

MEMORIAS

III Encuentro Nacional de AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Futuro agroempresarial de la agricultura tropical



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria



SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO



INTERNATIONAL CENTER FOR TROPICAL AGRICULTURE
CENTRO INTERNACIONAL PARA LA AGRICULTURA TROPICAL

6 al 8 de junio de 2007
Villavicencio, Meta, Colombia

COMPILADORES

Samuel Caicedo Guerrero

Carmen Rosa Salamanca Solís

César Augusto Jaramillo Salazar

Gabriel Romero Caicedo



ENTIDADES ORGANIZADORAS



CT CASA TORO SA



JOHN DEERE



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO



CÁMARA
DE COMERCIO
DE VILLAVICENCIO
Construyendo Región

Instituto Departamental de
Cultura
Meta

III Encuentro Nacional de AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

COMITÉ ORGANIZADOR

Samuel Caicedo Guerrero
Cármel Rosa Salamanca Solís
César Augusto Jaramillo Salazar
Nora Cubillos Quintero
CORPOICA C.I. La Libertad

Gabriel Romero Caicedo
Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo
Comité Regional Llanos Orientales

Jaime Gómez Naranjo
CIAT

Diego Cifuentes Minnig
Casa Toro S.A. John Deere

Rafael Enrique Carpintero B.
UNILLANOS

Santiago Silva
SENA

Fernando A. Murillo R.
**Secretario de Agricultura, Ganadería
y Desarrollo Rural. Meta.**

Guillermo Reina Moreno
Sector productivo



Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural,
Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial



PRESENTACIÓN

En abril de 1998, y en octubre de 2003, se realizó el I y II Encuentro de Agricultura de Conservación. En ésta oportunidad, continuando con ese compromiso asumido por investigadores y dirigentes regionales del departamento del Meta, se realiza éste Encuentro, trascendiendo del concepto de laboreo del suelo a un proceso más integral de la explotación agropecuaria, en el cual siempre se han considerado las experiencias regionales, nacionales e internacionales.

Aunando esfuerzos entre la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA C.I. La Libertad, la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo-SCCS, el Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT, la Universidad de los Llanos-Unillanos, el Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, John Deere, Casa Toro S.A., la Gobernación del Meta, el Instituto departamental de Cultura del Meta y con el apoyo de varias entidades y la empresa privada se logró concretar la realización del "III ENCUENTRO NACIONAL DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. Futuro agroempresarial de la agricultura tropical".

Para el desarrollo del certamen se definieron tres temas principales: AGRICULTURA DE PRECISION, AGROENERGIA y AGRICULTURA DE CONSERVACION, donde se realizarán 54 presentaciones y un panel de expertos, producto de investigaciones realizadas y experiencias obtenidas en diferentes localidades de Colombia y otros países, en la modalidad de conferencias magistrales, temáticas y de póster.

Se desarrollarán 23 intervenciones de carácter magistral presentadas por investigadores

y directivos de institutos internacionales, nacionales y gremios como: INTA de Argentina, International Plant Nutrition Institute, IPNI del Ecuador, Asesores líderes e integrales para la agricultura y el desarrollo S.A. Alia 2-Ecuador, John Deere Latinoamérica, CIAT, Clayuca, Cenicaña, Cenipalma, Federación Nacional de Biocombustibles, Corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción-CORPODIB, Procaña, Acopaneleros, Universidad Nacional de Colombia, CIPAV, SENA, ICA, CORPOICA, FEDEARROZ y la Gobernación del Meta.

Además, serán presentados resultados de 31 trabajos de investigación, en la modalidad de conferencias oral y en poster, realizadas por diferentes instituciones, entre las que se encuentran: Universidad Nacional de Colombia, Universidad de Caldas, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales-UOCA, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC, CIAT, Corpoca, Cosechar S.A., Fedearroz. Igualmente se darán a conocer los avances de los proyectos bionergéticos que se realizan en el Meta como: Biocastilla, Proyecto La Balsa, Canta Claro-Petrotesting, entre otros.

Gracias a éste esfuerzo mancomunado y al apoyo de la institucionalidad, se presentan los avances tecnológicos alcanzados por la ciencia, cual era el compromiso de la organización. Esperamos que este esfuerzo contribuya con la consolidación de la región de los Llanos Orientales como el "Futuro Agroempresarial de la agricultura Tropical".

