uso de la porcinaza.

Los factores que aumentan el riesgo ambiental y que por ende limitan el uso de la porcinaza en áreas agrícolas, están relacionados con la capacidad que el suelo posee para incorporar este biofertilizante, evitando que los nutrientes alcancen las fuentes hídricas. Lo anterior dimensionado aplica tanto para la fertilización con excretas y la realizada con fertilizantes de síntesis química (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

Rankin (1993) menciona que es posible clasificar los suelos según su capacidad para reciclar las excretas animales. Una clasificación tal como “severamente limitado” no elimina este tipo de suelo como un sitio para aplicar excreta, pero hace que la aplicación deba ser realizada con especial cuidado y siguiendo recomendaciones técnicas. Además de los factores relacionados con el suelo y su capacidad de reciclaje, existen factores asociados al clima, al fertilizante y a los sistemas de aplicación, entre otros, que deberán también ser considerados.

A continuación se describen los principales factores que determinan el uso de porcinaza como fertilizante:

8.2.1 Distancia a las fuentes hídricas.

La excreta nunca debe caer directamente sobre las fuentes hídricas (Robertson, 1977). La máxima distancia alcanzada por los cañones de riego o tanques esparcidores o mangueras manuales debe ser mantenida como la distancia de seguridad a los cuerpos de agua.

8.2.2 Profundidad de la roca madre.

Es una medida de la distancia desde la superficie del suelo hasta la roca madre. Una poca profundidad hasta la roca no permite adecuada filtración o retención ni mineralización de la excreta en el suelo. Si la excreta y los productos de la mineralización

se acumulan sobre una roca madre fracturada hay una alta posibilidad de contaminar aguas subterráneas (Rankin, 1993).

8.2.3 Riesgo de inundación.

En los suelos que tienen la posibilidad de inundarse, mayor será la probabilidad de contaminar aguas superficiales por escorrentía. Además, la creación de condiciones anaeróbicas en el suelo incrementa la pérdida de nitrógeno mediante desnitrificación. Por lo tanto, a estos suelos se les debe aplicar excretas cuando la posibilidad de inundación sea baja o en lo posible no debería incorporarse (Rankin, 1993).

Es de anotar, que en el caso del encharcamiento, éste ocurre en depresiones cerradas, donde no hay un buen sistema de drenaje. En estas zonas no debería aplicarse excreta por el riesgo de contaminar las fuentes hídricas (Rankin, 1993).

8.2.4 Pendiente del terreno.

Este factor influye significativamente en la escorrentía y la facilidad para usar equipos durante la aplicación de porcina en campo (Rankin, 1993). En este sentido los suelos con pendiente moderada o alta y que están a capacidad de campo no deberán en lo posible ser sometidos a fertilización con excreta porcina (MAFF, 1991). Es de aclarar, que solo cuando el suelo está por debajo de la capacidad de campo se deberá aplicar la porcina para evitar posibles riesgos de escorrentía.

8.2.5 Caudal de aplicación de la porcina.

Independiente del volumen total a aplicar, la excreta debe aplicarse de modo que no se presente procesos

de escorrentía durante la aplicación (Robertson, 1977). En relación a lo anterior, el mayor riesgo de escorrentía ocurrirá en suelos con grandes pendientes y que se encuentren a capacidad de campo.

8.2.6 Cobertura vegetal en el suelo.

Cuando se trata de cultivos o pasturas poco pobladas, se aumentará el riesgo de escorrentía durante la aplicación de la porcina, que causará contaminación en las fuentes hídricas. Es de precisar, que en los suelos densamente cubiertos por especies vegetales el riesgo de contaminación por escorrentía es mínimo aun cuando se presentan altas pendientes, siempre se sigan recomendaciones técnicas en cuanto a manejar una adecuada dosis y frecuencia de aplicación.

Los suelos fuertemente cubiertos reducen entonces la escorrentía en comparación con las superficies de suelo que se encuentran descubiertas o con una cobertura pobre en material vegetal (Veenhuizen, *et al.* 1992). En este aspecto, los pastos funcionan como excelentes filtros que limitan el transporte de sólidos por escorrentía y además absorben grandes cantidades de nutrientes de las excretas (Huber, *et al.*, 1994). Es conveniente resaltar que si se decide aplicar excreta a suelos descubiertos o con pobre cobertura vegetal y por ende con alto riesgo de escorrentía, se deben realizar estas aplicaciones solo en épocas de baja precipitación (Huber *et al.*, 1994).

8.2.7 Tipo de cultivo.

Además de considerar los niveles de fertilización con porcina necesarios según los diferentes requerimientos de los cultivos,

los cultivos de consumo directo para humanos exigirán un mayor tiempo entre la aplicación del biofertilizante y la cosecha, con el propósito de evitar posibles riesgos sanitarios (Giraldo & SA, D. T. T., 2003).

8.2.8 Etapa del cultivo.

Siempre que sea posible, la máxima aplicación de excreta debe hacerse en el período de crecimiento del cultivo. La máxima tasa de aplicación a su vez, estará determinada por las características del suelo y los requerimientos nutricionales del cultivo (Robertson, 1977).

8.3 Transporte y comercialización de la porcínaza en Colombia

Se pretende en un futuro próximo que la porcínaza al igual que otros abonos orgánicos como la gallinaza, pueda ser comercializada y distribuida bajo unas condiciones previas de sanitización y empaque que garanticen su movilización dentro del territorio nacional, teniendo presente el cumplimiento por parte del productor porcícola de lo estipulado en las normativas que se describen a continuación en la Tabla 11.

Tabla 11. Normativa Colombiana

Resolución 00150	2003	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.
Norma técnica colombiana (NTC) 5167	2004 (Editada)	Establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.
Resolución 698	2011	Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos de uso agrícola y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076	2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En este tema específico, es bueno resaltar un comunicado expedido por el ICA el 12 de Abril de 2016, por la Gerencia General del ICA y que fue formalmente enviado al Presidente Ejecutivo de Porkcolombia-FNP, donde se afirma: “no existe normativa que regule la aplicación de porcínaza sólida o líquida para consumo propio o uso directo, toda vez que lo establece en la Resolución ICA No.150 del 2003, que regula los procesos comerciales, que implique el uso de materia

orgánica compostada, entre las cuales está la porcínaza.

En ese sentido, las direcciones técnicas institucionales de sanidad animal y de inocuidad e insumos veterinarios darán las pautas técnicas y de sanitización inherentes al manejo de este material. De lo anterior, se acordó expedir una norma para el uso de la porcínaza cruda desde el punto de vista zoonosanitario para consumo propio o uso directo.

Respecto a la comercialización, la porcínaza tendría aspectos de compostaje, para la fase líquida, la fase sólida o en su conjunto líquido sólido, por cualquiera de las metodologías que llegaren a entregar un material inocuo, en cumplimiento de los parámetros microbiológicos exigibles y establecidos por el Instituto.”

En este mismo comunicado, se señala además que: “la fertilización con porcínaza en cualquier presentación y proceso son considerados como subproductos del sistema productivo porcícola, de hecho, lo mismo que la pollinaza, gallinaza, bovinaza, entre otros. Como antecedente, es de resaltar que el ICA ha otorgado la Certificación en Buenas Prácticas Ganaderas en leche y carne a procesos productivos que usan como insumo la porcínaza cruda y líquida, donde

se ha podido evidenciar en cada certificación que no hay morbilidad animal enlazada con el pastoreo en praderas aplicadas con estos materiales, ni mucho menos afectación del producto final como leche o carne, donde los resultados de las plantas lácteas se pueden evidenciar resultados satisfactorios de la calidad sanitaria y de inocuidad.”

Finalmente el comunicado concluye que: “estas actividades podrán desarrollarse, mientras mantengan condiciones requeridas de inocuidad, y en el evento que un sistema de producción porcícola se encuentre afectado por una enfermedad de alta difusión en los animales, el predio deberá entrar en cuarentena hasta que se considere necesario y las excretas de éstos deberán ser sometidas a un proceso que asegure la eliminación de esos agentes patogénicos, durante el tiempo que sea necesario, de acuerdo al mecanismo o productos que sean utilizados para este fin.”



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

UNIDAD 9

FUNDAMENTOS DE NUTRICIÓN VEGETAL Y SU DIAGNÓSTICO

Nelson Walter Osorio Vega¹

Las plantas requieren 17 elementos para crecer y desarrollar satisfactoriamente su ciclo de vida (Tabla 12). Las plantas toman la mayoría de los nutrientes del suelo, excepto el C que es tomado por las hojas a través de sus estomas en forma de CO_2 ; si bien este gas está en el aire, es previamente producido por la descomposición microbiana de la materia

orgánica del suelo y por la respiración de raíces y hojas. Las raíces toman el H y O del agua retenida en los microporos del suelo. Mientras que, los otros elementos son tomados del suelo en formas químicas muy específicas para que puedan ser aprovechados en el metabolismo vegetal.

¹ Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director del Grupo de Investigación en Microbiología del Suelo. E-mail: nwosorio@unal.edu.co

9.1 CRITERIOS DE ESENCIALIDAD

Un elemento se considera esencial si (i) hace parte de la estructura de cualquier constituyente de la planta o si realiza una función dentro del metabolismo vegetal y

(ii) si falta el elemento las plantas no pueden completar satisfactoriamente su ciclo de vida, es decir, desde el estado de semilla hasta la producción de semillas viables para germinar.

Tabla 12. Lista de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal.

Elemento	Forma aprovechable	Concentración (%)	Elemento	Forma aprovechable	Concentración (mg kg ⁻¹)
Macronutrientes:			Micronutrientes:		
C	CO ₂	45	Fe	Fe ²⁺	50-500
H	H ₂ O	6	Mn	Mn ²⁺	50-300
O	O ₂ H ₂ O	45	Cu	Cu ²⁺	20-50
N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	2-6	Zn	Zn ²⁺	10-50
P	H ₂ PO ₄ ⁻	0.1-0.4	B	H ₃ BO ₃	20-100
K	K ⁺	2-5	Cl	Cl ⁻	50-100
Ca	Ca ²⁺	0.5-1.5	Mo	MoO ₄ ²⁻	0.1-0.5
Mg	Mg ²⁺	0.1-0.4	Ni	Ni ²⁺	0.1-0.5
S	SO ₄ ²⁻	0.1-0.4			

El crecimiento vegetal y, por ende, la productividad agrícola depende de la disponibilidad de agua en el suelo. Esta se requiere como fuente directa de los nutrientes hidrogeno (H) y oxígeno (O), y también como portador de los otros nutrientes que lleva disueltos. Infortunadamente, la baja disponibilidad de agua es un serio limitante en la agricultura de muchas regiones del mundo, particularmente en las regiones áridas y semiáridas.

Más aún, se han reportado que en países de trópico húmedo la disponibilidad de

agua ha disminuido como resultado de la deforestación indiscriminada, la erosión de los suelos y la contaminación de fuentes de agua; por supuesto, la situación se agrava en algunas épocas del año con la escasez de agua. Es una prioridad global, regional y local proteger los recursos hídricos tan vitales para la agricultura y la supervivencia de todas las formas de vida.

Los 17 elementos enumerados anteriormente cumplen diversas funciones estructurales y metabólicas en las plantas que son resumidas en la Tabla 13.

Tabla 13. Principales funciones de los nutrientes.

Nutriente	Función(es) principal(es)
Componentes de compuestos orgánicos:	
C	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, ATP, NADP, clorofila, reguladores de crecimiento (p.e., IAA)
H	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos
O	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, aceptor de electrones
N	Aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila.
S	Sulfo-aminoácidos (cisteína y metionina), responsable de la conformación estructural y estabilidad de proteínas, coenzima A, vitaminas, responsable de aromas y sabores
P	ATP, NADP, lípidos de las membranas celulares, ácidos nucleicos, fosfo-azúcares
Activadores de enzimas	
K	Activador de ~60 enzimas. Esencial en síntesis de proteínas, responsable de la turgencia y apertura de estomas
Ca	Activador de enzimas. Esencial para la permeabilidad de la membrana. Asociado con las pectinas de la pared celular
Mg	Activador de enzimas y ATP, componente de la clorofila
Mn	Activador de enzimas, esencial en la fotólisis del agua
Zn	Cofactor de varias enzimas (dehidrogenasas, aldolasa, fosfatasa, DNA y RNA polimerasa)
Ni	Parte fundamental de la enzima ureasa
Agentes Redox	
Fe	Componente de citocromos, peroxidasa y ferredoxina, en los cuales es responsable de reacciones redox
Cu	Componente de la citocromo oxidasa (respiración) y plastocianina (fotosíntesis), superóxido dismutasa (radicales O_2^-), fenol oxidasa (síntesis de lignina), y responsable de reacciones redox
Mo	Componente de la nitrato reductasa (reducción del NO_3^-) y de la nitrogenasa (reducción de N_2 en Rhizobios)
Otras funciones	
B	Crecimiento de tubo polínico, estabilidad de la estructura de la pared celular por formación de enlaces <i>cis-diol</i> con compuestos orgánicos.
Cl	Ósmosis, balance de cargas y fotólisis del agua

Fuente: Glass (1989).

Es posible diagnosticar el estado nutricional de una planta a través de la medición de la concentración de los nutrientes en sus hojas. Esta herramienta permite hacer monitoreos no-destructivos de la planta y determinar la concentración de nutrientes en hojas o porciones de éstas. Las hojas o porciones de hojas que se muestrean normalmente están ubicadas en el tercio superior de la planta o de una rama productiva. Las hojas deben ser jóvenes pero completamente desarrolladas, libres de plagas y enfermedades y sin residuos de pesticidas o fertilizantes foliares.

Existe una relación muy estrecha entre la concentración de nutrientes en el tejido vegetal y el crecimiento o rendimiento de las plantas cultivadas y se pueden detectar diferentes rangos de concentración: deficiencia, suficiencia y toxicidad. Dentro del rango de deficiencia se puede tener dos situaciones: (i) deficiencia comprobada en la que se manifiestan síntomas visuales y (ii) deficiencia sin síntomas llamada "hambre escondida".

El intervalo de la suficiencia puede ser relativamente amplio para los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y muy estrecho para los micronutrientes

(Fe, Mn, Cu, Zn, B). Una vez se alcanza el máximo crecimiento o rendimiento no hay más incremento a pesar del aumento en la concentración de un nutriente dado. Algunos autores llaman esta situación "consumo de lujo". El aumento innecesario de la concentración de nutrientes en las hojas sin un beneficio en el crecimiento vegetal o sobre el rendimiento del cultivo es oneroso y reduce la relación costo: beneficio. Por tal razón se ha establecido el concepto del "nivel crítico", el cual indica la concentración foliar que permite obtener un rendimiento relativamente alto (~85-90%). Por debajo de este nivel se tiene el rango de deficiencia y se requiere aplicar el elemento vía fertilización. Por encima del nivel crítico la cantidad a aplicar es muy baja o nula, pues la probabilidad de respuesta a la aplicación es casi nula.

La época de muestreo debe ser claramente definida, pues la planta tiene cambios fenológicos que provocan que los nutrientes se movilicen dentro de la planta. Por ejemplo, en la floración y particularmente en la formación de frutos o en el llenado de granos, los nutrientes se transportan desde las hojas viejas hacia estos tejidos en formación. Normalmente, el muestreo foliar se hace previo a la floración, pero esto debe ser claramente establecido (Tabla 14).

Tabla 14. Concentración foliar adecuada de nutrientes para diferentes cultivos tropicales.