COMITÉ ORGANIZADOR



INTRODUCCIÓN

Ante la internacionalización de la economía, bajo un contexto globalizado y de nuevas condiciones de mercado, el sector agropecuario afronta cada día mayores retos para ser competitivo, con la responsabilidad de conservar o recuperar los recursos naturales. Con esta realidad, los procesos de producción dependen cada vez más de la tecnología, plataforma fundamental para el desarrollo de una región o un país.

Como un nuevo instrumento de competitividad surge la agricultura de precisión, tecnología de información con base en el posicionamiento satelital, que consiste en obtener datos georreferenciados para conocer la variabilidad de rendimiento, expresado por los cultivos en diferentes sitios. Herramienta que permite satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna, cual es el manejo óptimo de la producción, tecnología que puede ser adoptada por grandes, medianos y pequeños productores.

Como consecuencia de los altos precios del petróleo y el agotamiento de las fuentes convencionales de combustibles fósiles, se crea la necesidad de diversificar las fuentes de energía. Es así como, la Agroenergía se convierte en un área del conocimiento prioritaria para impulsar el desarrollo en el ámbito regional, nacional e internacional.

La agricultura de conservación en cultivos transitorios y perennes, ofrece alternativas tecnológicas para un manejo adecuado de los recursos naturales y del agroecosistema. Los temas de interés en esta área se han centrado en la recuperación y conservación del

suelo, la biorremediación, biofertilización, el control biológico y la integración agrícola-pecuaria, entre otros. Además, dentro de las estrategias innovadoras se cuenta en la actualidad, con las opciones de Compensación por Servicios Ambientales, por lo cual se plantea incursionar en el tema con toda su complejidad. Por otra parte, se hace necesario asumir los nuevos conceptos de producción sostenible enmarcados en las Buenas Prácticas Agrícolas hacia la búsqueda de competitividad y bienestar social.

Para disertar en los temas anteriores la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, SCCS, el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT y la Universidad de los Llanos, con el apoyo de la Gobernación del Meta, del Instituto de Departamental de Cultura del Meta, de varias entidades y la empresa privada, se unieron para realizar el "III ENCUENTRO NACIONAL DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN" y como lema "Futuro agroempresarial de la agricultura tropical". Evento que se llevará a cabo en los Llanos Orientales de Colombia, región considerada como el más importante escenario del país para el desarrollo agrícola, pecuario, forestal y energético.

Como antecedente, en ésta región se han realizado dos Encuentros (abril de 1998 y octubre 2003) caracterizados por la presentación y discusión de investigaciones y propuestas, para mejorar las prácticas de manejo de los sistemas agropecuarios, buscando siempre una mejor adaptación al ambiente y una mayor adopción por los productores.



CONTENIDO

RESÚMENES

Agricultura de Conservación

MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES Pág. 12

Hugo E. Castro Franco; Oscar E. Munévar García. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC. Tunja.

PRODUCTIVIDAD DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS, EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTE LLANERO COLOMBIANO Pág. 14

Álvaro Rincón Castillo, investigador Corpoica C.I La Libertad; G. A. Ligarreto, Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BIOCONTROLADORES Y SUSTANCIAS ORGÁNICAS PARA EL CONTROL DE *Rhizoctonia Solana* EN ARROZ Pág. 15

Marcela Quintero Ruiz; Olga Lucia Higuera Acosta. FEDEARROZ.

DINÁMICA DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UNIDADES DE EXPLOTACIÓN FRUTÍCOLA, DEFINIDAS A PARTIR DE ZONAS AGRO ECOLÓGICAS. Pág. 16

Luis Fernando Limas Cano, Investigador Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA; Luis Joel Martínez, Docente investigador Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS HELADAS QUE AFECTAN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LOS MUNICIPIOS DE SIACHOQUE, TOCA Y ÚMBITA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ Pág. 17

Carmenza Pérez Fagua; Alvaro E. Alvarado Gaona, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Tunja.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INOCULACIÓN A SEMILLA CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DEL ARROZ Pág. 18

Marcela Quintero Ruiz; Olga Lucia Higuera Acosta. FEDEARROZ.