Cultivo	%											Hoja y época	
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo		Zn
Arroz ¹	2.5-3.0	0.25-0.4	2.5-3.5	0.75-1.0	0.5-7	0.15-0.2	40-70	10-20	200-300	100-150	-	25-35	Hoja más nueva en la mitad del macollamiento
Maíz ¹	2.8-3.3	0.25-0.35	1.8-2.3	0.25-0.4	2.5-4	0.15-0.2	15-20	6-20	50-250	50-150	0.1-0.2	15-50	Debajo de mazorca cuando aparecen las barbas
Trigo ¹	3.0-3.3	0.2-0.3	2.3-2.5	0.1-0.14	3-4	0.2-0.4	20-50	9-18	-	16-28	0.1-0.5	20-40	4ª hoja desde la punta al inicio floración
Eucalipto ¹	1.4-1.6	0.1-0.12	1.0-1.2	0.8-1.2	4-5	0.15-0.2	40-50	8-10	150-200	300-600	0.5-1.0	40-60	Hoja recién madura de ramas primarias
Pino ¹	1.2-1.3	0.14-0.16	1.0-1.1	0.3-0.5	1.5-2	0.14-0.16	20-30	5-8	50-100	200-300	0.1-0.3	20-40	Hoja recién madura de ramas primarias
Cacao ¹	1.9-2.3	0.15-0.18	1.7-3.0	0.9-1.2	4-7	0.17-0.2	30-40	10-15	150-200	150-200	0.5-1.0	50-70	3ª hoja desde la punta
Algodón ¹	3.5-4.0	0.2-0.25	1.4-1.6	0.3-0.4	4-5	0.2-0.3	20-30	30-40	60-80	20-40	1.0-2.0	10-15	Lamina de hojas, inicio floración
Piña ¹	2.0-2.2	0.21-0.23	2.5-2.7	0.3-0.4	4-5	0.2-0.3	30-40	9-12	100-200	50-200	-	10-15	Hoja joven recién madura
Frijol	3.0-5.0	0.2-0.3	2.0-2.5	0.15-0.2	4-7	0.5-1.0	30-60	10-20	100-450	30-300	0.5-1.0	20-100	1ª hoja madura desde la punta de ramas/ inicio floración
Soya ¹	4.0-5.0	0.25-0.5	1.7-2.5	0.4-2.0	3-10	0.25-0.5	21-55	10-30	50-350	20-100	1-5	20-50	1ª hoja madura desde la punta de ramas al inicio floración
Papa ¹	3.0-4.5	0.35-0.5	3.5-5.0	1.0-2.0	5-7.5	0.25-0.5	20-50	-	70-150	40-300	0.1-1.5	15-30	Pecolo de 4ª hoja desde la punta/ 35-45 días después de emergencia
Caña de azúcar ¹	1.9-2.2	0.18-0.24	1.1-1.5	0.5-1.0	2-3	0.2-0.3	15-50	8-10	80-500	50-250	0.1-0.3	25-50	Hoja tercio medio a los 4 meses después de brotación
Yuca ¹	5.1-5.8	0.3-0.5	1.3-2.0	0.75-0.85	2.9-3.5	0.26-0.3	30-60	6-10	120-140	50-120	1.0-3.0	30-60	1ª hoja recién madura a los 3-4 meses de edad
Banano ¹	2.7-3.6	0.16-0.27	3.2-5.4	0.6-1.2	2.7-6	0.16-0.3	10-25	6-30	80-360	200-1800	1.5-3.0	20-50	3ª hoja desde la punta, lamina central cerca de nervadura cuando las primeras manos son visibles
Palma africana ¹	2.5-3.0	0.15-0.21	1.0-1.5	0.5-0.7	2.4-3	0.2-0.23	25-30	10-35	-	150-200	0.5-1.0	15-20	Folículos medianos de hoja 17 Al inicio de la estación seca
Clavel ²	3.3-4.8	0.2-0.4	2.5-3.5	1.0-2.0	0.22-0.4	-	30-100	4-20	50-150	40-300	1-5	25-75	4ª-5ª hoja debajo de la punta sobre la cual no hay botón floral visible
Crisantemo ²	4.5-5.5	0.3-6	4.0-6.5	1.0-2.0	0.3-0.6	0.3-0.7	35-80	8-20	100-500	80-300	200-250	20-80	4ª -5ª hoja completamente expandida debajo de la punta / Quinta semana de crecimiento

Tabla 14. Concentración foliar adecuada de nutrientes para diferentes cultivos tropicales. (Continuación)

Cultivo	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	Hoja y época
Solidaster ²	3.5-4.5	0.3-5	4.0-6.0	1.0-2.0	0.25-0.45	-	30-60	10-20	100-200	80-150	-	30-50	Hojas maduras jóvenes completamente extendidas
Gérbera ²	3.0-4.0	0.2-3	2.2-3.2	1.0-1.4	0.17-0.25	-	30-50	3-7	100-250	75-375	-	10-50	Hojas maduras jóvenes completamente extendidas
Bouvardia ²	4.0-5.0	0.35-0.7	2.0-3.0	2.0-2.5	0.4-0.6	-	30-70	10-30	100-200	700-1100	-	30-100	Hojas maduras del tallo vegetativo
Alstroemeria ²	3.8-5.6	0.3-0.7	3.5-5.0	1.0-2.0	0.3-0.6	-	13-75	5-20	100-300	50-90	-	35-85	Hojas de la mitad del tallo que no muestren botones florales
Rosa ²	2.8-4.4	0.2-0.3	1.8-2.6	0.8-1.5	0.2-0.35	0.16-0.21	30-60	5-15	75-150	30-250	-	15-50	Hojas de la parte superior del tallo-rama con botones florales que justo empiecen a mostrar color
Stalice anual ²	3.5-6.0	0.3-0.7	3.5-5.0	0.8-1.5	0.7-0.18	-	30-80	10-30	100-400	100-500	-	100-200	Hojas maduras jóvenes completamente extendidas
Hortensia ⁴	3.0-5.5	0.24-0.7	2.2-5.0	0.6-1.8	0.22-0.5	0.2-0.7	20-50	6-30	50-300	50-300	-	20-150	-
Callas ⁴	2.7-4.0	0.2-0.5	3.5-4.5	0.6-1.8	0.2-0.45	0.2-0.6	20-50	6-24	50-300	50-300	-	20-100	-
Café ³	2.5-2.8	0.2-0.4	3.0-3.5	1.0-2.0	0.4-0.12	0.3-0.8	20-50	4-10	25-100	20-150	0.1-0.15 ¹	15-40	3 ^o -4 ^o par de hojas en ramas productivas, ramas productivas a media altura
Pasto bermuda ³	2.5-3.0	0.2-0.3	2.0-3.0	0.25-0.4	0.25-0.4	0.2-0.3	10-25	10-25	75-300	50-300	0.1-1.0 ¹	25-150	Toda la parte aérea simulando altura de corte
Pasto kikuyo ³	2.5-4.0	0.4-0.6	4.0-5.0	0.15-0.23	0.3-0.5	0.25-0.5	23-50	7-25	50-200	25-150	0.1-1.0 ¹	25-150	Toda la parte aérea simulando altura de corte
Pepino ³	3.0-4.5	0.25-0.7	3.0-5.0	0.20-0.30	0.4-0.6	4-12	25-100	5-20	100-200	40-250	-	20-50	-
Repollo ³	3.5-4.0	0.4-0.6	4.5-7.5	0.20-0.30	0.3-0.7	0.5-0.1	60-100	5-25	50-200	25-200	-	20-200	-
Lechuga ³	3.5-4.0	0.4-0.6	4.5-7.5	0.20-0.25	0.3-0.7	0.5-0.1	60-100	5-25	50-200	25-200	0.08-0.14 ¹	20-200	Hojas jóvenes completamente maduras
Macadamia ³	1.5-2.5	0.07-0.1	0.5-1.5	0.5-1.0	0.08-0.15	0.15-0.3	40-80	5-10	30-300	30-1000	-	15-50	-
Papaya ³	2.6-4.0	0.2-0.4	3.0-5.0	0.4-0.8	0.25-0.8	0.2-0.8	10-50	6-25	80-200	200-1000	-	2-200	-
Tomate ³	2.6-4.0	0.25-0.5	15-30	0.3-0.8	0.3-0.8	0.16-0.5	10-25	6-20	50-250	35-200	0.3-0.5 ¹	35-100	-

Fuente: ¹ Malavolta, (1994); ² Soil & Plant Laboratory, CA, USA; ³ Department of Tropical Plant and Soil Sciences, University of Hawaii, HI, USA. ⁴ Laboratorio Dr. Calderón.



Fuente: Porkcolombia – Fondo Nacional de la Porcicultura.

UNIDAD 10

PLAN DE FERTILIZACIÓN CON EXCRETAS PORCINAS

Jorge Mario Noreña Grisales¹, Nelson Walter Osorio Vega², Juan Pablo Gómez Yarce³

La fertilización de pasturas y cultivos agrícolas es uno de los aspectos fundamentales para obtener rendimientos elevados con resultados económicos positivos. Asimismo, una adecuada planificación de la misma,

promueve resultados ambientales con sostenibilidad en el tiempo, al igual que favorece procesos de reciclaje de nutrientes, mejorando no sólo las condiciones químicas del suelo, sino también las físicas y biológicas.

1 Ingeniero Agrónomo, Economista, Especialista en Gestión Agroambiental. Profesor Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director del Grupo de Investigación en Suelos, Pastos y Forrajes Tropicales. E-Mail: jmnorena@unal.edu.co

2 Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director del Grupo de Investigación en Microbiología del Suelo. E-mail: nwsorio@unal.edu.co

3 Zootecnista, Ingeniero Agrónomo. Grupo de Investigación en Microbiología del Suelo. E-mail: jpgomez@unal.edu.co

Entre las múltiples opciones de fertilización, el uso de porcina sola o combinada con enmiendas y fertilizantes de síntesis química permite realizar planes racionales y económicamente viables para el productor, permitiéndole establecer balances entre los nutrientes principales o de mayor impacto ambiental, como el fósforo y el nitrógeno, por ejemplo. No obstante, cuando la planificación incluye aspectos como los siguientes, los resultados serán más que satisfactorios.

*Muestreo de las variables químicas,
físicas y biológicas del suelo*

*Diagnóstico preciso de la fertilización
requerida por el cultivo*

Caracterización de la excreta porcina

Diseño de un plan de fertilización

*Ejecución y monitoreo
del plan de fertilización*

*Evaluación y análisis de los resultados
obtenidos en campo*

El procedimiento para elaborar un plan de fertilización en pasturas y cultivos agrícolas con excretas porcinas se expondrá a continuación.

10.1 ESTUDIO DE CASO I. Fertilización de pasto Kikuyo con porcina proveniente del tanque estercolero.

Para que el plan de fertilización con excreta porcina sea coherente con las deficiencias del suelo, los requerimientos del cultivo y la demanda nutricional del rumiante, tenga presente los siguientes cálculos e información para una lechería especializada que usa pasto Kikuyo como base forrajera, y utiliza individualmente o en combinación, fertilizantes de síntesis química y porcina producida en la misma finca.

10.1.1 PASO I. Información general del predio.

Tenga en cuenta la localización, área, sistema productivo y los datos de oferta ambiental anual o mensual del predio (Tabla 12).

Tabla 12. Datos generales del predio.

País/Departamento	Colombia/Antioquia
Municipio/Vereda	Donmatías/Las Ánimas
Nombre del predio	La Montañita
Altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m).	2250
Temperatura promedio anual	16 C°
Precipitación promedio anual	2424 mm
Zona de vida	Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB).
Cultivo principal	Pasto Kikuyo – <i>Cenchrus clandestinus</i> *
Área total del cultivo	27 hectáreas

*También conocido como *Pennisetum clandestinum*

10.1.2 PASO II. Resultados del análisis de suelos.

Con base en los resultados del análisis de suelos (Tabla 13) y los datos de referencia de la Tabla 14 determine si el fósforo y el

potasio se encuentran en una concentración óptima, alta o deficiente. De igual forma, debe aclararse que cuando se califica un valor como **alto**, dicha valoración no significa propiamente, que sea bueno, malo,

deseable o indeseable. Acá lo importante es que el contenido del elemento, por ejemplo el fósforo, no ocasione riesgos en la dinámica

misma del suelo, del cultivo, los animales, fuentes de agua o en la salud de los habitantes de una región.

Tabla 13. Resultados del análisis de suelos.

Textura			pH	M.O	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
A%	L%	Ar%	Clase	%	meq/100 g o cmol _c /kg						mg/kg o (ppm).							
40	25	35	FAR	5	6.9	2	2.5	1.4	0.1	0.1	6.1	5	9	71	36	1	2	0.3

Tabla 14. Niveles críticos de P₂O₅ y K₂O. Región Andina (Clima frío). Pastos

	Niveles críticos		
	Alto	Óptimo	Bajo
Fósforo (ppm).	>30	15-30	<15
Potasio (cmol _c /kg).	>0.30	0.15-0.30	<0.15

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación, 1992.

Si se compara el análisis de suelos (Tabla 13) y los niveles críticos de P₂O₅ y K₂O para la región Andina, clima frío (Tabla 14), puede comprobarse, que tanto el fósforo como el potasio se encuentran por debajo del rango óptimo, lo que sugiere adicionarlos al suelo.

Por otra parte, si el predio se ubica en la región Andina (Clima templado); Costa Atlántica y Valles Interandinos; o en la Orinoquía y Amazonía, use como referencia las Tablas 15, 16 y 17, respectivamente.

Tabla 15. Niveles críticos de P₂O₅ y K₂O. Región Andina (Clima templado). Pastos.

	Niveles críticos		
	Alto	Óptimo	Bajo
Fósforo (ppm).	>20	10-20	<10
Potasio (cmol _c /kg).	>0.30	0.15-0.30	<0.15

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación, 1992.

Tabla 16. Niveles críticos de P₂O₅ y K₂O. Costa Atlántica y Valles Interandinos. Pastos.

	Niveles críticos		
	Alto	Óptimo	Bajo
Fósforo (ppm).	>40	20-40	<20
Potasio (cmol _c /kg).	>0.40	0.20-0.40	<0.20

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación, 1992.

Tabla 17. Niveles críticos de P₂O₅ y K₂O. Orinoquía y Amazonía. Pastos.

	Niveles críticos		
	Alto	Óptimo	Bajo
Fósforo (ppm).	>10	5-10	<5
Potasio (cmol _c /kg).	>0.20	0.10-0.00	<0.10

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación, 1992.

10.1.3 PASO III. Extracción de nutrientes del cultivo.

Hace referencia a la cantidad de nutrientes extraídos anualmente respecto al rendimiento de la especie (Tabla 18).

Tabla 18. Niveles de producción y extracción de nutrientes del pasto Kikuyo

Producción Esperada	Producción t/MS/ha/año	Extracción N (kg/ha/año).	Extracción P ₂ O ₅ (kg/ha/año).	Extracción K ₂ O (kg/ha/año).
Baja	4.5	125	27	133
Media	7.5	208	45	222
Alta	14	388	84	414

Fuente: Bernal y Espinosa 2003.

Recuerde que si la producción de materia seca por hectárea año aumenta, por ejemplo a 16 toneladas, la extracción pasará a 444, 96 y 473 kg N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Asimismo, se advierte que los datos de la Tabla 18 no incluyen las cantidades retornadas o que ingresan al sistema por orina, heces, lluvias o fijación biológica de N, entre otros.

Para otras especies, la extracción anual o de un ciclo productivo se describe en las Tablas 19 y 21.

Tabla 19. Niveles de producción y extracción de nutrientes en forrajes.

CULTIVO	Producción Esperada	Producción t/MS/ha/año	Extracción N (kg/ha/año).	Extracción P ₂ O ₅ (kg/ha/año).	Extracción K ₂ O (kg/ha/año).
GRAMÍNEAS					
Pasto Raigrás Anual	Baja	3.5	95	24	105
	Media	8.0	216	55	240
	Alta	16.0	432	110	480
Pasto Raigrás Perenne	Baja	1.8	54	21	60
	Media	3.6	108	45	127
	Alta	8.0	240	95	268
Pasto Azul Orchoro	Baja	1.7	55	15	49
	Media	3.0	96	26	86
	Alta	7.0	224	61	201
Pasto Guinea cv. Común	Baja	6.7	79	27	114
	Media	16.5	195	67	288
	Alta	28	332	113	488
Pasto Pangola	Baja	7.5	86	31	125
	Media	18	207	74	299
	Alta	29	334	120	481
Pasto Pará	Baja	11.2	133	42	199
	Media	21.4	254	80	380
	Alta	29	344	109	515

Tabla 19. Niveles de producción y extracción de nutrientes en forrajes. (Continuación)

CULTIVO	Producción Esperada	Producción t/MS/ha/año	Extracción N (kg/ha/año).	Extracción P ₂ O ₅ (kg/ha/año).	Extracción K ₂ O (kg/ha/año).
Pasto Elefante	Baja	8.0	88	42	175
	Media	17.0	186	90	371
	Alta	31.0	339	164	677
LEGUMINOSAS					
Tréboles	Baja	3.8	85	25	102
	Media	9.5	213	63	255
	Alta	15.0	336	100	403
Alfalfa	Baja	8.0	285	43	215
	Media	12.5	445	67	336
	Alta	25.0	890	134	672

Fuente: Bernal y Espinosa 2003.

En la Tabla 20, aparece la lista de nombres vulgares y científicos de las gramíneas y leguminosas descritas en las Tablas 18 y 19.

Tabla 20. Nombre vulgar, científico y sinónimo de diferentes especies forrajeras.

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO Y SINÓNIMO
Pasto Kikuyo	<i>Cenchrus clandestinus</i> o <i>Pennisetum clandestinum</i>
Raigrás Anual (Italiano).	<i>Lolium multiflorum</i>
Raigrás Perenne (Inglés).	<i>Lolium perenne</i>
Pasto Azul Orchoro	<i>Dactylis glomerata</i>
Pasto India o Guinea	<i>Megathyrus maximus</i> o <i>Panicum maximum</i>
Pasto Pangola	<i>Digitaria eriantha</i> o <i>Digitaria decumbens</i>
Pasto Pará	<i>Brachiaria mutica</i> o <i>Urochloa mutica</i>
Pasto Elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>
Trébol Blanco y Rojo	<i>Trifolium repens</i> y <i>T. pratense</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>

Tabla 21. Niveles de producción y extracción de nutrientes en diferentes cultivos.

CULTIVO	Producción	Extracción N (Kg).	Extracción P ₂ O ₅ (Kg).	Extracción K ₂ O (Kg).
Café*	100 arrobas ha/año	60	20	60
Cítricos*	1000 kg de fruto de Naranja	1.9	0.17	1.5
Palma Africana**	8.2 kg/ha/racimo	101	10	104
Yuca**	10 ton de raíces	21-36	9-11	42-53

Fuente: * Guerrero 1995. **Guerrero 1996.

10.1.4 PASO IV. Caracterización de la excreta porcina.

Caracterice la excreta teniendo en cuenta el método de disposición. Con base en ello, envíe

la muestra a laboratorio para su respectiva evaluación. En la Tabla 22 se presentan los resultados obtenidos de una muestra de excretas procedente de un tanque estercolero.

Tabla 22. N, P₂O₅ y K₂O en una muestra procedente de tanque estercolero.

Parámetro	Expresión	Técnica	Resultado	d.e**	Unidad
N Orgánico Total	N Total	Kjeldahl	1.6	---	g/L
P Total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	0.23	---	%
K Total	K ₂ O	E.C.*	0.077	0.0003	%

* EC: Electroforesis capilar; ** d.e: desviación estándar

Con información como la anterior, se puede calcular la cantidad diaria, mensual y anual de N y P₂O₅ según el volumen de porcina producida, así como, el total de nutrientes con base en los metros cúbicos obtenidos. Esto tiene gran interés cuando se quiere conocer la capacidad de almacenamiento del tanque estercolero y proyectar la producción total de biofertilizante, o también, cuando se desea transformarla por medio de lombricultivo, compostaje o biodigestor, entre otros.

10.1.5 PASO V. Determine la densidad aparente del suelo (Da).

Para obtener datos de campo tenga en cuenta la metodología descrita en el capítulo de **Pruebas Físicas**. En caso de no realizar dicha prueba, use alguna de las siguientes formulas basada en el porcentaje de materia orgánica que aparece en el análisis de suelos.

10.1.5.1 Ley de Adams. Usada principalmente para suelos minerales.

$$Da = \frac{100}{\frac{\% \text{ Materia Orgánica}}{0.244} + \frac{100 - \% \text{ Materia Orgánica}}{Da \text{ de un suelo mineral}}}$$

Teóricamente la **Da** de un suelo mineral fluctúa entre 1.0 y 1.3 Mg/m³. Por lo general se usa éste último en la fórmula y más comúnmente en suelos por debajo de 1000 msnm. No

obstante, cuando se aproxime a 2000 msnm puede usar el valor de 1.0 Mg/m³.

Por tanto, si usa la fórmula anterior y reemplaza el porcentaje de materia orgánica que aparece en el análisis de suelos (6.9%) y la **Da** de un suelo mineral por 1.3 Mg/m³, se tendrá una **Da = 1.0 Mg/m³**

10.1.5.2 Ecuación de Osorio NW⁴. En especial para Andisoles (usualmente arriba de 2000 msnm).

$$Da = 1.2909 * 0.0318 (\%M.O.) * 0,00003 (\%M.O.)^2$$

Igualmente, si se reemplaza en la fórmula el porcentaje de materia orgánica que aparece en el análisis de suelos (6.9%), se obtendrá una **Da = 1.0 Mg/m³**.

$$Da = 1.2909 * 0.0318 (6.9\%) * 0,00003 (6.9\%)^2 = 1.0 \text{ Mg/m}^3$$

No significa que el resultado siempre coincida con la Ley de Adams, por el contrario, es muy común que en ambas fórmulas, el valor obtenido sea algo diferente.

También, es posible obtener un valor aproximado de la **Da** por medio de la clase textural (Tabla 23). Es decir, que se podría trabajar con el valor medio de **Da** de cada rango. Los datos expuestos son más comunes para suelos minerales.

4 Comunicación personal con el profesor Osorio Vega NW. (Ph.D.).

Tabla 23. Clases texturales vs densidad aparente.

CLASE TEXTURAL	Da (Mg/m ³).
Arena (Sands).	1.70-1.80
Arena gruesa (Coarse sand).	1.60-1.70
Arena y arena fina (Sand and Fine Sand).	1.55-1.65
Arena muy fina (Very fine sand).	1.55-1.65
Arena franca (Loamy sands).	1.60-1.70
Arena franca gruesa (Loamy coarse sand).	1.55-1.65
Arena franca, Arena franca fina (Loamy sand, Loamy fine sand).	1.55-1.60
Arena franca muy fina (Loamy very fine sand).	1.55-1.60
Franco arenosa (Sandy loams).	1.55-1.60
Franco arenosa gruesa (Coarse sandy loam) Franco arenosa y Franco arenosa fina (Sandy loam Fine sandy loam).	1.50-1.60
Franco arenosa muy fina (Very fine sandy loam).	1.45-1.55
Franca y franco limosa (Loam and Silty loam).	1.45-1.55
Limo (Silt).	1.40-1.50
Franco arcillosa (Clay loam).	1.40-1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa (Sandy clay loam Silty clay loam).	1.45-1.55
Arcilla arenosa (Sandy clay).	1.35-1.45
Arcilla limosa (Silty clay).	1.40-1.50
Arcilla (Clay 35-50%).	1.35-1.45
Arcilla (Clay 50-65%).	1.25-1.35

Fuente: Soil Survey Staff, USDA.

10.1.6 PASO VI. Determine la masa del suelo (kg).

Tenga en cuenta que una hectárea mide 100 m por cada lado, lo que es equivalente a 10.000 m² (Figura 33). De igual manera, recuerde, que en la mayoría de pasturas, la profundidad en la que se encuentra del 70 al 80% de las raíces, está entre 0 y 20 cm (0.2 m).

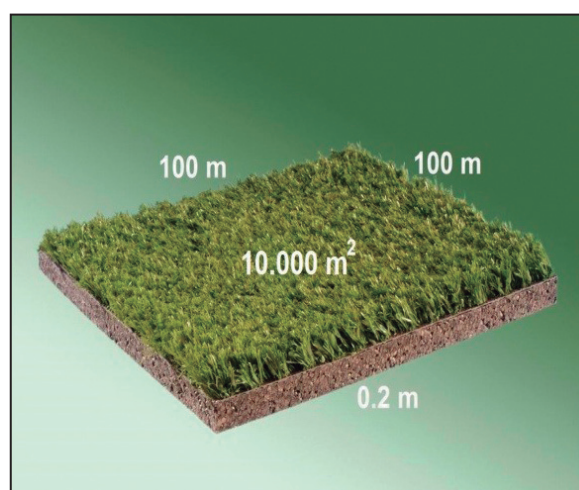


Figura 33. Dimensiones de una hectárea y medidas para el cálculo de la masa del suelo.

$$\text{Masa de Suelo (kg)} = \text{Lado (m)} * \text{Lado (m)} * \text{Profundidad (m)} * \text{Da} \frac{(\text{Mg})}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Mg}}$$

$$\text{Masa de Suelo (kg)} = 100 \text{ m} * 100 \text{ m} * 0.2 \text{ m} * 1.0 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Mg}} = 2.000.000 \text{ kg}$$

La densidad aparente para éste ejemplo, se trabajará con 1.0 Mg/m³ o lo que es lo mismo, 1 g/cm³. No obstante, se sugiere que dicho valor sea determinado para cada finca, con base en la metodología descrita en el tema de Pruebas Físicas, de lo contrario, usando la Ley de Adams la fórmula de Osorio Vega N. W. o la Tabla 23. Asimismo, recuerde que un megagramo (Mg) es equivalente a 1000 kg.

10.1.7 PASO VII. Determine los kg de N, P₂O₅ y K₂O que tiene el suelo.

10.1.7.1 Kg/ha de N que tiene el suelo.

Para tal fin, use la siguiente formula basada en el contenido de materia orgánica (M.O.):

$$\% \text{ de N Total} = \frac{0.016 + 0.0453 (\% \text{ M.O.}) - 0.00063 (\% \text{ M.O.})^2}{100}$$

$$\% \text{ de N Total} = \frac{0.016 + 0.0453 (6.9) - 0.00063 (6.9)^2}{100} = \frac{0.2985757}{100} = 0.002985757$$

El valor de 6.9, se obtiene del porcentaje de materia orgánica que reporta el análisis de suelos (Tabla 13).

Seguidamente, se calculan los kg de nitrógeno disponible. Así:

$$\text{Kg N Disponible} = (\% \text{ N}_r) * \text{Masa de Suelo} * \text{“Tasa de Mineralización”}$$

$$\text{N Disponible} = 0.002985757 * 2.000.000 * 0.0025 = 14,9 \text{ kg/ha de N}$$

La “Tasa de Mineralización” se asigna con base en la altura sobre el nivel del mar, y como el predio está a 2250 msnm, se asume el valor de 0.0025% (Tabla 24).

Tabla 24. “Tasa de Mineralización” de la materia orgánica (M.O.).

Altura sobre el nivel del mar	“Tasa Mineralización” (%)
> 2300*	(0,125) 0,00125
2001-2300*	(0,25) 0,0025
1701-2000	(0,5) 0,005
1501-1700	(1,0) 0,01
1300-1500	(1,5) 0,015
< 1300	(2,0) 0,02

*Tabla Modificada por Noreña (2016), del Comité de Cafeteros de Colombia

10.1.7.2 Kg/ha de P₂O₅ que tiene el suelo.

$$\text{Kg de P}_2\text{O}_5 = \text{Masa de Suelo} * \text{Constante de ppm} * \text{ppm Fosforo} * \text{FC de P a P}_2\text{O}_5$$

$$\text{Kg de P}_2\text{O}_5 = 2.000.000 \text{ kg} * 0.000001 * 5 * 2.29 = 22.9 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$$

Donde 0.000001 es el equivalente de una parte por millón (1/1000000). Asimismo, el valor de 5, son las partes por millón reportadas en el análisis de suelos (Tabla 13), y 2.29 es el factor de conversión para pasar de P a P₂O₅.

10.1.7.3 Kg/ha de K₂O que tiene el suelo.

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \text{Masa de Suelo} * \text{cmol}_c \text{ K} * \text{PM cmol}_c \text{ Potasio} * \text{FC de K a K}_2\text{O}$$

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \frac{2.000.000 \text{ kg}}{1\text{ha}} * \frac{0.1 \text{ cmol}_c \text{ K}}{\text{kg}} * \frac{0.39 \text{ g de K}}{\text{cmol}_c \text{ K}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000\text{g}} * 1.205 = 93.9 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

Donde 0.1 cmol_c K/kg es el valor reportado en el análisis de suelos (Tabla 13).

Para calcular el peso de 1 cmol_c K se procede de la siguiente manera:

Peso molecular del K = 39 g K (dato obtenido de la tabla periódica).

$$1 \text{ cmol K} = 39 \text{ g K} / 100 = 0.39 \text{ g K}$$

1 cmol_c K = (0.39 g K)/1 = 0.39 g K (se divide por 1, por que la carga o valencia del potasio es igual a 1).

Finalmente se multiplica por 1.205, que es el factor de conversión para pasar de K a K₂O.

Otra forma de llegar al mismo dato, es como se describe a continuación:

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \frac{\text{Peso Atómico del K} * \text{Profundidad} * \text{Da} * \text{cmol}_c \text{ K} * \text{FC de K a K}_2\text{O}}{\text{Valencia del K}}$$

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \frac{39}{1} * 20 * 1 * 0.1 * 1.205 = 93.9 \text{ kg de K}_2\text{O/ha}$$

10.1.8 PASO VIII. Establezca el balance de N, P₂O₅ y K₂O que debe aplicar.

Reste tal como aparece en la Tabla 25. Para ello tenga en cuenta, la extracción anual del cultivo (Tabla 18) y réstele lo que hay en el suelo.

Tabla 25. Balance de N, K₂O y P₂O₅

	N (kg).	P ₂ O ₅ (kg).	K ₂ O (kg).
Extrac. 14 t/MS/ha/año	388	84	414
Lo que tiene el suelo	-14.9	-22,9	-93.9
Kg de excreta a aplicar	373.1	61,1	320.1

10.1.9 PASO IX. Determine la cantidad de P₂O₅, N y K₂O que aporta la excreta.

Los resultados del análisis de suelos y de la caracterización de la excreta se relacionan con los valores de extracción anual de nutrientes para determinar la cantidad de N, P₂O₅ y K₂O que hay el suelo. Se debe aclarar, que se hace mayor énfasis en el nitrógeno y fósforo por su importancia en el rendimiento de los cultivos y por el posible riesgo en la contaminación del medio ambiente.

10.1.9.1 Cantidad de excreta en función de los kg de P₂O₅ requeridos por ha.

$$\text{L de porcinaza/ha} = 61.1 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ por ha} * \frac{100 \text{ L de porcinaza}}{0.23 \text{ kg de P}_2\text{O}_5} * \frac{100}{20} =$$

132826 Litros de Porcinaza/ha

Nota: la eficiencia del fosforo es del 20%. Por tanto, el factor es 100/20 = 5

Así que, al agregar al suelo 132826 litros de porcinaza ha/año, se estaría incorporando además de los 61.1 kg de P₂O₅, las siguientes cantidades de nitrógeno y potasio:

10.1.9.2 Kg de N que aporta la excreta.

$$\text{Kg de N} = \text{Cantidad de porcinaza aplicada} * \text{Concentración de N en la porcinaza} =$$

$$132826 \text{ litros de Porcinaza/ha} * 0.0016 \text{ kg de N/L} = \mathbf{212.5 \text{ kg de N/ha}}$$

10.1.9.3 Kg de K₂O que aporta la excreta.

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \text{Cantidad de porcinaza aplicada} * \text{Concentración de K}_2\text{O en la porcinaza} =$$

$$132826 \text{ litros de Porcinaza/ha} * 0.00077 \text{ kg de K}_2\text{O/L} = \mathbf{102.3 \text{ kg de K}_2\text{O/ha}}$$

Tabla 26. Balance de N, P₂O₅ y K₂O

	N (kg).	P ₂ O ₅ (kg).	K ₂ O (kg).
Extracción ha/año	388	84	414
Lo que tiene el suelo	-14.9	-22,9	-93.9
Kg de excreta a aplicar	373.1	61,1	320.1
Aporte de la excreta	212.5	61,1	102.3
DIFERENCIA	160.6	0	217.8

En la Tabla 26 se observa la cantidad de N y K₂O que se debe aplicar al cultivo usando otras fuentes, diferentes a la excreta porcina. Por ejemplo Urea y KCL, así:

Usando UREA (46-0-0), sería:

$$160.6 \text{ kg N/ha} * 100 \text{ kg Urea}/46 \text{ kg N} * 100/60 = 581.8 \text{ kg Urea/ha/año} = 11.6 \text{ Bultos UREA/ha/año}$$

Usando KCL (0-0-60), sería:

$$217.8 \text{ kg K}_2\text{O/ha} * 100 \text{ kg KCL}/60 \text{ kg K}_2\text{O} * 100/60 = 605 \text{ kg KCL/ha} = 12 \text{ Bultos KCL/ha/año}$$

Nota: la eficiencia del nitrógeno y el potasio es del 60%. Por tanto, el factor es 100/60 = 1.66

10.1.10 PASO X. Establecer el plan de fertilización anual.

Suponga que en la finca la rotación de potreros se hace en promedio cada 36.5 días. Sin embargo, recuerde la edad de cosecha varía según de la época de lluvia o sequía, de si aplica o no fertilización, del estado sanitario del cultivo, de la carga animal que

se tiene, de la especie forrajera que se usa, de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, de si la cosecha se realiza con base en la floración, el número de hojas, la altura, el contenido de grados brix o el encamado, entre otros. Pero, a pesar de ello, se calculará según la edad de cosecha (Tabla 27).

$365/36.5 = 10$ pastoreos al año

Tabla 27. Plan de fertilización anual para N, P₂O₅ y K₂O

PASTOREO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L	13.282 L
60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL	60.5 kg KCL
58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA	58 kg UREA

Por tanto, tenga en cuenta, que al dividir la cantidad anual de N o fósforo producido por los requerimientos del cultivo (hectárea/año), se obtiene la superficie de cultivo que es posible fertilizar con las excretas. Igualmente, al dividir los requerimientos de nitrógeno o fósforo (hectárea/año) por la cantidad del nutriente presente en cada metro cúbico de excreta, se puede calcular el número de metros cúbicos de excreta que se deben aplicar anualmente en cada área del cultivo.

A partir de la cantidad de nitrógeno o fósforo que se debe aplicar por área cultivada y de la cantidad de nitrógeno o fósforo que se produce al día, se calcula la superficie de

cultivo que se puede fertilizar y el número de días y dosis de aplicación, teniendo en cuenta el ciclo de cosecha y el período de carencia del cultivo, especialmente en los sistemas de producción bovina y ovino-caprina, donde se debe disponer de un tiempo prudente (mínimo de 15 días) entre la aplicación y el pastoreo.

10.2 ESTUDIO DE CASO II. Fertilización en Aguacate (*Persea americana*) con porcínaza sólida.

Para tal propósito, parta del análisis de suelo de una finca ubicada en Donmatías, Norte de Antioquia a 2320 msnm (Tabla 28).

Tabla 28. Resultados del análisis de suelos.

pH	M.O.	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	%	meq/100 g o (cmol _c kg ⁻¹)						mg kg ⁻¹ o (ppm).						
4.9	15	1.2	1.5	0.5	0.1	0.1	3.4	2	3	60	30	1	2	0.1

Se tiene un suelo muy fuertemente ácido, alto en materia orgánica, pero con baja tasa de descomposición (~0.125%), medio valor de Al (1-2 cmolc/kg), baja disponibilidad de P (<30 mg/kg), Ca (<6 cmolc/kg), Mg (<2 cmolc/kg), K (<0.5 cmolc/kg) S (<6 mg/kg), B (<0.5 mg/kg). Por lo antes descrito,

se considera que es un suelo pobre en su concentración de nutrientes y se requiere el uso de enmiendas y fertilizantes para mejorar su capacidad de nutrir el cultivo.

En la Tabla 29 se presentan los niveles de extracción para producir 20 toneladas de fruta.

Tabla 29. Niveles de extracción de N, P₂O₅ y K₂O.