MANEJO Y DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE REGIONES TROPICALES Pág. 19

César Augusto Colorado. Asesor-Consultor-Investigador



**REHABILITACIÓN AGRÍCOLA DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS
EN EL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE**

Pág. 20 

Dilsa Maribel Hernández Fonseca; Hugo Eduardo Castro Franco. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC, Tunja.

RESPUESTA DEL ARROZ A LA APLICACIÓN DE SILICIO Y ZEOLITA

Pág. 21 

Gabriel Fernando Pardo Becerra. COSECHAR LTDA, AGROMIL

**EFICACIA DE LA CEPA ICA-J-96 DE BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM, EN NUEVAS
VARIETADES DE SOYA EN LA ALTILLANURA COLOMBIANA.**

Pág. 22 

Carmen Rosa Salamanca Solís; Margarita Ramírez Gómez. Investigadoras CORPOICA

**CONTRIBUCION DE LAS MICORRIZAS EN EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS
AGROECOSISTEMAS DE PLATANO Y YUCA, DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, META,
COLOMBIA.**

Pág. 23 

Carmen Rosa Salamanca Solís. investigadora CORPOICA; Cesar Augusto Cano Saavedra. Asesor Particular

**PATRONES PROMISORIOS PARA EL CULTIVO DE LA MANDARINA ARRAYANA (*Citrus
reticulata* Blanco) EN EL PIEDEMONTE DEL META**

Pág. 24 

Javier Orlando Orduz Rodríguez. Investigador CORPOICA.

**EVALUACIÓN DE CUATRO VARIETADES DE AGUACATE (*Persea americana* Millar) EN
SUELOS DE LA TERRAZA ALTA DEL PIEDEMONTE DEL META (1998 – 2007)**

Pág. 25 

Javier Orlando Orduz Rodríguez. Investigador CORPOICA

**PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL
ESTABLECIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS PARA RENOVAR
PRADERAS, EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTE LLANERO COLOMBIANO**

Pág. 26 

Álvaro Rincón Castillo, investigador Corpoica C.I La Libertad; G. A. Ligarreto,
Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

**DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A LA AGRODIVERSIDAD Y MEJOR
CUIDADO DE LA TIERRA. UN ENFOQUE INTEGRADO PARA LA CONSERVACIÓN DE
SUELOS EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES**

Pág. 27 


Franco H. Obando-Moncayo

RESÚMENES

Agricultura de Precisión

Pág. 28 

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIDAD POR SITIO ESPECÍFICO EN UN
CULTIVO COMERCIAL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ.**

César Salamanca; Fabio R. Leiva; Laureano Guerrero. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Pág. 28 





METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA APTITUD DE LAS TIERRAS EN FRUTALES CADUCIFOLIOS, COMO UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LA TIERRA Y EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN, BASADO EN CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESPACIAL Pág. 30

Luis Fernando Limas Cano. Investigador Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UCA; Luis Joel Martínez. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

COMPORTAMIENTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO Pág. 31

Jesús H. Camacho-Tamayo. Docente Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; Carlos Luengas y Fabio R. Leiva. Universidad de Cundinamarca.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS. ESTACIÓN TALUMA. Pág. 32

Alba Lucia Montoya; Yolanda Rubiano S.; Andrés J. Peña Q. Universidad Nacional de Colombia. Edgar Amézquita. CIAT.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS (ESTACIÓN TALUMA). Pág. 33

Julio Cesar Moreno. UNILLANOS; Yolanda Rubiano S.; Andrés J. Peña Q. Universidad Nacional de Colombia; Jaime Bernal R. Investigador CORPOICA.

MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO POR SITIO ESPECÍFICO EN PAISAJES PRODUCTIVOS DE ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES. Pág. 34

Franco Humberto Obando Moncayo. Universidad de Caldas.

ADECUACIÓN DE TIERRAS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN SISTEMA LÁSER EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE. Pág. 36

I.A. Ríos M. Orlando, I.A. Forero L. Javier Edilson. Cosechar Ltda.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN UN CULTIVO DE MANGO (MANGIFERA INDICA L.) DE LA MESA CUNDINAMARCA Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO. Pág. 37

Cesar Augusto Valbuena Calderón; Luis Joel Martínez M.; Ramón Giraldo H. Universidad Nacional de Colombia.

EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ. Pág. 38

César A. Cortés; Wilson D. Gamboa; Fabio R. Leiva; Jesús H. Camacho. Universidad Nacional de Colombia.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN UN SUELO DE LA SABANA DE BOGOTÁ. Pág. 39

Juan C. Rodríguez Ch.; Jesús H. Camacho Tamayo; Carlos A. Gonzáles M. Universidad Nacional de Colombia.

MODELOS ESPACIALES DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO BAJO TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA. Pág. 40

Felipe Andres Martinez Vera; Marco Heli Franco Valencia. Universidad nacional de Colombia.



MANEJO DE LA FERTILIZACION POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays*) EN LA SABANA DE BOGOTA. Pág. 41

Javier Rodríguez; Aura González; Fabio R Leiva. Universidad Nacional de Colombia



CONFERENCIAS Pág. 42

Agricultura de Precisión

Conferencias Temáticas Pág. 43

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO COMERCIAL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ. Pág. 43

César Salamanca; Fabio R. Leiva; Laureano Guerrero. Universidad Nacional de Colombia.

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA APTITUD DE LAS TIERRAS EN FRUTALES CADUCIFOLIOS, COMO UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LA TIERRA Y EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN, BASADO EN CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESPACIAL Pág. 52

Luis Fernando Limas Cano, Docente investigador Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA; Luis Joel Martínez. Universidad nacional de Colombia.

COMPORTAMIENTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO Pág. 68

Jesús H. Camacho Tamayo. Universidad Nacional de Colombia; Carlos Luengas. Universidad de Cundinamarca.; Fabio R. Leiva. Universidad Nacional de Colombia.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES (ESTACIÓN TALUMA). Pág. 76

Yolanda Rubiano Sanabria. Universidad Nacional de Colombia; Andrés J. Peña Q. Asesor; Edgar Amézquita. CIAT; Jaime Humberto Bernal R. CORPOICA.; Alba Lucia Montoya Morales; Julio Cesar Moreno. Unillanos.

OPCIONES PARA EL MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO POR SITIO ESPECÍFICO EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES Pág. 82

Franco Humberto Obando Moncayo. Universidad de Caldas; Mauricio Villegas Hincapié. GENICAFE.

ADECUACIÓN DE TIERRAS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN SISTEMA LÁSER EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE. Pág. 98

Orlando Jesús Rios Martínez; Javier E. Forero León. COSECHAR LTDA.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO EN UN CULTIVO DE MANGO (*Mangifera indica* L.) LOCALIZADO EN LA MESA CUNDINAMARCA. Pág. 104

Cesar Augusto Valbuena Calderón; Luis Joel Martínez M.; Ramón Giraldo H. Universidad Nacional de Colombia.



EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ Pág. 113 

César A. Cortés; Wilson D. Gamboa; Fabio R. Leiva; Jesús H. Camacho. Universidad Nacional de Colombia

MANEJO DE LA FERTILIDAD POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays) EN LA SABANA DE BOGOTÁ Pág. 122 

Javier Rodríguez, Aura González Fabio R Leiva, Laureano Guerrero

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agricultura de Precisión Pág. 130

HACIENDO REALIDAD LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN Pág. 130 

Egbert Spaans; David González; Griselda Cortés. ALIA2 Asesores Líderes Integrales para la Agricultura y el Desarrollo S.A.

CONFERENCIAS TEMÁTICAS

Agricultura de Conservación Pág. 138

MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES Pág. 138 

Hugo E. Castro Franco; Oscar E. Munévar García. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC.

PRODUCTIVIDAD DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS, EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTES LLANERO COLOMBIANO Pág. 148 


Álvaro Rincón castillo. Investigador CORPOICA; G.A. Ligarreto. Investigador Docente Universidad Nacional de Colombia.

UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BIOCONTROLADORES Y SUSTANCIAS ORGANICAS PARA EL CONTROL DE *Rhizoctonia Solani*. EN ARROZ Pág. 159 

Marcela Quintero Ruiz; Olga Lucia Higuera Acosta. FEDEARROZ.