Producción (Toneladas de fruta).	Extracción N (kg/ha).	Extracción P ₂ O ₅ (kg/ha).	Extracción K ₂ O (kg/ha).
20	63	33.7	85.8

Como se observa en la Tabla 30, a la extracción anual del cultivo le resto lo que hay en el suelo usando las formulas trabajadas en el ejemplo anterior para el N, P₂O₅ y K₂O. Para

ello, realizo los cálculos con una densidad aparente de 0.8 Mg/m³ y una profundidad de 0.2 m, con la cual se obtiene una masa de suelo de 1.600.000 kg/ha.

$$\text{Masa de Suelo (kg)} = 100 \text{ m} * 100 \text{ m} * 0.2 \text{ m} * 0.8 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ kg}}{\text{Mg}} = \mathbf{1.600.000 \text{ kg}}$$

$$\% \text{ de N Total} = \frac{0.016 + 0.0453 (15) - 0.00063 (15)^2}{100} = \frac{0.55375}{100} = 0.0055375$$

$$\text{Kg N Disponible} = (\% N_r) * \text{Masa de Suelo} * \text{“Tasa de Mineralización”}$$

$$\text{N Disponible} = 0.0055375 * 1.600.000 * 0.00125 = \mathbf{11,1 \text{ kg/ha de N}}$$

La “Tasa de Mineralización” se asigna con base en la altura sobre el nivel del mar, y como el predio está a 2320 msnm, se asume el valor de 0.0125% (Tabla 24).

$$\text{Kg de P}_2\text{O}_5 = \text{Masa de Suelo} * \text{Constante de ppm} * \text{ppm Fosforo} * \text{FC de P a P2O5}$$

$$\text{Kg de P}_2\text{O}_5 = 1.600.000 \text{ kg} * 0.000001 * 2 * 2.29 = \mathbf{7.3 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5}$$

$$\text{Kg de K}_2\text{O} = \frac{1.600.000 \text{ kg}}{1\text{ha}} * \frac{0.1 \text{ cmol}_c \text{ K}}{\text{kg}} * \frac{0.39 \text{ g de K}}{1 \text{ cmol}_c \text{ K}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000\text{g}} * 1.205 = \mathbf{75.2 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}}$$

Tabla 30. Balance de N, K₂O y P₂O₅

	N (kg).	P ₂ O ₅ (kg).	K ₂ O (kg).
Extracción ha/año	63	33.7	85.8
Lo que tiene el suelo	-11.1	-7.3	-75.2
Kg de excreta a aplicar	51.9	26.4	10.6
Aporte de la excreta	34.7	26.4	34.7
Diferencia	17.2	0	+24.1

Asimismo, tenga en cuenta que la concentración de nutrientes en la porcিনaza es: N (1.0%), P₂O₅ (3.8%) y K₂O (1.0%). Por tanto, si se desea aplicar porcিনaza se estima el requerimiento en función del P₂O₅, así:

$$\text{Kg de porcinaza/ha} = 26.4 \text{ kg de P}_{205} \text{ por ha} * \frac{100 \text{ kg de porcinaza}}{3.8 \text{ kg de P}_{205}} * \frac{100}{20} =$$

3473.7 kg de Porcinaza/ha

Nota: la eficiencia del fósforo es del 20%. Por tanto, el factor es $100/20 = 5$

Esta cantidad de porcinaza (~3.5 t/ha) aporta 34.7 kg de N y 34.7 kg de K_2O .

$$\text{Kg de N/ha} = \text{Cantidad de porcinaza aplicada} * \text{Concentración de N en la porcinaza} =$$

$$3473.7 \text{ kg de porcinaza/ha} * 1 \text{ kg N/100 kg porcinaza} = 34.7 \text{ kg de N/ha}$$

$$\text{Kg de } K_2O/\text{ha} = \text{Cantidad de porcinaza aplicada} * \text{Concentración de } K_2O \text{ en la porcinaza} =$$

$$3473.7 \text{ kg de porcinaza/ha} * 1 \text{ kg } K_2O/100 \text{ kg porcinaza} = 34.7 \text{ kg de } K_2O/\text{ha}$$

Si se usa sulfato de amonio (SAM) para aportar lo que falta de N ($51.9 - 34.7 = 17.2$), la fuente aportaría también Azufre que está deficiente, así:

Sulfato de amonio requerido: $17.2 \text{ kg N/ha/año} * 100 \text{ kg SAM}/21 \text{ kg N} * 100/60 = 136.5 \text{ kg/año SAM/ha}$

Nota: la eficiencia del nitrógeno es del 60%. Por tanto, el factor es $100/60 = 1.66$

Según los cálculos, no se requiere aplicar fertilizante potásico.

Si se consideran 6 aplicaciones al año, el plan de fertilización implicaría adicionar mensualmente la porcinaza sólida a razón de 579 kg/ha y 22.8 kg/ha de SAM. Lo anterior, teniendo en cuenta una distancia de siembra de $7 \times 7 \text{ m}$, lo cual arroja una densidad de 204 árboles/ha. De modo que, la dosis mensual por árbol sería de 2.8 kg de porcinaza sólida y 112 g de SAM.



Fuente: Noreña Grisales J. M.

UNIDAD 11

PRUEBAS FÍSICAS EN SUELOS DE USO AGRÍCOLA Y PECUARIO

Jorge Mario Noreña Grisales¹

Está demostrado que las propiedades físicas del suelo tienen una influencia decisiva en la respuesta agronómica de los diferentes cultivos. Por tal motivo, un adecuado diagnóstico y una correcta evaluación de cada variable física, permite, entre otros, hacer más eficiente el uso de fertilizantes de síntesis química, enmiendas

orgánico-minerales, excretas animales y subproductos orgánicos. Asimismo, conocer el estado actual de cada variable, posibilita el buen uso, manejo sostenible y diseño de estrategias de rehabilitación del recurso suelo. Lo anterior permite comprender, que la productividad no depende solamente de la condición química del suelo y el aporte

¹ Ingeniero Agrónomo, Economista, Especialista en Gestión Agroambiental. Profesor Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director del Grupo de Investigación en Suelos, Pastos y Forrajes Tropicales. E-Mail: jmnorena@unal.edu.co

mineral, sino también, de las propiedades físicas y biológicas existentes. Seguidamente se describirán algunas pruebas físicas de interés.

11.1 Densidad aparente (D_a).

11.1.1 Definición. Es la relación entre la masa o peso del suelo seco y el volumen total que ocupa la muestra, incluyendo el espacio poroso (macro y microporos). En otras palabras, es el peso del suelo en un volumen total conocido después de secarlo en una estufa a 105 °C durante 24-36 h. Así que, además de la masa (partículas de diámetro menor a 2 mm) tiene en cuenta la organización (Figura 34).

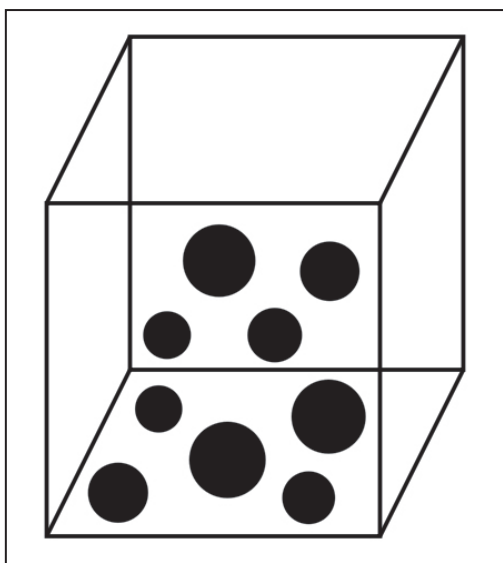


Figura 34. Esquema que representa la D_a (masa y espacio poroso en un volumen total).

Fuente: Noreña Grisales J. M.

La D_a varía de un sitio a otro según la cantidad de materia orgánica, textura² o estructura,³ y presenta una estrecha relación con la compactación, porosidad, aireación, movimiento de agua a través del perfil y el desarrollo de las raíces.

² Es la proporción de arena, limo y arcilla, es decir, el porcentaje en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm.

³ Es el arreglo u organización de las partículas sólidas del suelo.

11.1.2 Materiales, herramientas y equipos que pueden usarse en el muestreo.

Azadón, machete, guadaña, pala, palín, barra, martillo, tabla, cilindro de PVC, cilindro biselado, cilindro metálico, navaja, tijeras, papel chicle, bolsa plástica, cinta de enmascarar, lapicero y marcador indeleble (algunos de los implementos descritos pueden usarse indistintamente y según la disponibilidad que se tenga de ellos).

11.1.3 Métodos de muestreo. Los más usados en campo son:

11.1.3.1 Muestreo utilizando cilindros metálicos o de PVC.

Limpie el sitio de muestreo (aproximadamente una superficie de 20x20 cm), retirando con azadón, machete o guadaña la cobertura vegetal existente. Ubique allí un cilindro metálico o de PVC de 5 cm de largo por 5-6 cm de diámetro. Golpéelo con un martillo suavemente hasta que el borde superior quede a ras de suelo. Recuerde usar una tabla o taco de madera de por medio, y no golpee directamente el borde del cilindro con el martillo. Posteriormente, retírelo del interior del suelo usando un machete, barra o palín (Figura 35), y lime las superficies con una navaja o machete hasta que el suelo quede a ras del cilindro (Figura 36). Finalmente, empaque, marque y envíe la muestra al laboratorio para su respectivo análisis. Incluya datos como: departamento, municipio, vereda, finca, potrero, número de muestra, profundidad y fecha. Tenga como criterio, que la profundidad de muestreo en pastos se recomienda hacer en los primeros 20 cm, aunque, puede estar en función de lo que se pretenda evaluar, es decir, que si va a muestrear después de 10 cm de profundidad debe hacer una cajuela de más o menos 10 x 10 x 10 cm, para tomar la

muestra. Asimismo, se debe aclarar, que sin usar métodos acreditados, puede usarse una estufa casera o un horno microondas para secar las muestras tomadas en campo. No

obstante, si no conoce la técnica, se sugiere enviarlas a laboratorio.



Figuras 35 y 36. Como retirar el cilindro del suelo y limar las superficies (respectivamente).

Fuente: Noreña Grisales J. M.

Si requiere tomar varias muestras, no es necesario usar un cilindro diferente para cada una. El suelo puede retirarse y empacarse en una bolsa, identificando muy bien cada muestra. Por otra parte, cuando use cilindros de PVC, lime uno de los bordes para que penetre más fácil al suelo, y si usa varios en un muestreo, determine con precisión el volumen de cada uno para que el resultado sea más confiable.

Para obtener una información más detallada del terreno, se recomienda tomar entre 3 y 5 submuestras por hectárea, no obstante, por razones económicas se sugiere determinar por lo menos dos puntos. Lo anterior permite la comparación de resultados.

11.1.3.2 Muestreo con cilindro biselado (Figura 37): se utiliza en aquellos suelos con poca o ninguna pedregosidad interna y/o que no son sueltos. Además, en aquellos que no presentan una abundante cantidad de raíces gruesas, como en los suelos bajo bosques bien desarrollados. Lo contrario impide o

por lo menos dificulta la introducción del cilindro y extracción de la muestra completa (Jaramillo, 2002). Por eso, tenga en cuenta lo siguiente:

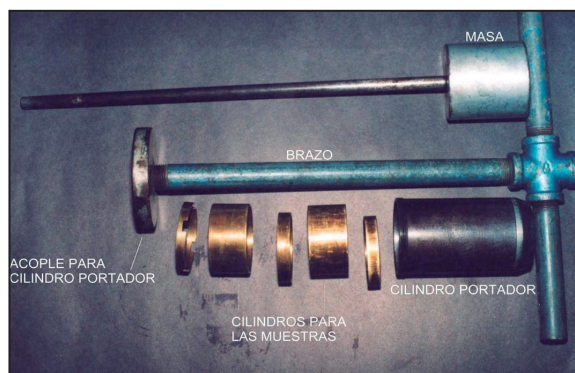


Figura 37. Cilindro biselado.⁴

Fuente: Jaramillo, D.

Limpie el sitio de muestreo (aproximadamente una superficie de 20 x 20 cm), retirando con un azadón o machete la cobertura vegetal allí presente. Luego ubique en el área despejada el “Cilindro Biselado”. Golpee con la “Masa Interna” hasta que ingrese por completo a la profundidad que definió muestrear.

⁴ El cilindro portador se enrosca en el acople con los cilindros para las muestras ubicados en su interior. Y el martillo se incrusta en la parte superior del brazo.

Seguidamente, retire el “Cilindro Portador” del interior del suelo, separe sutilmente los “Cilindros Internos para las Muestras” y lime con navaja o machete ambas superficies, hasta que el suelo quede a ras de cada “cilindro”. Finalmente, empaque, marque y envíe la muestra o muestras al laboratorio para su respectivo análisis. Incluya datos como: departamento, municipio, vereda, finca, potrero, número de muestra, profundidad y fecha, entre otros).

Si requiere hacer varios muestreos, retire el suelo del cilindro y empáquelo en una bolsa. Lo importante es que cada submuestra quede correctamente identificada.

Según Jaramillo (2002), si se desea muestrear un perfil de suelo, determine los horizontes que éste presenta, y en la parte central o entre dos de ellos introduzca el cilindro de forma horizontal.

11.1.3.3 Muestreo usando el método de la cajuela: se usa para suelos que presentan alto contenido de gravillas, gravas, piedras, concreciones u otra característica similar. También cuando se pretende determinar la **Da** de materiales orgánicos como turbas o capas de litter (Jaramillo, 2002).

Abra un agujero de 10 x 10 cm o 20 x 20 cm de superficie y de 10-20 cm de profundo (recomendado en pasturas). No obstante, la profundidad se elige de acuerdo al horizonte, perfil o cultivo que pretenda evaluar. Tenga la precaución de no compactar las paredes ni el fondo. Luego, empaque en una bolsa plástica el suelo extraído y recubra los bordes del hueco con un plástico, procurando el mayor ajuste de éste a las paredes. Ulteriormente, llene el hueco completamente con agua, determinando el volumen adicionado.

Finalmente pese el suelo extraído y tome una submuestra para estimar la humedad gravimétrica usando en lo posible procedimientos de laboratorio.

Según Jaramillo (2002), si el suelo tiene fragmentos de roca y lo que se extrae no pasa por un tamiz con una malla de 2 mm, se regresa al hueco sobre el plástico que lo recubre, dado que la densidad aparente que interesa es la de la tierra fina.

11.1.4 Interpretación.

Se ha establecido el valor de 1.3 Mg/m³, como la **Da** promedia o valor de referencia para los suelos minerales, a diferencia de los Andisoles, cuyo valor generalmente es menor de 0.90 Mg/m³ (Soil Survey Staff, SSS, 1999, 1998). Y aunque éste último se ha usado como valor promedio, según Montenegro y Malagón, 1990, en suelos derivados de materiales volcánicos, la **Da** aparente es baja, generalmente por debajo de 0.85 Mg/m³, lo que sugiere usarlo como valor de referencia si no se tienen datos obtenidos en campo. Adicionalmente, recuerde que Mg/m³ es equivalente a g/cm³.

Al interpretar la **Da** con fines agrícolas, debe relacionarse con la taxonomía del suelo, ya que, según Sánchez (1981), valores de 0.7 Mg/m³ en Andepts,⁵ pueden afectar el desarrollo radicular de algunos cultivos como caña de azúcar; mientras que ello sólo ocurriría, para el mismo ejemplo, a 1.12 Mg/m³ en Ustox⁶ y 1.32 Mg/m³ en Aquepts.⁷ En tanto que, suelos con porcentajes de arcillas arriba de 35-40%, exhiben valores mayores a 1.3 Mg/m³, que se asumen como altos.

5 Suborden del grupo de los Inceptisoles derivados de materiales parentales volcánicos.

6 Suborden del grupo de los Oxisoles de climas semiáridos y subhúmedos.

7 Suborden del grupo de los Inceptisoles de zonas húmedas.

Ejemplo de ello, son los del Magdalena, Plato y la Amazonía. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la influencia de los materiales orgánicos a pesar del alto contenido de arcillas, como en el caso del suelo de Miraflores (Amazonas), donde, a pesar de tener porcentajes de arcilla cercanos al 70%, la **Da** está entre 1.2-1.3 Mg/m³.

Ahora bien, según la textura, Cortés y Malagón (1984), consideran como valores altos de **Da**, aquellos que sean superiores a 1.3 Mg/m³ (suelos de texturas finas); los mayores a 1.4 Mg/m³ (suelos de texturas

medias), y superiores a 1.6 Mg/m³ (suelos de texturas gruesas).

Para materiales orgánicos, se propone un valor promedio de 0.224 Mg/m³ (Rawls, 1983), aunque, dependiendo del grado de descomposición que ellos presenten, puede ser menor de 0.1 Mg/m³, para materiales fibrosos, hasta mayor de 0.2 Mg/m³, para materiales sápricos o más descompuestos (SSS, 1998).

De igual manera, la densidad aparente es un indicador de la compactación del suelo y de las restricciones para el crecimiento y desarrollo de las raíces (Tabla 31).

Tabla 31. Relación entre densidad aparente y el crecimiento radicular, con base en la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidad aparente ideal (Mg/m ³).	Densidad aparente que puede afectar el crecimiento radicular (Mg/m ³).	Densidad aparente que restringe el crecimiento radicular (Mg/m ³).
Arena; Areno-franco.	< 1.60	1.69	>1.80
Franco-arenosa; Franco.	< 1.40	1.63	>1.80
Franco-arcilla-arenosa; Franco; Franco-arcillosa.	< 1.40	1.60	>1.75
Limosa; Franco-limosa.	< 1.30	1.60	>1.75
Franco-limosa; Franco-arcillo-limosa.	< 1.40	1.55	>1.65
Arcillo-arenosa; Arcillo-limosa; algunas Franco-arcillosas (35- 45% de arcilla).	< 1.10	1.39	>1.58
Arcillosa (>45% de arcilla).	< 1.10	1.39	>1.47

Fuente: Arshad, Lowery y Grossman, 1996.

11.2 Densidad real (Dr).

11.2.1 Definición. Es la relación entre la masa o peso del suelo seco y el volumen total, sin incluir el espacio poroso. Según Jaramillo (2002), ésta variable cambia según la proporción y composición de los minerales presentes en el suelo o de acuerdo al porcentaje de materia orgánica y cantidad óxidos de hierro.

11.2.2 Materiales y herramientas que pueden usarse en el muestreo.

Machete, azadón, guadaña, pala, palín, barra, barreno, cinta de enmascarar, papel chicle, bolsas plásticas, lapicero y marcador indeleble (algunos serán usados de acuerdo a la disponibilidad que se tenga de ellos).

11.2.3 Muestreo en campo: en una superficie de aproximadamente 20 x 20 cm, retire con azadón o guadaña las especies

vegetales allí presentes. Luego introduzca el barreno, palín o barra, para sacar una porción desagregada o rectangular de suelo en los primeros 10 cm de profundidad (Figuras 38 y 39). No obstante, puede tomar muestras más abajo, por ejemplo, entre 10-20 cm o de 20-30 cm, dependiendo del horizonte del suelo que pretenda evaluar). Finalmente, empaque, marque y envíe la muestra al laboratorio para su análisis respectivo (incluya datos como: departamento, municipio, vereda, finca, potrero, número de muestra, profundidad y fecha, entre otros). Tenga presente que si va a muestrear a mayor profundidad, el barreno sería una buena opción, porque puede usar el mismo agujero para sacar una muestra más profunda. Igualmente, puede hacer un hueco en forma cúbica hasta donde requiera evaluar.



Figuras 38 y 39. Muestreo usando Barreno y Palín (respectivamente).

Fuente: Noreña Grisales J. M.