DINÁMICA DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UNIDADES DE EXPLOTACIÓN FRUTÍCOLA, DEFINIDAS A PARTIR DE ZONAS AGRO ECOLÓGICAS. Pág. 165 

Luis Fernando Limas Cano. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA; Luis Joel Martínez. Universidad Nacional de Colombia.

EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS HELADAS QUE AFECTAN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LOS MUNICIPIOS DE SIACHOQUE, TOCA Y ÚMBITA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ Pág. 176 

Alvaro E. Alvarado Gaona; Carmenza Pérez Fagua. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.




**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INOCULACION A
SEMILLA CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO
EN EL CULTIVO DEL ARROZ** Pág. 183 

Marcela Quintero Ruiz, Olga Lucia Higuera Acosta. FEDEARROZ.

**MANEJO Y DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE REGIONES
TROPICALES** Pág. 189 


César Augusto Colorado. Asesor, Consultor, Investigador.

**REHABILITACIÓN AGRÍCOLA DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS EN EL ALTIPLANO
CUNDIBOYACENSE** Pág. 197 


Dilsa Maribel Hernández Fonseca; Hugo ... Jo Castro Franco. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC.

RESPUESTA DEL ARROZ A LA APLICACIÓN DE SILICE Y ZEOLITA Pág. 204 

Julio Ernesto Viana V.; Gabriel Fernando Pardo B. Cosechar Ltda.

**EFICACIA DE LA CEPA ICA-J-96 DE BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM. EN NUEVAS
VARIETADES DE SOYA EN LA ALTILLANURA COLOMBIANA.** Pág. 210 

Carmen Rosa Salamanca Solís; Margarita Ramírez Gómez. Investigadoras CORPOICA.

**CONTRIBUCION DE LAS MICORRIZAS EN EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS
AGROECOSISTEMAS DE PLATANO Y YUCA, DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, META,
COLOMBIA.** Pág. 217 

Carmen Rosa Salamanca Solís. Investigadora CORPOICA; Cesar Augusto Cano Saavedra. Asesor particular.

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agricultura de Conservación Pág. 224

LA BIOFERTILIZACION: UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA LA NUTRICION VEGETAL

Luis Armando Castilla Lozano. FEDEARROZ; Martha M. Bolaños Benavides, CORPOICA.

Pág. 224 

**LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS COMO SISTEMA DE GESTION DE LA
CALIDAD PARA EL SECTOR AGROPECUARIO** Pág. 235 

Jesús María Pedraza Roncancio. SENA Colombia

SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA Pág. 244 

Joao Celso Rauber. Asesor particular.

**PRÁCTICAS ADECUADAS DE MANEJO DE NUTRIENTES: DEL ENFOQUE GLOBAL A
LAS CONDICIONES LOCALES** Pág. 252 

Paúl Fixen; José Espinosa. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Ecuador.



CONFERENCIAS TEMÁTICAS

Agroenergía *Pág. 263*

DESARROLLO AGROEMPRESARIAL A PARTIR DE LA CAÑA EN LOS PLANOS ORIENTALES. PROYECTO LA Balsa – PUERTO LOPEZ, META *Pág. 263*

Dr. Alejandro Roa. Inversiones Nacionales Bionergy. Bogotá, Colombia

CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agroenergía *Pág. 266*

POTENCIALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL SUBSECTOR PANELERO Y SUS DERIVADOS *Pág. 266*

Néstor Durán Castro. ACOPANELEROS.

BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA *Pág. 275*

David F. Cala Hederich. CORPODIB.

RESUMEN PANEL DE EXPERTOS *Pág. 279*

Moderador: Ricardo Espinoza Herrán. Secretario cadenas productivas. Secretaría de agricultura, ganadería y desarrollo rural del Meta.

Relator: Jaime Gómez Naranjo. Jefe estación CIAT. Villavicencio, Meta.

HOJAS DE VIDA CONFERENCISTAS *Pág. 282*

PATROCINADORES *Pág. 292*

GRUPO DE LOGÍSTICA *Pág. 292*

RESEÑA VILLAVICENCIO *Pág. 293*

ANEXO 1. PRESENTACIONES EN POWER POINT. (Ver carpeta adjunta en CD)

ANEXO 2. REGISTRO ASISTENTES III ENCUENTRO NACIONAL DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. (Ver archivo adjunto en CD)



RESÚMENES**Agricultura de Conservación****MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE
EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES.**

I.A. MSc. Hugo E. Castro Franco, I.A. Oscar E. Munévar García
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados ácidos tropicales - Gissat
osmunev@hotmail.com, hcastrofranco@yahoo.com.mx

Los fenómenos ocurridos por la acidez del suelo adquieren gran importancia en el trópico y especialmente en Colombia, puesto que ocupan el 80% del territorio nacional (Zapata 2004). Se reconoce ampliamente que su problemática esta asociada con la toxicidad generada por el aluminio de cambio y en algunos casos como en los Suelos Sulfatados Ácidos (SSA), por la demanda de ácido sulfúrico y hierro que inhiben la absorción de Ca^{+2} , Mg^{+2} y P, afectando directamente la fertilidad de los suelos, nutrición de las plantas y por ende la producción agrícola (GISSAT, 2006). Las prácticas de manejo y recuperación de suelos ácidos realizadas por medio del encalamiento deben considerar la variabilidad de la capacidad neutralizante potencial que poseen los diferentes materiales encalantes, expresada en términos de carbonato de calcio en equivalente químico y sus índices de reactividad. Debido a la gran extensión y presencia de diferentes tipos de suelos ácidos en Boyacá, el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales (GISSAT) definió un modelo para determinar los requerimientos de neutralización de acidez mediante curvas de encalamiento a partir de pruebas de incubación (Castro *et al.*, 2006), teniendo en cuenta el equivalente químico de CaCO_3 calculado, en combinación de diferentes materiales encalantes comerciales como: cal viva, dolomita y abono paz del río, utilizando una relación porcentual 5:4:1 respectivamente. Luego de estimar las diferentes dosis de CaCO_3 reactivo puro, se evaluó el efecto correctivo de la combinación de los materiales encalantes en dos suelos con diferentes procesos de acidificación: un SSA improductivo ubicado en el Distrito de riego del alto Chicamocha, donde se utilizaron dosis de 2, 4, 8 y 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 y el horizonte oxico de un suelo laterítico de la ciudad de Tunja con dosis de 0.5, 1, 2 y 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 donde se evaluaron parámetros químicos del suelo como pH, Al, Ca, Mg y P. Los resultados muestran que para determinar adecuadamente los requerimientos de las enmiendas calcáreas se deben tener en cuenta los procesos químicos que caracterizan la acidez del suelo, la neutralización del aluminio de cambio hasta niveles inferiores al 20%



de saturación para lograr pH's entre 4.5 y 5.5, la mezcla con materiales orgánicos y el tiempo de reacción no inferior a 30 días. En SSA improductivo el mejor efecto lo presentó la dosis de 16 t ha^{-1} y 2 t ha^{-1} para el horizonte oxico del suelo laterítico. La tendencia en el comportamiento de la relación calcio/magnesio confirma que las aplicaciones de enmiendas es justificable en suelos con alta capacidad buffer como los orgánicos, contrario a los suelos con predominio de materiales minerales, porque requieren de menores cantidades para corregir las condiciones de extrema acidez y llevar los niveles de calcio y magnesio a una condición de equilibrio, que favorezca la disponibilidad de estos y otros elementos nutritivos. Este modelo propuesto se considera novedoso dentro de la concepción integral del control de la acidez por medio del cálculo y balance a través de la equivalencia química de combinaciones de materiales encalantes comerciales, donde, se permite conseguir en la práctica además de la corrección de la acidez, balances proporcionales de Ca^{+2} , Mg^{+2} y aportes considerables de P, factores que se deben tener en cuenta para la posterior implementación de un cultivo y programas de fertilización encaminados al uso eficiente de nutrientes a través del manejo integrado del suelo de una manera mas sostenible.

Palabras Claves: Equivalente químico, incubación, acidez, materiales encalantes.