11.2.4 Interpretación. En suelos minerales la D_r fluctúa comúnmente de 2.5 a 2.8 Mg/m^3 . Mientras que, en Andisoles, se usa como valor medio o de referencia 2.0 Mg/m^3 . Pero, según Jaramillo (2002), en suelos minerales se asume un valor promedio de 2.65 Mg/m^3 , que se considera apropiado, cuando la composición mineralógica está distribuida entre los filo y tectosilicatos detallados en la Tabla 32, es decir, entre montmorillonita, ortoclasa, cuarzo, caolinita y plagioclasa. No obstante, un suelo cuya mineralogía esté dominada por óxidos de hierro, presentará una densidad real muy por encima del valor promedio descrito anteriormente. Por otro lado, valores por debajo de la media, pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica y/o aluminosilicatos no cristalinos en el suelo.

Tabla 32. Densidad real de algunos materiales inorgánicos comunes en el suelo.

Material	Densidad (Mg/m^3).
Gibsita	2.30-2.40
Montmorillonita	2.40
Ortoclasa	2.56
Illita	2.60
Cuarzo	2.60
Caolinita	2.60-2.63
Clorita	2.60-3.0
Plagioclasa	2.62-2.72
Calcita	2.80-2.90
Moscovita	2.80-2.90
Biotita	3.0-3.10
Hornblenda	3.0-3.47
Olivino	3.27-3.37
Limonita	3.80
Siderita	3.83-3.88
Hematita	4.90-5.30
Magnetita	5.17-5.18

Fuente: Bowles, 1982.

Las densidades reales de otros materiales se exponen en la Tabla 33

Tabla 33. Densidades reales de varios constituyentes del suelo.

Material	Densidad (Mg/m ³).
Humus	1.3-1.5
Arcilla	2.2-2.6
Caolinita	2.2-2.6
Ortoclasa	2.5-2.6
Cuarzo	2.5-2.6
Microclina	2.5-2.6
Albita	2.6-2.7
Pederal	2.6-2.7
Calcita	2.6-2.8
Anortita	2.7-2.8
Dolomita	2.8-2.9
Muscovita	2.7-3.0
Biotita	2.8-3.1
Apatita	3.2-3.3
Limonita	3.5-4.0
Magnetita	4.9-5.2
Pirita	4.9-5.2
Hematita	4.9-5.3

Fuente: Montenegro y Malagón, 1990.

La **Dr** es afectada por el contenido de materiales piroclásticos⁸ y orgánicos, lo cual revela valores muy bajos (2.1-2.3 Mg/m³). Mientras que, rangos bajos a “normales” (2.3 a 2.5 Mg/m³) están presentes en gran cantidad de suelos del Magdalena Medio, Urabá y el Cesar. Siendo la presencia de materia orgánica el factor más determinante en dichos valores. En tanto que, rangos altos (2.6-2.8 Mg/m³) se observan en suelos bien drenados de las sabanas del Cesar, Magdalena y los Llanos del Casanare. Por otra parte, valores muy altos (>2.8 Mg/m³), se presentan en algunos Oxisoles amazónicos y en varios suelos evaluados en el bajo Magdalena (Montenegro y Malagón, 1990).

11.3 Retención de humedad (Rh).

11.3.1 Definición. Es la cantidad de agua que el suelo puede retener. Ésta variable cambia según la textura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo. Por lo tanto, su importancia radica en el movimiento, almacenamiento y uso del agua por las raíces. Así que, la humedad está relacionada con aspectos como la evapotranspiración, permeabilidad, escorrentía, drenaje natural y nivel freático.

11.3.2 Herramientas y equipos que pueden usarse en el muestreo. Machete, azadón, pala, palín, barra, barreno, cilindro metálico o de PVC, tensiómetro, tijeras, papel chicle, bolsa plástica, cinta de enmascarar, lapicero y marcador indeleble.

11.3.3 Como tomar una muestra en campo. Use la misma metodología descrita para la determinación de la **Dr**.

11.3.4 Interpretación. Como se observa en la Tabla 34, un suelo arcilloso retiene más porcentaje de humedad respecto a un arenoso cuando se evalúan a una misma tensión.

Tabla 34. Valores generalizados de retención de humedad a 0.3 y 15 bares según la clase textural.

Clase Textural	% Retención de humedad (Rh).	
	0.3 bares	15 bares
Arenosa	5-15	2-10
Franco Arenosa	12-32	5-18
Franca	18-40	10-30
Franco Arcillosa	20-50	12-35
Arcillosa	25-75	15-45

Fuente: Montenegro y Malagón, 1990.

8 Cualquier fragmento sólido volcánico expulsado al aire durante una erupción.

Así, evaluaciones a 0.3 bares son equivalentes a humedades a capacidad de campo (CC),⁹ mientras que 15 bares representa comúnmente el punto de marchitez permanente (PMP).¹⁰ Sin embargo, resulta pertinente realizar mediciones en muchos cultivos a 0.5, 0.8 o 1.5 bares en vez de 15 bares dado que es en éstos donde se encuentran los límites críticos.

Los porcentajes en el contenido de humedad se exponen en la Tabla 35.

Tabla 35. Rangos para interpretar la humedad equivalente.

Contenido de humedad (%)	Interpretación
< 5.0	Muy baja
5.0-15	Baja
15-25	Media
25-35	Alta
> 35	Muy Alta

Fuente: Montenegro y Malagón, 1990.

Se ha demostrado la mayor **Rh** en suelos derivados de cenizas volcánicas. Por tal razón, Sánchez (1981), concluyó que los Andisoles retienen más agua a una misma tensión, que los Oxisoles, debido a que los agregados de alófana y de materia orgánica son más porosos que los de caolinita y óxidos de hierro.

De otro lado, el CIAT considera que la CC en Oxisoles se alcanza a tensiones entre 0.1 y 0.2 bares. Y se ha encontrado en aquellos de granulometría gruesa, una baja capacidad de **Rh** y humedad aprovechable (IGAC, 1983). Mientras que, se sugiere que la estimación de la CC en Vertisoles debe realizarse a 0.5 bares (Sánchez, 1981).

11.4 Porosidad.

11.4.1 Definición. Es el volumen total del suelo que no está siendo ocupado por partículas sólidas. Es decir, el volumen total disponible para la circulación de agua, aire y gases.

Esta variable cambia en función de la textura, estructura, contenido de materia orgánica o según el nivel de compactación del suelo. Por tanto, su importancia radica, en las relaciones directas con el movimiento del agua, aire, nutrientes y gases a través del perfil.

11.4.2 Herramientas y equipos que pueden usarse en el muestreo. Machete, azadón, pala, palín, barra, martillo, tabla, cilindro biselado, metálico o de PVC, navaja, tijeras, papel chicle, bolsa plástica, cinta de enmascarar, lapicero o marcador indeleble.

11.4.3 Como tomar una muestra en campo. Use la misma metodología descrita para la determinación de la **Da**. En especial cuando se utiliza cilindro metálico o de PVC.

11.4.4 Interpretación. Teóricamente se acepta como buena una porosidad total superior al 50%. Sin embargo, ésta puede calificarse con base en la Tabla 36. De igual modo, se puede relacionar con la **Da** tal como aparece en la Tabla 37.

Tabla 36. Calificación de la porosidad total del suelo.

POROSIDAD TOTAL (%)	CALIFICACIÓN
>70	Excesiva
>55 - <70	Excelente
>50 - <55	Satisfactoria
>40 - <50	Baja
<40	Muy baja

Fuente: Kaurichev, 1984.

⁹ Capacidad de campo: contenido de humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturarlo y dejarlo drenar.

¹⁰ Punto de marchitez permanente: humedad del suelo a la cual las plantas se marchitan en forma permanente.

Tabla 37. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total.

Densidad aparente (Mg/m ³).	% Porosidad total
< 1.0	> 63
>1.0 - <1.2	55-62
>1.2 - <1.4	47-54
>1.4 - <1.6	40-46
>1.6 - <1.8	32-39
> 1.8	< 31

Fuente: Duchaufour, 1965.

Se debe aclarar, que la **porosidad total** del suelo se divide en microporos y macroporos, correspondiendo los primeros a los poros más finos presentes dentro de los agregados, que cumplen la función de retener y almacenar agua; mientras que los segundos, son los poros más espaciados, ubicados entre los agregados, y son los que permiten el paso del agua, aire y gases.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, lo importante no es la estimación de la porosidad total, sino, la proporción en que éstos se encuentran, es decir, que si la porosidad total es 60%, la distribución ideal entre macro y microporos sea, 30 y 30%, respectivamente. Por ello, Jaramillo (2002), señala, que el porcentaje de éstos, es quien determina las relaciones fundamentales entre las fases sólida, líquida y gaseosa, y aspectos claves como: drenaje, acumulación de agua, infiltración, aireación y temperatura, entre otros.

Así, un apropiado movimiento de fluidos requiere de la adecuada distribución de macro y microporos, que suele estimarse en volúmenes semejantes, de modo que cada una tenga de 40-60% del total. Desviaciones hacia la microporosidad generan un material impermeable y reductor, con escaso suministro de oxígeno a las raíces. Lo

contrario supone muy buena aireación, pero, escasa retención de agua. Por tanto, es más importante dicha distribución que el valor de la porosidad total (De Santiago, sf).

Con relación a la distribución de poros totales, Baver *et al* (1973), consideran como ideal, aquella en la cual, macro y microporos se encuentran en igual proporción y agrega que, cuando la macroporosidad es menor del 10 %, se restringe la proliferación de raíces. Así mismo, respecto al porcentaje mencionado, se dificulta además el movimiento de aire, agua y nutrientes.

Para el cálculo de la porosidad total (Pt), microporosidad (m) y macroporosidad (M) tenga presente las siguientes fórmulas y recuerde que al determinar la microporosidad debe tener en cuenta la humedad gravimétrica (%W) a 0,3 bares o lo que es lo mismo, a capacidad de campo.

$$Pt = \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right) \times 100$$

$$m = W(\%) \times Da$$

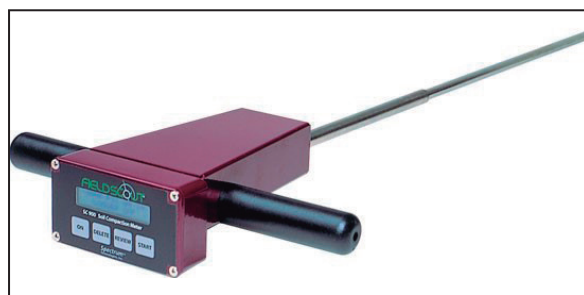
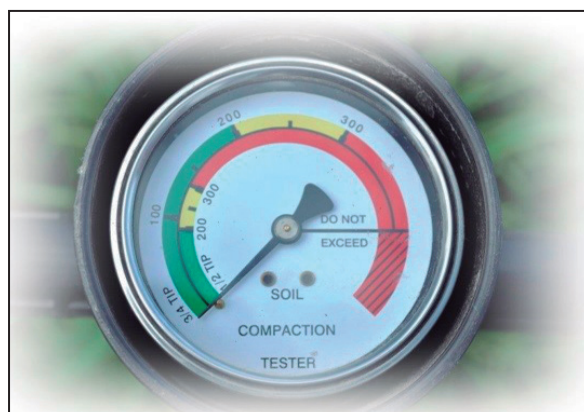
$$M = Pt - m$$

11.5 Resistencia a la penetración del suelo

11.5.1 Definición. Es la resistencia que opone el suelo a ser penetrado verticalmente. Más técnicamente, es la capacidad del suelo a resistir una fuerza ejercida sobre él cuando se usa un penetrómetro. Así que, dicha variable tiene una relación directa con la profundidad de las raíces, porosidad, retención de humedad y con el movimiento de agua, aire y gases a través del perfil. Por tanto, en un suelo compactado disminuye la absorción de fertilizantes químicos u orgánicos, generando pérdidas de cosecha que pueden superar del 20 al 30%.

11.5.2 Materiales, herramientas y equipos requeridos en el muestreo.

Machete, azadón, guadaña, penetrómetro de reloj (Figuras 40) o penetrómetros digitales de los cuales existen muchos prototipos, por ejemplo el Fieldscout SC900 (Figuras 41).



Figuras 40 y 41. Penetrómetro de reloj y digital.

Fuentes: Noreña Grisales J. M. y <http://www.specmeters.com/soil-and-water/soil-compaction/fieldscout-sc-900-meter/sc900/>, respectivamente.

11.5.3 Método de muestreo. Raspe el área de muestreo retirando con un machete, azadón o guadaña las especies vegetales presentes. Limpie alrededor de 10 x 10 cm cuando utilice el penetrómetro de reloj, y 20 x

20 cm si usa el penetrómetro digital. Aunque, en algunos casos, puede dejar la cobertura, para simular las condiciones reales. Así que, para obtener un valor, ubique la punta cónica del penetrómetro en la superficie despejada e inicie una presión constante sobre las empuñaduras del implemento hasta llegar a la profundidad en la cual el instrumento ya no ingrese más (ya sea por la presencia de un horizonte compactado, raíz o roca). Asimismo, tenga presente, que el penetrómetro digital expuesto en la Figura 12.8 arroja datos cada 2.5 cm de profundidad hasta aproximadamente 30 cm; mientras que el de reloj ofrece la información del sitio a que ha profundizado la aguja (en ambos casos, siga las recomendaciones técnicas para el manejo de cada equipo, las cuales aparecen en el manual de usuario).

11.5.4 Interpretación. Como puede observarse en la Tabla 38, lo ideal es que el valor o valores obtenidos se encuentren por debajo de 200 PSI¹¹ o por lo menos, abajo de 300 PSI. Lo que significa, en el primer caso, que se tiene un perfil de suelo que favorece el adecuado desarrollo de raíces, así como el movimiento de agua, aire y gases. Mientras en el segundo, ya se tiene alguna restricción respecto a la porosidad, infiltración, drenaje y crecimiento de las raíces, por mencionar sólo algunos casos.

Tabla 38. Calificación de la resistencia a la penetración del suelo.

COMPACTACIÓN (PSI).	COMPACTACIÓN (kPa).	CALIFICACIÓN
> 300	> 2068,43	Compactado
200 - 300	1378,95 - 2068,43	Medianamente compactado
< 200	< 1378,95	No compactado

¹¹ PSI es la unidad de medida que representa una libra por pulgada cuadrada, y que es equivalente a 6,89476 kPa (Kilopascal).

Según la Tabla 38, se deduce que en algunos equipos el medidor puede configurarse para mostrar y registrar datos en unidades inglesas (Índice del cono en PSI y profundidad en pulgadas) y también en unidades del Sistema Internacional (SI), es decir, (Índice del cono en kilopascales, kPa, y la profundidad en centímetros).

En muchos casos se ha encontrado que la compactación se encuentra a una profundidad específica del perfil, es decir, en los primeros centímetros o en un horizonte más profundo (Tablas 39 y 40, respectivamente). De modo que, cuando ésta es más superficial, hay mayor riesgo de escorrentía, la cual se incrementa, cuando se tiene una topografía ondulada con una pendiente elevada.

Tabla 39. Prueba de compactación en PSI (Usando penetrómetro digital).

Prof. (cm).	Potrero con alto predominio de pasto Kikuyo			
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
0	305	301	295	312
2.5	308	301	306	316
5	328	333	334	344
7.5	354	368	376	357
10	378	356	386	342
12.5	316	308	322	310
15	285	298	296	288
17.5	274	282	271	273
20	245	254	237	266
22.5	225	228	222	254
25	216	218	218	236
27.5	201	215	214	222
30	199	192	204	208

Según la Tabla 39, se tiene un suelo muy compactado entre 0-15 cm, lo que repercute en una baja tasa de infiltración y una alta probabilidad de escorrentía. Generándose posibles riesgos cuando se usan fertilizantes químicos o excretas procedentes de tanque estercolero, por ejemplo. Por lo tanto, se recomienda una labranza poco profunda, con el objeto de

descompactar los primeros 15 cm de suelo. Lo anterior puede hacerse con un equipo como el Rotocultivador de Cuchilla Lineal, que al mismo tiempo estimula el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes (Este tema se discutirá con más detalle en el capítulo 13, donde se presentarán diferentes equipos de labranza con su respectivo efecto y función).

Tabla 40. Prueba de compactación en PSI (Usando penetrómetro digital).

Prof. (cm).	Muestreo en diferentes sitios del potrero.			
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4
0	100	124	108	165
2.5	114	136	121	180
5	128	145	125	194
7.5	166	160	155	192
10	202	198	156	216
12.5	244	222	207	252
15	284	269	268	296
17.5	307	301	314	321
20	316	324	319	328
22.5	345	348	338	346
25	388	Roca	346	388
27.5	396	---	378	412
30	402	---	Muy compactado	423

Según los resultados de la Tabla 40, el suelo está compactado desde 17.5 hasta 30 cm. Lo anterior exige una labranza vertical profunda, por ejemplo, con un Renovador de Praderas, Cíncel o Subsolador. En algunos casos, la compactación es el resultado de usar implementos de labranza que producen el denominado “pie de arado” o sellamiento de capas internas. Además, pueden usarse equipos de labranza vertical-horizontal que no invierten la capa arable.

En síntesis, según Jaramillo (2002), se presenta compactación cuando la macroporosidad es tan baja que restringe la aireación, y el tamaño de los poros es tan fino que impide la penetración de raíces, infiltración y drenaje. Asimismo, hay se observa una reducción del volumen y continuidad de los macroporos con lo cual se reduce la conductividad del aire y del agua. En la Tabla 41 se observa la relación entre la compactación y la porosidad total.

Tabla 41. Calificación de la porosidad total y la compactación.

Porosidad Total (%)	Calificación de la compactación
>70	Muy baja
>55 - <70	Baja
>50 - <55	Moderada
>40 - <50	Alta
<40	Muy alta

Fuente: Montenegro y Malagón 1990.