**PRODUCTIVIDAD DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS,
EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTE LLANERO COLOMBIANO**A.C. Rincon¹ y G.A. Ligarreto²

En una pradera degradada del Piedemonte llanero de Colombia, se estableció en forma simultánea el cultivo de maíz híbrido 'Master' en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato, *Brachiaria brizantha* cv. "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación. La producción total de biomasa a los 50, 75, 90 y 140 días después de la siembra fue de 7.000, 11.400, 15.500, y 16.000 kg MS ha⁻¹, respectivamente. La producción de grano de maíz asociado con pasto Toledo fue superior significativamente ($P < 0.05$) con 5.836 kg ha⁻¹ frente a un promedio de 5.100 kg ha⁻¹ obtenido en las asociaciones con pasto Mulato y *B. decumbens*. El forraje en oferta durante la época lluviosa fue de 1.037 kg MS ha⁻¹ y en la época seca de 1.045 kg MS ha⁻¹. Las evaluaciones bajo pastoreo con bovinos de ceba tuvo una duración de 12 meses, obteniéndose una productividad de carne de 505, 335 y 328 kg ha⁻¹ año⁻¹ en los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens* respectivamente, resultando ser superior a la productividad regional en las praderas de *B. decumbens* degradadas, que ha estado entre 85 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹. No se obtuvieron diferencias significativas en la producción de forraje ni de carne en las dosis de N evaluadas. El establecimiento de la asociación de maíz – pastos, presentó un costo de \$2'232.000 y los ingresos obtenidos por la venta de las 4 t de maíz fueron de \$1'920.000. La diferencia entre estos dos valores fue de \$312.000 que viene a ser el costo real de la renovación de la pradera. Cuando la pradera es renovada mediante las prácticas donde no se utiliza maíz, los costos son de \$682.000, por consiguiente en la renovación hecha con maíz el productor estaría ahorrando un 55% de los costos de producción.



Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigaciones La Libertad, A. A. 3119, Villavicencio, Meta, Colombia.

² Profesor Asociado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.



UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BIOCONTROLADORES Y SUSTANCIAS ORGANICAS PARA EL CONTROL DE *Rhizoctonia Solani*. EN ARROZ

Marcela Quintero Ruiz, Olga Lucia Higuera Acosta*

El añublo de la vaina en arroz, *Rhizoctonia solani*, constituye una de las enfermedades de mayor importancia en este cultivo. La finalidad del trabajo consistió en evaluar la efectividad de microorganismos con capacidad biocontroladora como *Trichoderma harzianum*; un inoculo bacteriano constituido por *Burkholderia cepacia*, *Azotobacter sp.*, y *Azospirillum sp.*, un producto constituido a partir de ácidos orgánicos (ácido cítrico, palmítico, ascórbico entre otros) y ácido salicílico, como controles químicos se utilizó Validamicina en dos aplicaciones una a los 30 ddg para observar la acción como preventivo y una a los 70ddg como curativo. Las pruebas de campo se diseñaron en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se estimó la severidad, el rendimiento y calidad molinera. Los resultados muestran que los tratamientos que presentaron un mejor comportamiento antagónico frente al hongo *Rhizoctonia solani* fueron el control químico como preventivo y *Trichoderma harzianum* en las dos evaluaciones realizadas. Aunque no se presentaron variaciones significativas en los rendimientos de cosecha ni calidad molinera, los tratamientos con inoculo bacteriano y ácidos orgánicos presentan una tendencia a mejorar la calidad molinera del cultivo.

Palabras claves: microorganismos antagónicos, ácidos orgánicos, *Rhizoctonia solani*, rendimiento.



DINÁMICA DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UNIDADES DE EXPLOTACIÓN FRUTÍCOLA, DEFINIDAS A PARTIR DE ZONAS AGRO ECOLÓGICAS.