11.6 Infiltración

11.6.1 Definición. Es la velocidad con que el agua entra al suelo de forma vertical. En otras palabras, es la cantidad de agua que se infiltra en un lapso de tiempo, hasta que esa tasa de ingreso se vuelve constante. Una de las mejores formas para determinar la infiltración, es usando el método de los anillos concéntricos o infiltrómetros (Figura 42).



Figura 42. Anillos concéntricos o infiltrómetros.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

11.6.2 Materiales y herramientas que pueden usarse en el muestreo. Machete, azadón, guadaña, anillos concéntricos, tubos metálicos o en PVC con un diámetro menor, tabla de madera, almádana, balde y bolsas plásticas.

11.6.3 Como hacer una prueba en campo. Limpie el sitio de muestreo (aproximadamente una superficie de 60 x 60 cm), retirando con guadaña o machete las especies vegetales allí presentes (aunque según el tipo de estudio que quiera realizar, puede dejarlas, para simular mejor las condiciones reales). Seguidamente, introduzca el anillo externo (el más ancho) y luego el interno (el más angosto), de modo que penetren de 10 a 20 cm. Golpee los anillos concéntricos con la almádana, utilizando una tabla de madera de por medio para garantizar un ingreso uniforme. Luego coloque un plástico o bolsa en el cilindro interno y agregue de 10 a 20 litros de agua. Después se echa agua en el espacio entre el cilindro exterior y el interior y se deja que penetre durante 3 minutos. Una vez transcurrido ese tiempo, se retira el plástico del cilindro interior y se empieza a determinar cuántos centímetros baja el agua, registrando lecturas al minuto 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 y 240. Lo anterior, se puede realizar en uno de los bordes del

cilindro, usando una regla o escala de medida que tenga unidades en cm y milímetros.

Al minuto de iniciado el ingreso de agua en el cilindro interno, se hace la primera lectura, para establecer cuánto bajó la lámina de agua. Procure no dejar que la columna de agua baje de 5 cm con respecto a la superficie del suelo. Cuando llegue a ese punto, reponga el líquido hasta volver al estado inicial y escriba cuántos litros más adicionó. Las lecturas de tiempo y entrada de agua al suelo, se realizan hasta que ésta llegue a una tasa de ingreso más o menos constante.

Según Jaramillo (2002), con la información obtenida se calcula la infiltración instantánea y la infiltración acumulada, y se determina la infiltración básica. Las ecuaciones pueden obtenerse de dos maneras:

Ajustando los resultados de tiempo acumulado y de infiltración instantánea y acumulada a modelos teóricos (tipo $y = axb$), por procedimientos estadísticos de regresión o graficando los mismos resultados en un papel doble logarítmico y ajustándolos visualmente a una recta; cortando el eje de las ordenadas, se obtiene el valor del intercepto, el cual define la constante a del modelo teórico y calculando la pendiente de la recta se obtiene el valor de la constante b del mismo modelo.

La infiltración básica la define Mercado (1989) como el valor que adquiere la infiltración instantánea cuando presenta la tendencia a ser constante. Según la definición anterior y lo que se ha discutido acerca de la infiltración instantánea, si se grafican en escala aritmética el tiempo acumulado vs la infiltración instantánea, se obtiene una curva hiperbólica, la cual, después de un cierto tiempo, empieza a ser asintótica al eje de las abscisas; si se proyecta esta línea asintótica hasta cortar el eje de las ordenadas, se

obtiene un valor estimado de la infiltración básica, la cual refleja el movimiento de agua en el suelo saturado, por lo que puede hacerse igual a la conductividad hidráulica saturada del mismo.

En la Tabla 42 se muestra el formato para la toma de datos en campo de la prueba de infiltración. Los intervalos de tiempo sugeridos son: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, y 240 minutos.

Tabla 42. Formato de registro para la prueba de infiltración.

Localización:							Fecha:			
Cultivo:							Elaborado por:			
Tiempo	Cilindro 1			Cilindro 2			Cilindro 3			h Promedio
	Hora Lectura	Altura de agua	Inf. Acumulada	Hora Lectura	Altura de agua	Inf. Acumulada	Hora Lectura	Altura de agua	Inf. Acumulada	
(min)	(cm)	h1 (cm)	(cm)	h2 (cm)	(cm)	h3 (cm)	(cm)	h3 (cm)	(cm)	
1										
2										
3										
4										
5										
10										
15										
30										
45										
60										
90										
120										
240										

11.6.4 Interpretación. En la Tabla 43 se presenta la calificación de la velocidad de infiltración en cm/hora.

Tabla 43. Clasificación de la velocidad de infiltración.

INFILTRACIÓN (cm/hora).	INTERPRETACIÓN
< 0.1	Muy lenta
0.1-0.5	Lenta
0.5-2.0	Moderadamente lenta
2.0-6.3	Moderada
6.3-12.7	Moderadamente rápida
12.7-25.4	Rápida
> 25.4	Muy rápida

Fuente: Montenegro y Malagón, 1990.

11.6.5 Factores que afectan la infiltración según Jaramillo (2002).

La velocidad con la cual pasa el agua del exterior al interior del suelo depende de varios factores como:

- El contenido de humedad que presente el suelo al momento de hacer la evaluación: a mayor contenido de humedad, menor será la velocidad de infiltración.
- La permeabilidad del suelo: la calidad del arreglo físico del suelo facilita o dificulta el movimiento de agua dentro de él, aumentando o disminuyendo, respectivamente, la velocidad con la cual el suelo puede recibir nuevas cantidades de agua.
- La cantidad y tipo de coloides: si en el suelo hay contenidos considerables de coloides expansibles, a medida que el suelo se va humedeciendo se va reduciendo el tamaño de los poros, aumentando la fricción del agua en ellos y por tanto, aumenta la dificultad para su movimiento, lo cual reduce, a su vez, la infiltración.
- El tipo de poros: si en el suelo predominan los poros finos, la infiltración será baja; éste tipo de poros puede estar relacionado con texturas finas y/o poco desarrollo estructural, así como con problemas de compactación.
- La homogeneidad del perfil del suelo: en suelos de perfil homogéneo se presenta una alta continuidad en el espacio poroso, la cual facilita el movimiento del agua y su infiltración; cuando hay contrastes texturales y estructurales en el interior del suelo, éstos pueden generar interrupciones en los poros, o reducciones drásticas en el tamaño de ellos que desaceleran el flujo del agua y la infiltración.
- Las condiciones superficiales del suelo: la presencia de sellamiento y/o

encostramiento superficial del suelo reduce su infiltración.

- La presencia de materiales hidrofóbicos en el suelo.
- El tiempo que dure el suministro de agua al suelo, sea por riego o por lluvia.

11.7 Prueba de Percolación en cultivos.

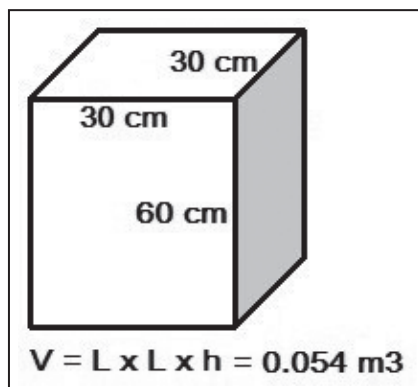
11.7.1 Definición. Es la velocidad con que el agua entra al suelo en sentido vertical, pero por debajo del área de raíces. Así que, es la cantidad de agua que ingresa al suelo en función del tiempo.

11.7.2 Materiales y herramientas que pueden usarse en el muestreo. Barra, pala, palín, tubo metálico o de PVC de 8 o 10 pulgadas y de 50 a 80 cm de largo, balde, navaja, bolsa plástica.

11.7.3 Como hacer una prueba en campo. Haga un hoyo de 30 x 30 centímetros de lado y aunque se sugiere una profundidad de 60 centímetros (Figuras 43 y 44), hágalo por debajo del área de raíces que tenga el cultivo evaluado. Una vez se determine el límite de la profundidad de aproximadamente el 95% de las raíces, introduzca el tubo en el hueco realizado y clávelo al menos 5 cm. Luego llene $\frac{3}{4}$ partes o el total del cilindro con una cantidad de agua establecida e inmediatamente registre el tiempo que el nivel del agua tarda en bajar los primeros 2,5 centímetros (una pulgada), para lo cual deberá disponer de una regla graduada para tomar un promedio del tiempo que demora en descender 15 centímetros. Puede poner una bolsa plástica antes de iniciar la medición tal como se indicó para la prueba de infiltración. Asimismo, resulta fácil conocer cuál fue el volumen de agua aplicada tomando las medidas del cilindro y la profundidad a la que fue enterrado.

Una limitante al determinar el agua que ingresa al suelo sin usar el tubo, es que parte de esta puede estar ingresando por las paredes laterales (macroporos), y lo importante en esta prueba, es medir la cantidad que ingresa por debajo del área de raíces, ya que, podría contaminar cuerpos de agua

subterráneos cuando los nitratos o fosfatos no sean absorbidos por las raíces. Y aunque el mayor riesgo de contaminación de éstos es por escorrentía, es necesario determinar su posible riesgo, en especial cuando el sistema de raíces no alcanza un buen desarrollo.



Figuras 43 y 44. Esquema gráfico y real del hoyo.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

11.7.4 Interpretación. Por ejemplo, si durante 30 minutos el nivel del agua baja 2 cm, la tasa de percolación será de $30 \text{ min} / 2 \text{ cm} = 15 \text{ min/cm} = 37,5 \text{ min}/2,5 \text{ cm}$.

La tasa de percolación se expresa comúnmente en min/2,5 cm siendo equivalente a min/pulgada, y muchas tablas y normas de diseño vienen expresadas en min/pulgada. Tabla 44.

Tabla 44. Percolación según la porosidad y tipo de suelo.

MINUTOS PARA QUE EL AGUA BAJE 2.5 CM.	POROSIDAD DEL TERRENO ABSORCIÓN DEL TERRENO	TIPO DE SUELO
1 o menos		
2	Absorción rápida	Arena gruesa o grava
3		
4	Absorción media	Arena fina franco arenosa
5		
10	Absorción lenta	Franco arcillosa
15		
30 a		
45	Terreno semipermeable	Arcilla compactada
50	Terreno impermeable	
60 b		

(a) Si sobrepasa los 30 min/2,5 cm, el terreno es inapropiado para pozos de absorción. (b) Si la tasa de filtración es mayor de 60 min/2,5 cm, el terreno es inapropiado para tratamientos que utilicen el suelo como medio de absorción. Terreno apropiado para la disposición de residuos sólidos en un relleno sanitario.¹²

¹² Tomado y adaptado de Empresas Públicas de Medellín. "Sistemas elementales para el manejo de aguas residuales, sector rural y semirural". Revista, vol. 10, n.o 2, abril-junio de 1988.

11.8 Estabilidad estructural (EE).

11.8.1 Definición. Es la resistencia de los agregados del suelo a desintegrarse, debido principalmente a la acción del agua y el laboreo mecánico. Se ve afectada por la textura, tipo de arcilla, hierro, cationes, materia orgánica, y por el tipo y tamaño de la población microbiana. Tenga en cuenta que los iones de calcio asociados con la arcilla generalmente promueven la agregación, mientras que los de sodio la dispersión.

Define en gran medida, la intensidad y el tipo de uso y manejo y, desde el punto de vista del manejo intensivo del suelo, ésta es una de las propiedades que mejor determina

su resistencia al deterioro y a la erosión. Los principales agentes que perturban la estructura son las gotas de lluvia, la mecanización, la presencia de ciertos cationes como el sodio, las condiciones inadecuadas de humedad y el déficit de coloides en el suelo, entre otros (Montenegro y Malagón, 1990).

11.8.2 Materiales y herramientas que pueden usarse en el muestreo. Los mismos que para una muestra de densidad real (**Dr**).

11.8.3 Muestreo en campo: Use la misma metodología descrita para la determinación de la **Dr**.

11.8.4 Interpretación. Hágalo con base en la Tabla 45.

Tabla 45. Interpretación de la estabilidad de los agregados.

DPM (mm).	Estabilidad Estructural
< 0.5	Inestable
0.5 - 1.5	Ligeramente Estable
1.5 - 3.0	Moderadamente Estable
3.0 - 5.0	Estable
> 5.0	Muy Estable

Fuente: IGAC, 2006

11.9 Conductividad hidráulica.

11.9.1 Definición. Define la posibilidad que tiene el agua de moverse dentro del suelo. Se representa como K_s o simplemente K ; por su definición, es una cualidad que se relaciona estrechamente con el drenaje del suelo. Es máxima cuando el suelo está saturado (K_{sat}), pues todos los poros están llenos con agua y actúan como conductores; además, a mayor tamaño de poros, mayor es la conductividad, por lo cual es una propiedad que depende fuertemente de la estructura, la textura y la composición mineralógica de las arcillas (Jaramillo, 2002).

11.9.2 Materiales y herramientas que pueden usarse en el muestreo. Los mismos que para una muestra de densidad aparente (**Da**).

11.9.3 Muestreo en campo: Use la misma metodología descrita para la determinación de la **Da**. En especial cuando se utiliza cilindro metálico o de PVC.

11.9.4 Interpretación. Para fines de interpretación de los valores de K_{sat} que se obtengan, el Soil Suevey Division Staff (SSDS, 1993) recomienda el uso de los límites críticos que se presentan en la Tabla 46.

Tabla 46. Clases de conductividad hidráulica del suelo saturado.

CLASE	RANGO DE VALORES DE K_{sat}		
	$um\ s^{-1}$	$cm\ h^{-1}$	$m\ día^{-1}$
Muy alta	> 100	> 36	> 864
Alta	10 – 100	3.6 – 36	86.4 – 864
Moderadamente alta	1 – 10	0.36 – 3.6	8.64 – 86.4
Moderadamente baja	0.1 – 1	0.036 – 0.36	0.864 – 8.64
Baja	0.01 – 0.1	0.0036 – 0.036	0.0864 – 0.864
Muy Baja	< 0.01	< 0.0036	< 0.0864

Fuente: SSDS, 1993



Fuente: Noreña Grisales J. M.

UNIDAD 12

ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN EN SUELOS Y PASTURAS PARA UN USO RACIONAL DE LA PORCINAZA

Jorge Mario Noreña Grisales¹

En 22 de 32 departamentos de Colombia evaluados en la Encuesta Nacional Agropecuaria 2014, se estableció un área total de 20.336.865 hectáreas destinadas a la siembra de pastos y forrajes, lo que representa, sin duda alguna, el cultivo más

grande del país. No obstante, en todo el territorio nacional, el área potencial para el establecimiento de pasturas y otros cultivos forrajeros puede superar las 40.000.000 de hectáreas, lo que representa el 35% de la superficie total, y hace de éste, un sector con

¹ Ingeniero Agrónomo, Economista, Especialista en Gestión Agroambiental. Profesor Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Director Grupo de Investigación Suelos, Pastos y Forrajes Tropicales. E - Mail: jmnorena@unal.edu.co

gran potencial para la adición de porcínaza y otros subproductos orgánicos como biofertilizante.

Por tanto, para que su uso sea adecuado, se deben tener claros los riesgos y estrategias de manejo de los suelos y las pasturas, con el objeto de hacer de la porcínaza, una alternativa de uso racional, sobretodo, en aquellas regiones donde la degradación de los pastos ha sido a causa de la falta de adición de fertilizantes. Además, el hecho de que en Colombia se haya determinado que más del 80% de sus suelos presentan algún grado de acidez, hace que este insumo pueda ser potencialmente aprovechado para corregir algunas deficiencias minerales y ayudar a revertir algunos procesos de degradación que dichos suelos exhiben.

Según Noreña (2011), aunque las causas de degradación de una pradera son múltiples, entre ellas pueden destacarse: 1) Sistema de pastoreo inadecuado; 2) Cálculo y ajuste de carga animal inexacto; 3) Plan de fertilización desbalanceado; 4) Manejo fitosanitario incorrecto e inoportuno; 5) Equivocado control de las especies indeseables; 6)

Prácticas de labranza impropias; 7) Mala selección e incompatibilidad de las especies forrajeras; 8) Método de siembra errado; 9) Aprovechamiento tardío o anticipado del forraje; 10) Restricciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y 11) Condición climática adversa.

Así que, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y el manejo de la pradera tiene una influencia notable en la respuesta agronómica de los cultivos. Por ello, se debe tener claro el concepto de degradación del suelo respecto a la degradación de la pastura. En el primer caso, se establece comúnmente por la presencia de procesos erosivos y/o aumentos en los niveles de compactación. Mientras que, en el segundo, la degradación de la pastura, es un término usado para designar un proceso progresivo de pérdida de vigor, productividad, calidad y capacidad de recuperación natural de una o más especies, debido en especial, a factores climáticos, edáficos, bióticos y de manejo. De igual modo, debe aclararse que la degradación puede ser causada por sobre o subpastoreo. Siendo común en el caso inicial, que la planta exprese, entre otros, falta de crecimiento, enanismo, formación tipo bonsái, acortamiento de entrenudos, acolchonamiento y lignificación (Figuras 46 y 47).



Figuras 46 y 47. Acolchonamiento, crecimiento tipo bonsái y lignificación del pasto Kikuyo.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

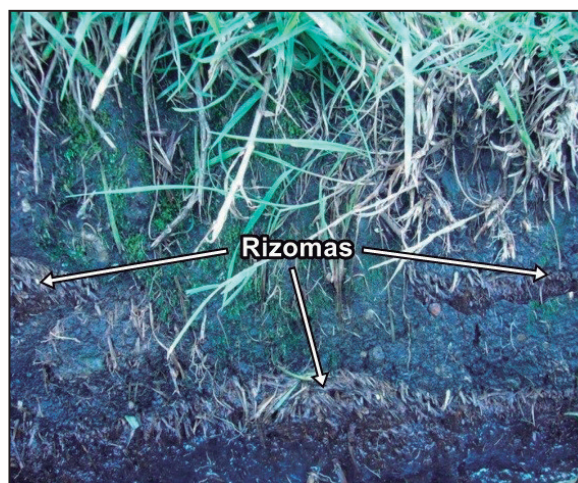
Condiciones como las expuestas en las Figuras 46 y 47, están usualmente relacionadas con un pobre desarrollo del sistema de raíces y una menor absorción de nutrientes, lo que implica que la adición de fertilizantes químicos, enmiendas o de porcínaza procedente del tanque estercolero pueden no ser totalmente aprovechadas por el cultivo. Así que, cuando hay degradación, pastos como el Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*), pueden paralelamente, exhibir acolchonamiento estolonífero (Figuras 48 y 49) y rizomatoso (Figuras 50 y 51). Pero, para el caso del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), sólo genera colchón de estolones.²

Casos como los presentados en las Figuras 48 y 49, están usualmente relacionadas con mayores riesgos de escorrentía, dado que un fertilizante o una porcínaza líquida encuentra una barrera física superficial que le impide penetrar al suelo, provocando que lo aplicado no sea aprovechado por el cultivo como consecuencia del acolchonamiento estolonífero.



Figuras 48 y 49. Acolchonamiento estolonífero (superficial) en el pasto Kikuyo.

Fuente: Noreña Grisales J. M.



Figuras 50 y 51. Acolchonamiento rizomatoso (subterráneo) en el pasto Kikuyo.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

² Tanto estolones como rizomas, son tallos modificados de la planta.

Asimismo, un colchón rizomatoso, que puede superar 30 cm de profundidad (Figuras 50 y 51), genera un mayor riesgo de escorrentía y una menor tasa de infiltración, dado que el agua como los fertilizantes y la porcinaza procedente del tanque estercolero encuentran una barrera física subterránea que no les permite llegar a la profundidad donde se desarrolla el mayor porcentaje de raíces.

En suma, una pastura degradada, con acolchonamiento rizomatoso y/o estolonífero, y con pendiente ondulada, presenta más riesgos de contaminación de cuerpos de agua,

que otra donde el manejo de los pastos sea mejor y éstos puedan recuperarse mejor de un ciclo de pastoreo a otro. Nótese, que acá no se ha hecho énfasis en ningún aspecto de degradación del suelo, lo que supone, que en caso de presentar un deterioro superficial expresado por un acolchonamiento estolonífero, la solución sería guadañar el potrero a ras de suelo (Figuras 52 y 53). Tenga presente, que la altura de corte oscila de 1 a 3 cm de altura; y que en zonas no tractorables la guadaña manual es la mejor opción. Adicionalmente, recuerde que si el colchón está alto, se recomienda recogerlo para que el rebrote sea mejor.



Figuras 52 y 53. Corte a ras de suelo con guadaña de tractor.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

Ahora bien, si se tiene paralelamente un suelo compactado (por ejemplo en los primeros 20 cm de profundidad) y una pastura con un colchón estolonífero y/o rizomatoso (éste último en los primeros 15

cm de profundidad), se sugiere guadañar a ras de suelo y luego roturarlo verticalmente con un Escarificador de Cuchilla Lineal o también llamado Rotocultivador de Cuchilla Lineal (Figuras 54 y 55).



Figuras 54 y 55. Corte a ras de suelo con guadaña y roturación con Rotocultivador Lineal.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

En otro contexto, si se tiene un suelo compactado (por ejemplo en los primeros 20 cm de profundidad), pero sin un acolchonamiento estolonífero y/o rizomatoso, se puede roturar el suelo verticalmente con un Rotocultivador de Cuchilla Lineal (Figuras 56 y 57). En éste

caso no hay que guadañar el potrero a ras, ya que, para ésta situación, sólo se pretende mejorar la condición física del suelo. En caso de no disponer de dicho implemento, podría usarse un Cincel a menos profundidad de la recomendada para el implemento.



Figuras 56 y 57. Roturación con Rotocultivador de Cuchilla Lineal.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

De otro lado, si se tiene un suelo compactado (por ejemplo a más 20 cm de profundidad), y sin acolchonamiento estolonífero y/o rizomatoso, se puede roturar el suelo verticalmente con un “Renovador de Praderas” (Figuras 58 y

59), o utilizando un Cincel Rígido (Figuras 60 y 61) o un Cincel Vibratorio. En éste caso no hay que guadañar el potrero a ras, ya que, para ésta situación, sólo se pretende mejorar la condición física del suelo.



Figuras 58 y 59. “Renovador de Praderas”³

Fuente: <http://www.maquinariamontana.com/index.php/ganaderia/renovador-de-praderas> y efecto visual al usar el implemento. Fuente: Noreña Grisales J. M.

³ Aunque el implemento se llama “Renovador de Praderas” se debe aclarar que no cumple la función de renovar, dado que renovar es cambiar una cosa por otra, y el implemento sólo permite rehabilitar o recuperar una pradera degradada.

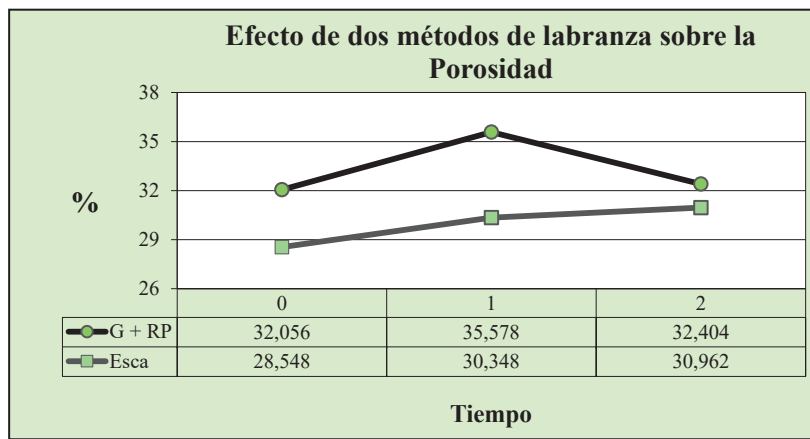
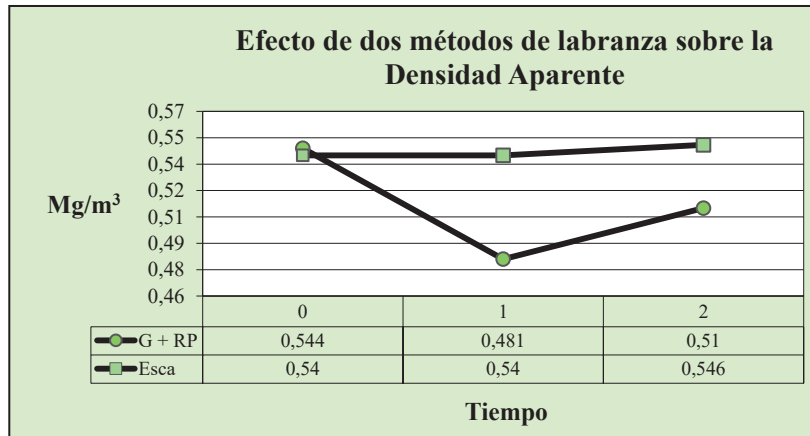


Figuras 60 y 61. Roturación con Cinzel Rígido y efecto visual al usar el implemento.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

En estudios realizados en la Estación Agraria Paysandú, ubicada en el corregimiento de Santa Elena (Antioquia) y adscrita a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Noreña y Galeano (2004), determinaron una mayor reducción en la densidad aparente entre el tiempo 0 y 1, cuando se guadañó a ras de suelo e inmediatamente se pasó el “Renovador de Praderas” (G+RP), que cuando sólo se mecanizó con el Rotocultivador ó Escarificador de Cuchilla Lineal (Esca). Lo anterior puede explicarse posiblemente porque el “Renovador de Praderas” genera un efecto abajo de 40 cm de profundidad, mientras que el Escarificador de Cuchilla Lineal lo hace entre 15-25 cm aproximadamente. No obstante, para los tiempos 1 y 2, el aumento observado en la **Da** (para ambos tratamientos), puede ser explicado posiblemente por el pisoteo ejercido por el ganado bovino durante el pastoreo, siendo más notorio en el tratamiento 1 (Figura 62). Y aunque no se afectó significativamente la porosidad, al usar (G+RP), el porcentaje fue levemente superior. Lo anterior puede estar correlacionado con la menor **Da** hallada en el mismo tratamiento (Figura 63).

En observaciones realizadas en campo, se ha logrado determinar que cuando una pradera, (es decir, el suelo más la pastura), presenta un nivel de degradación leve o medianamente bajo, en ella es posible no encontrar diferencias significativas con el uso del “Renovador de Praderas”, el Cinzel o el Rotocultivador de Cuchilla Lineal, mientras que, si en ésta se tiene un nivel de degradación medianamente alto o severo, se recomienda realizar cualquiera de las siguientes alternativas de rehabilitación: 1) Guadañar a ras de suelo luego de cambiar los animales del potrero; 2) La alternativa 1 + un pase con el “Renovador de Praderas”; 3) La alternativa 1 + un pase con un Cinzel; 4) La alternativa 1 + un pase con el Escarificador de Cuchilla Lineal. No obstante, en una pradera con un nivel de degradación medianamente alto a severo y compactación leve, se recomienda realizar preferiblemente la alternativa 4, pero si la degradación de la pradera es severa, es decir, acolchonamiento rizomatoso (a una profundidad mayor a 20 cm), y/o compactación profunda son mejores las alternativas 2 y 3.



Figuras 62 y 63. Efecto de dos métodos de labranza sobre la densidad aparente y la porosidad, respectivamente.

Fuente: Noreña y Galeano, 2004.

Cualquiera de éstas opciones busca favorecer la eficiencia en el uso de cales, enmiendas, fertilizantes químicos o el uso de porcinaza, con el objeto de que puedan llegar al horizonte de raíces y ser absorbidos por las plantas, y por el contrario, no afectar cuerpos de agua, en especial, por procesos de escorrentía.

En otro escenario (zonas no tractorables), pueden utilizarse varias opciones, que van desde el uso de herramientas tradicionales, como machete (con el que se hacen cortes a ras de suelo), azadón, barra, pala y palín (con los que pueden hacerse aberturas verticales

en el suelo, simulando el efecto que produce un equipo de roturación vertical), hasta el uso de implementos como la guadaña manual, motocultores y equipos de tracción animal que se van transformando en el tiempo por las empresas que los desarrollan.

Una nueva herramienta, derivada en apariencia del azadón tradicional, es la que se conoce como Azada Manual Bidentada (Figura 64). Los productores campesinos la llaman “La Mueca”, y sirve para podar raíces, airear el suelo, oxigenarlo, descompactarlo y rehabilitar praderas acolchonadas para que penetren más fácil los fertilizantes, enmiendas y abonos orgánicos, lo que favorece la respuesta productiva del cultivo.

El instrumento se acopla en un palo de madera igual que un azadón. Tiene dos dientes de 15 centímetros de largo en forma triangular, lo que les permite salir fácilmente del suelo una vez se hunde. Su uso es bastante simple: se clava como quien utiliza un azadón y se palanquea hacia arriba suavemente para sacarlo, de modo que abra pequeñas grietas en el suelo y no surcos

completos, significando esto, que no se invierte la capa arable. Se sugiere introducir de 5 a 9 veces por metro cuadrado, y puede usarse sola, es decir, luego de que salga el ganado del potrero (Figura 65), o después de guadañarlos a ras de suelo (Figura 66). En síntesis, es ideal para terrenos de alta pendiente donde no se puede introducir maquinaria pesada.



Figuras 64, 65 y 66. Azada Manual Bidentada "La Mueca" y efectos visuales al usar el implemento.

Fuente: Noreña Grisales J. M.

En síntesis, para una respuesta positiva de la condición productiva del cultivo, se requiere del uso de estrategias que permitan corregir la degradación de la especie vegetal, así como, de las propiedades físicas del suelo que estén por fuera de los valores o rangos deseables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACP-Asociación Colombiana de Porcicultores, CORNARE, CORANTIOQUIA (1996). Manejo de elementos de la producción porcina que pueden causar efectos ambientales. Edición: Comité Operativo del Convenio de Concertación para una Producción Más Limpia entre el sector Porcícola y Ambiental del Departamento de Antioquia. p. 155
- Arshad, M. A., Lowery, B. & Grossman, B. (1996). Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, J. W., & Jones, A. J. (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, W. I., p. 123-142
- Atlas, R., & Bartha, R. (1997). Microbial Ecology. Addison Wesley Longman, New York.
- Azam, F., & Memom, G. H. (1996). Soil organisms. In: Bashir E and Bantel R (ed.) Soil science. National Book Foundation, Islamabad, p. 200-232
- Azcon, C., & Barea, J. M. (1996). Interactions of arbuscular mycorrhiza with rhizosphere microorganisms. In: Guerrero, E. (ed.) Mycorrhiza: Biological soil resource. FEN, Bogotá, Colombia, pp. 47-68
- Baena, V., & Baena, M. A. (1989). Nuestro pueblo Donmatías. Seg. Ed. Litoarte Ltda. Medellín, Colombia. p. 220
- Barber, S. A. (1995). Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. John Wiley and Sons, New York.
- Bar-Yosef, B., Rogers, R. D., Wolfram, J. H., & Richman, E. (1999). Pseudomonas cepacia-mediated rock phosphate solubilization in kaolinite and montmorillonite suspensions. Soil Science Society of America Journal, 63:1703-1708
- Bashan, Y., & Holguin, G. (1998). Proposal for the division of Plant Growth Promoting Rhizobacteria into two classifications: Biocontrol-PGPB and PGPB. Soil Biology and Biochemistry, 30:1225-1228
- Bashan, Y., Rojas, A., & Puente, M. E. (1999). Improved establishment and development of three cactus species inoculated with Azospirillum brasilense transplanted into disturbed urban desert soils. Canadian Journal of Microbiology, 45:441-451
- Bass, R. (1990). Effects of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphate uptake of *Plantago major* spp. pleiosperma. Plant and Soil, 124:187-193.
- Baver, L. D.; Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1973). Física de suelos. Primera edición en español. U.T.E.H.A. México, p. 529
- Bernal E., J., & Espinosa, J. (2003). Manual de nutrición y fertilización de pastos. IPNI (International Plant Nutrition Institute), p. 100
- Bolan, N. S. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant and Soil 134:189-207.
- Bolan, N. S., Naidu, R., Mahimairaja, S., & Baskaran, S. (1994). Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. Biology and Fertility of Soils, 18:311-319.
- Bowen, G. D., & Rovira, A. D. (1999). The rhizosphere and its management to improve

- plant growth. *Advances in Agronomy*, 66:1-102
- Bowles, J. E. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos*. Primera edición en español. McGraw - Hill. Bogotá, p. 491
- Boyd, W. (1995). La experiencia de Estados Unidos. En: *Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario*. Consejo Mexicano de Porcicultura, A. C. Cocoyoc, México, marzo 6-9 (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (1999). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J.
- Bray, R. H. (1958). The correlation of phosphorous soil test with response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Sci Soc Am Proc* 22:314-317
- Buol, S., Hole, F. D., McCracken, R. J., & Southard, R. J. (1997). *Soil Genesis and Classification*. Iowa State University Press, Ames.
- Cadavid M., L. J. (1983). Mejoramiento de la fertilidad del suelo en base a residuos de porquerizas. En: *Suelos Ecuatoriales*, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, p. 82-93
- Castillón, P. (1993). Valoración agronómica de las deyecciones de los animales. En: *Residuos Ganaderos - Jornadas técnicas*. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición. p. 131-141
- Chanway, C. P. (1997). Inoculation of tree roots with plant promoting soil bacteria: an emerging technology for reforestation. *Forest Science*, 43 (1):99-112
- CMP. (1995). *Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario*. Consejo Mexicano de Porcicultura, A. C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Corredor, A. (2007). *Dependencia micorrizal de curuba y granadilla*. Tesis de grado Biología, U de A, Medellín.
- Cortés, A., & Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, p. 360
- De Santiago B., C. sf. *Propiedades físico-químicas de los suelos. Técnicas de análisis*. Laboratorio de Geotécnia, p. 41
- Del Río Moreno, J. L. (1996). El cerdo. Historia de un elemento esencial de la cultura castellana en la conquista y colonización de América (siglo XVI). *Anuario de estudios americanos*, 53 (1), 13-35
- Duchaufour, P. H. (1965). *Précis de pédologie*. Tercera edición. París Masson, p. 482
- El Colombiano, (1995). *Materia orgánica porcina, causa de alarma en Donmatías*. Septiembre 3, p. 12E.
- Foth, H. D., & Ellis. B. G. (1996). *Soil fertility*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Frankenberg WT, Arshad M (1995). *Phytohormones in soils: microbial production and function*. Dekker, New York.
- Geohring, L. D., & Van Es H. M. (1994). *Soil hydrology and liquid manure applications*. In: NRAES, 1994. *Liquid manure application systems. Design, Management and Environmental Assessment*. Proceedings from the liquid manure application system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension. p. 166-174
- Giraldo, S. O., & SA, D. T. T., (2003). *Fertilización con excreta porcina: soporte técnico, bondades, riesgos, cálculo del plan de fertilización. Recomendaciones sobre el uso de estiércol porcino y su problemática ambiental*.

- Glass, A. (1989). *Plant Nutrition. An introduction to current concepts.* Jones and Bartlett Publishers, Boston.
- Go, Anthony, (1995). La experiencia de Singapore. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Gómez G., L. J. (1990). Apuntes para una historia de la producción animal. Universidad de Antioquia, Dpto. de Publicaciones, 1ra. Ed. Medellín, Colombia. p. 122
- Gómez G., M. (1995). "Marranada" orgánica le quita el aire a Donmatías. *El Tiempo*, Mayo 12, p. 14c.
- González, L. A. (2015). Uso estratégico de la porcínaza en biofertilización de pastos. Universidad de Caldas, Manizales, Tesis doctoral.
- Graham, P. H. (1999). Biological dinitrogen fixation: symbiotic. In: Sylvia D, Fuhrmann J, Hartel P, Zuberer D. (ed.) *Principles and Applications of Soil Microbiology.* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 322-368
- Guerrero, R. (1995). Fertilización de cultivos de clima medio. *Monomeros Colombo Venezolanos S.A. (E.M.A.). Segunda edición*, p. 262
- Guerrero, R. (1996). Fertilización de cultivos de clima cálido. *Monomeros Colombo Venezolanos S.A. (E.M.A.). Cuarta edición*, p. 313
- Guía ambiental para el subsector porcícola, (2002). Ministerio del Medio Ambiente, Sociedad de Agricultores de Colombia, Asociación Colombiana de Porcicultores, p.102
- Habte, M., & Manjunath, A. (1991). Categories of vesicular-arbuscular dependency of host species. *Mycorrhiza* 1:3-12
- Havlin, J. J., Beaton, S. L., Tisdale, S., & Nelson, W. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to nutrient management.* Prentice Hall, Upper Saddle River, N. J.
- Huber, D., Joem, B., Jones, D., Sutton, A., Healy, J., McCloud, P., & Wilcox, J. (1994). Swine manure management planning. *Purdue University Cooperative Extension Service, Indiana Soil Conservation Service. West Lafayette, USA. ID-205.* USA. p. 28
- Hue, N. V. (1991). Effects of organic acids/ anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science*, 152:463-471
- ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. *Produmedios*, Santafé de Bogotá.
- IGAC (1983). Estudio semidetallado de suelos del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Carimagua (ICA-CIAT), departamento del Meta (Colombia), p. 287
- Ingham, E. (1999). Protozoa and nematodes. In: Sylva D, Furhmann JF, Harte PG, Zuberer DA (eds) *Principles and applications of soil microbiology.* Prentice Hall, New Jersey, pp. 114-131
- Jaramillo, D. F. (1997). Variabilidad espacial de suelos. En: Osorio W. (ed) *Diagnóstico Químico de la Fertilidad de Suelos.* Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Medellín, pp. 167-188
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo.* Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, p. 613
- Jaramillo, D. F. (2011). *El Suelo: origen, propiedades, espacialidad.* 2da. Edición. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p. 553
- Jaramillo, D. F., Parra, LN., & González, L. H. (1994) *El recurso suelos en Colombia.*

- Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p. 80
- Jaramillo, S. (2006). Dependencia micorrizal del cafeto cv. Colombia y Caturra. 2006. Tesis de Maestría en Biotecnología, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Kaurichev, I. S. (1984). Prácticas de edafología. Primera edición en español. Ed. Mir. Moscú, p. 280
- Kim, K. Y., Jordan, D., McDonald, G.A. (1998). Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. *Biology and Fertility of Soils*, 26:79-87
- Kim. K. Y., McDonald G. A., & Jordan, D. (1997). Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escherichia coli* in culture medium. *Biology and Fertility of Soils*, 24:347-352
- Kopler, J., Lifshitz, R., & Schroth, M. (1988). *Pseudomonas* inoculants to benefit plant production. *Isi atlas of science, animal and plant sciences*, 1:60-64.
- Kucey, R. (1983). Phosphate solubilising bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 63:671-678
- Kuenen, J. G., & Robertson, L.A. (1994). Combined nitrification-denitrification processes. *FEMS Microbiological Reviews*, 15:109-117
- Lazarovitz, G., Nowak, J. (1997). Rhizobacteria for improvement of plant growth and establishment. *Hort Science*, 32:188-192
- León, J. D. (2007). Contribución al conocimiento del ciclo de nutrientes en bosques montanos naturales de *Quercus humboldtii* y reforestados (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) de la región de Piedras Blancas, Antioquia (Colombia). Tesis doctoral, Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, Salamanca, España.
- Lindsay, W. L. (2001). *Chemical equilibria in soils*. John Willey and Sons. New York.
- Lopera, Q. G. (1990). Investigación bibliográfica sobre estiércol de cerdo. Informe final. Tecniagro S.A. Medellín, Colombia, p. 141
- MAFF. (1991). Code of good agricultural practice for the protection of water. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department. London, p. 80
- MAFF. (1993). Code of good agricultural practice for the protection of soil. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Welsh Office Agriculture Department. London, p. 55
- Malavolta. E. (1994). Diagnóstico foliar En: Silva F (ed.) *Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, pp. 57-98
- Marschner. H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. In: Robson AD, Abott LK, Malaccjuk N (eds). *Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry*. Academic publishers, the Netherlands, pp. 89-102
- Martínez, J. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p. 162
- Meadows, H. D., Meadows, D. L., & Randers, J. (1994). Más allá de los límites del crecimiento. Ed. El País S.A., Aguilar S.A., Madrid. Tercera edición., p. 355. Trad. del Ingles por C.A. Schwartz.

- Meeus-Verdinne, K., & J. P. Destain, J. P. (1993). Contaminación de los suelos por los desechos de la cría de ganado. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición, p. 25-36
- Mercado, E. (1989). Requerimientos de agua de los cultivos y principios básicos de diseño. En: Curso sobre actualización en sistemas de riego. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, pp. 56-147
- Miyasaka, S. C., Habte, M. (2001). Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 32:1101-1147
- Miyasaka, S. C., & M. Habte. (2001). Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32:1101-1147
- Montenegro, H., & D. Malagón. (1990). Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá, p. 813
- Montoya, B. (2007). Dependencia micorrizal del aguacate. Tesis de Maestría en Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Moser, M. A. (1995) - A. Programas de fertilización con excretas porcinas sin procesar. Conferencia presentada en el: Seminario Internacional Alternativas en Producción y Comercialización para la Porcicultura. Agroexpo 95. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Asociación Colombiana de Porcicultores. Bogotá. Grabación transcrita, Sin pie de imprenta.
- Moser, M. A. (1995) - B. Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. Intervención en Mesas de Trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Moser, M. A. (1996). Estiércol de cerdo: recolección, tratamiento y uso como fertilizante para cultivos. *Porcicultura Colombiana*. No 41, En. - Feb., p. 11-19
- Muñoz A., R. (1983). Uso de residuos de origen animal en la producción de cultivos. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, p. 94-104
- Noreña G., J. M. (2011). Rehabilitación de praderas degradadas de Kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. con equipos de labranza vertical. *Revista Colanta Pecuaria*, Edición N° 33, pp. 29-38
- Noreña G., J. M., & Galeano M., H. A. (2004). Efectos del renovador y el escarificador en praderas degradadas de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.). Trabajo de grado Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, p. 28
- NRAES - Northeast Regional Agricultural Engineering Service. (1994). Liquid manure application systems, Design, Management and Environmental Assessment. Proceedings from the liquid manure application system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension, p. 220
- Olsen, S. R., & Khasawneh, F. E. (1980). Uses and limitations of physical chemical criteria for assessing the status of phosphorous in soils. In: Khasawneh FE (ed.) *The role of phosphorous in agriculture*. Am Soc Agr, Madison, WI, pp. 301-404
- Orozco, P., F. E. (1983). Uso de la porcínaza como materia orgánica para los suelos. En: II Curso Internacional de Porcicultura. Medellín, Colombia. COLVEZA.

- Orrego Giraldo, S. (s.f). Recomendaciones sobre el uso de estiércol porcino y su problemática ambiental, p. 45
- Osorio V., N. W. (2002). Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo en suelos de Hawaii. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Osorio V., N. W. (2008). Effectiveness of microbial solubilization of phosphate in enhancing plant phosphate uptake in tropical soils and assessment of the mechanisms of solubilization. Ph. Dissertation, University of Hawai'i, Honolulu.
- Osorio V., N. W. (2011). Effectiveness of Phosphate Solubilizing Microorganisms in Increasing Plant Phosphate Uptake and Growth in Tropical Soils, 65-80 pp. In: Maheshwari DK(ed). Bacteria in Agrobiolgy: Plant Nutrient Management (Volume III). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 345
- Osorio V., N. W. (2015). Manejo de Nutrientes en Suelos del Trópico. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p. 339
- Osorio V., N. W., & Habte, M. (2001). Synergistic influence of an arbuscular mycorrhizal fungus and P solubilizing fungus on growth and plant P uptake of *Leucaena leucocephala* in an Oxisol. Arid Land Research and Management, 15:263-274
- Osorio V., N. W., & Habte, M. (2015). Effect of a phosphate-solubilizing fungus and an arbuscular mycorrhizal fungus on leucaena seedlings in tropical soils with contrasting phosphate sorption capacity. Plant and Soil, 389 (1-2):375-385
- Paul, E. A., & Clark, F. E. (1989). Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, New York, pp. 49-73
- Peralta, J. M. (2005). Recomendaciones técnicas para la gestión ambiental en el manejo de purines de la explotación porcina. *Colección Libros INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, (18).
- Piva, G., Prandini, A., & Mortiacchini, M. (1993). La alimentación como medio para reducir la acción contaminante de las deyecciones porcinas. *Residuos Ganaderos-Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos SA Primera edición. P, 119-129.*
- Plenchette, C., Fortin, J. A., & Furlan, V. (1983). Growth response of several plant species to mycorrhiza in a soil of moderate P fertility. *Plant Soil*, 70:199-209
- Po, C. (1995). Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. Intervención en mesas de trabajo. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Prescott, L., Harley, J., & Klein, D. A. (1999). *Microbiology*. McGraw-Hill, Boston.
- Pulgarín, N. S. & Molina J. J. (2000). Ajuste de la aplicación de porquinaza a partir de la determinación de nitritos y nitratos en aguas superficiales. Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, p, 65
- Rahman, M. K., Parsons, J. W. (1997). Effects of inoculation with *Glomus mosseae*, *Azorhizobium caulinodans* and rock phosphate on the growth of and nitrogen and phosphorus accumulation in *Sesbania rostrata*. *Biology and Fertility of Soils*, 25:47-52
- Rankin, R. L. (1993). An economic evaluation of two waste management systems - A relative profitability study comparing slurry tank-injection systems to lagoon-irrigation systems. Thesis, Master of Science in Veterinary Medical Science, University of Illinois, Urbana-Champaign, p. 99

- Rao, S. (1992) .Biofertilizers in Agriculture. El Sevier publishing, Amsterdand.
- Rawls, W. J. (1983). Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. *Soil Science*, 135 (2): 123-125
- Robertson, A. M. (1977). *Farm Wastes Handbook*. Publ. by the Scottish Farm Buildings Investigation Unit, Aberdeen, p. 114
- Rojas E., A., & R, Lora. (1992). Fertilización en diversos cultivos - Quinta aproximación. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, Subgerencia de Investigación, Sección Recursos Naturales. Santafé de Bogotá. Manual de Asistencia Técnica No. 25, p. 73
- Rokade, S. M., & Patil, P. (1993). Phosphate solubilizing microorganisms. A review. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 18(1):93-101
- Roos, W., & Luckner, M. (1984). Relationships between proton extrusion and fluxes of ammonium ions and organic acids in *Penicillium cyclopium*. *Journal of General Microbiology*, 130:1007-1014
- Rosss, K. (1995). Impacto ambiental de las excretas porcinas. En: Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Sin pie de imprenta).
- Sánchez, A. P. (1981). Suelos del trópico. Características y manejo. Trad. E. Camacho. IICA. San José, Costa Rica, p. 634
- Scher, F. M. (1986). Biological control of Fusarium wilts by *Pseudomonas putida* and its enhancement by EDDA. In: Swinburne T (ed.) Iron, siderophores, and plant diseases. Plenum, New York, pp. 109-117
- Segarra, J. (1983). Utilización y manejo de los lodos de aguas residuales urbanas con fines agrícolas. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, p. 151-173
- Segarra, J. (1996). Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como abono y sustrato. Seminario internacional. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Regional Antioquia, Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). (1998). Keys to soil taxonomy. 8ª. Ed. USDA. Washington D. C., p. 326
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). (1999). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2 a. Ed. Agriculture Handbook N° 436. USDA. Washington D. C., p. 869
- Soliva, T., M. (1993). Metodología analítica y expresión de resultados. En: Residuos Ganaderos - Jornadas Técnicas. Fundación "la Caixa", Barcelona; Editorial Aedos S.A. Primera edición, p. 106-117
- Sposito, G. (2008). The Chemistry of Soils, 2da. edición. Oxford University Press, New York.
- Sreenivasa, M., & Krishnaraj, M. (1992). Synergistic interaction between VA mycorrhizal fungi and a phosphate solubilizing bacterium in chili. *Zentralblatt fur mikrobiologie*, 147:126-130
- Stevenson, F. J. (1986). Cycles of soil. John Wiley and Sons, New York.
- Sutton, A. L., Jones, D. D., Joern, B. C., & Huber, D. M. (1994). Animal manure as a plant nutrient resource. *ID (Purdue University Cooperative Extension Service)(USA)*.
- Sylvia, D. (1999). Mycorrhizal symbioses. In: Sylvia D, Fuhrmann J, Hartel P, Zuberer D (eds) Principles and Applications of Soil

- Microbiology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 408-426
- Taiganides, E. P. (1992). Pig Waste management and recycling. The Singapore experience. International Development Research Centre. Canadá, p. 368
- Toro, M., Azcon, R., & Herrera, R. (1996). Effects on yield and nutrition of mycorrhizal and nodulated *Pueraria phaseolides* exerted by P-solubilizing rhizobacteria. *Biology and Fertility of Soils*, 21:23-29
- Torsvik, V., Salte, K., Sorheim, R., & Goksoyr, J. (1990). Comparison of phenotypic diversity and DNA heterogeneity in a population of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56:776-781
- Turco, R. F. (1994). Microbial indicators of soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (eds) *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA and ASA, Madison, pp. 73-90
- Uribe, F. (1996). Director Operativo Secretaría de Agricultura de Antioquia. Comunicación personal.
- USDA. (2014). Soil Survey Staff. En: (<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/taxonomy/>).
- Van, Aspert. (1995). Aspectos de excretas porcinas en europa. En: *Manejo de aguas residuales y excretas porcinas en México - Seminario*. Consejo Mexicano de Porcicultura, A.C. Cocoyoc, México, marzo 6-9. (Grabación transcrita, sin pie de imprenta).
- Veenhuizen, M. A., Eckert, D. J., Elder, K., Johnson, J., William, F. L., Manel, K. M., & Schnitkey, G. (1992). *Ohio Livestock manure & wastewater management guide*. The Ohio State University, USA, p. 79
- Weeks, S.A. (1994). Livestock manure systems for the 21st century: A systems perspective. In: NRAES. *Liquid manure application systems. Design, Management and Environmental Assessment*. Proceedings from the liquid manure application system conference. Rochester, New York. Northeast Regional Agricultural Engineering Service - Cooperative Extension, p. 6-9.
- Whitelaw, M. A. (2000). Growth Promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, 69:99-151
- Zapata, R. (2006). *Química de los procesos pedogenéticos*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, p. 358
- Zapata, R. (1997). Fundamentos químicos para evaluar la fertilidad del suelo. En: Osorio W (ed) *Diagnóstico Químico de la fertilidad del suelo*, SCCS, Medellín, pp. 1-12
- Zuberer, D. A. (1999). Biological dinitrogen fixation: introduction and non-symbioti., In: Sylvia D, Fuhrmann J, Hartel P, Zuberer D (eds) *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, pp. 295- 321

VOCABULARIO

Afluyente: en hidrología, corresponde a un curso de agua que no desemboca en el mar, sino en otro cuerpo de agua más importante, con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

Aguas subterráneas: es agua que se infiltra a través de las grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo.

Bioabono: fertilizante o enmienda orgánica utilizada para mejorar las características de fertilidad de un suelo.

Buenas prácticas Agrícolas: conjunto de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola, haciendo énfasis en la inocuidad del producto y la reducción de los riesgos de impacto negativo sobre el ambiente y la salud pública.

Compostaje: tratamiento aeróbico que convierte los residuos orgánicos, por medio de la acción de microorganismos, esencialmente bacterias y hongos, en una fuente de abono orgánico estable.

Cuerpos de agua: son las diferentes formas de agua encontradas en la naturaleza, ya sean, aguas superficiales, subterráneas, marinas o casquetes polares.

Explotación: establecimiento dedicado a la producción de una especie animal, que consta de una o más unidades físicas, organizado bajo un mismo sistema productivo y administrativo.

Granjas Porcinas: son unidades de producción pecuaria, con instalaciones, dedicadas a la crianza intensiva de cerdos con fines comerciales, para el beneficio o reproducción.

Inocuidad de los alimentos: es la garantía de que los alimentos no causen daño al consumidor cuando se preparen y/o consuman de acuerdo con el uso a que se destinan.

Limpieza: es la eliminación de tierra, restos de alimentos, suciedad, grasa u otras materias objetables o ajenas al producto e instalaciones del predio.

Plan de fertilización con porcino: plan de manejo de las excretas en el que se utilizan como fuente de nutrientes en diversos cultivos, según las necesidades de cada uno.

Porcino: son el producto de las deyecciones de los cerdos, formada por heces fecales y orina mezcladas con el material utilizado como cama, residuos de alimento, polvo, otras partículas y una cantidad variable de agua proveniente de las labores de lavado y pérdidas desde los bebederos.

Sanitización: reducción del número de microorganismos presentes en el ambiente o en material específico, por medio de agentes químicos y/o agentes físicos, a un nivel que no comprometa la inocuidad o la aptitud del alimento.

Vertimientos: es cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado. En otras palabras, es la disposición controlada o no de un residuo líquido doméstico, industrial, urbano, agropecuario, minero.



Este manual recopila información de experiencias de campo e investigación, referente al uso racional de la porcínaza bajo una perspectiva de gestión ambiental, y bajo un marco que involucra la participación activa de autoridades ambientales, sectores productivos y la parte académica (en especial, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). Lo que lo convierte en un valioso instrumento de orientación técnica, especialmente para el productor porcícola, dado que integra diferentes conceptos, cálculos, metodologías y estrategias de manejo, que permiten establecer los principios básicos respecto al aprovechamiento eficiente de la porcínaza como biofertilizante en el agro colombiano, y que por ende contribuye al progreso económico de los sistemas de producción agropecuarios nacionales, encaminándolos hacia un horizonte de mayor sostenibilidad y competitividad en un mundo agrario cada vez más globalizado. 