Luis Fernando Limas Cano
Luis Joel Martínez

La evaluación en la dinámica de resistencia a la penetración (RP) en unidades de explotación frutícola en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá, permitió considerar que los suelos de textura franca arcillosa, el bajo alto contenido de materia orgánica, limitan el crecimiento y desarrollo óptimo del frutal; estas condiciones agro ecológicas sobre la fisiología de la planta determina sin duda alguna el crecimiento y desarrollo óptimo de la misma. De manera que todos y cada una de los diferentes factores de clima y suelo que componen el medio ecológico de una región pueden condicionar un cultivo, limitando o haciéndolo rentable. Mediante técnicas de fotointerpretación, se clasificaron zonas agro ecológicas y mediante la cartografía básica y uso de un GPS se georeferenciaron unidades de explotación frutícola, definiendo en ellas, mediante el uso del penetrógrafo de cono, la resistencia a la penetración generada con un cono de diámetro de 1 cm²; el cual semeja el grosor de una raíz funcional en este tipo de frutales, con lo cual se busco establecer con la definición de la profundidad efectiva junto con la prueba de la resistencia a la penetración, cual de los dos criterios define la relación de la zona de estudio y la capacidad de mantener o establecer materiales para su explotación. Teniendo como resultado capas imperantes a 10 cms en zonas agro ecológicas con pendientes del 16% con una RP del orden del 1.5 MPa y con pendientes superiores por el orden de 2.2 MPa en los primeros 5 cms del horizonte superficial. Este estudio permitió definir en parte el manejo de los sistemas de producción y la aptitud de uso de estos suelos con fines productivos para la explotación de frutales de hoja caduca, con base a la información establecida, utilizada y la relación que existe inicialmente en uso de estos suelos, se define el manejo de estos dentro de las ZAE previamente establecidas.

Palabras claves: Dinámica, Resistencia a la Penetración, Fotointerpretación, ZAE, Caducifolios.

1 Ingeniero Agrónomo, Candidato a Maestría en Geomática, Docente – Investigador. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. E-mail: llimas@udca.edu.co.

2 Agrólogo, M Sc. Geomática, Docente – Investigador. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. E-mail: ljmartinezm@unal.edu.co.



EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS HELADAS QUE AFECTAN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LOS MUNICIPIOS DE SIACHOQUE, TOCA Y ÚMBITA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÀ

I.A. Carmenza Pérez Fagua, I.A. MSc. Alvaro E. Alvarado Gaona
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Capefa23@latinmail.com, aalvarado@tunja.uptc.edu.co

El cultivo de papa depende de factores atmosféricos en donde las heladas se convierten en un factor limitante para su producción, esto ha ocasionado que los agricultores por expandir su frontera agrícola opten por cultivar en zonas con alturas superiores a 3000 m.s.n.m, a esto se suma el daño irreversible a los sistemas de páramo en donde la aplicación exagerada de agroquímicos y el sistema de monocultivo hacen que exista una degradación de los suelos, reflejando una disminución en la capacidad productiva de los mismos. Por esta razón el Centro Virtual de la Cadena Agroalimentaria de la papa (CEVIPAPA) en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia realizó el proyecto denominado “**Evaluación de las técnicas de manejo agronómico para la mitigación de los efectos de las heladas en el cultivo de la papa – aproximación al reconocimiento de áreas susceptibles a heladas en el departamento de Boyacá**”. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un total de 100 encuestas por cada municipio, este análisis fue de tipo descriptivo, se tuvo en cuenta la clasificación de los agricultores en grandes (más de 10 ha), medianos (entre 3 y 10 ha) y pequeños (menos de 3 ha), meses de mayor incidencia de heladas, áreas más afectadas. Los aspectos tales como área, época y fecha de mayor frecuencia de heladas, entre otros, se realizó con ayuda del censo de la papa 2005 (DANE, 2005), con base en ellos se detectaron las zonas de mayor producción. El 91% de los productores del municipio de Siachoque son pequeños agricultores, el 98% del área sembrada en papa en este municipio es susceptible a heladas, el 2% restante de área se encuentra ubicada en zona de ladera y páramo, las prácticas realizadas por los agricultores para el control de las heladas son la utilización de quemadores (42%) y riego (16%) y las realizadas para mitigar los efectos de las heladas refieren a la aplicación de agroquímicos tales como urea, melaza, nitrato de potasio, fertilizantes foliares, fungicidas de tipo preventivo. En el municipio de Toca el 84 % de los agricultores encuestados son pequeños agricultores (1-3 ha), al igual que los agricultores de Siachoque para el control de las heladas utilizaban quemadores (30 %) y riego (12%); y para su mitigación utilizan urea, oxiclورو de cobre, melaza. En el municipio de Úmbita predomina el minifundio, el 79% de los encuestados son pequeños agricultores, el 78% del área están dedicadas al cultivo de la papa. Los meses más propensos para la incidencia de heladas en este municipio son diciembre, enero y febrero, en los cuales las condiciones atmosféricas cambian, se presentan suelos secos, cielos totalmente despejados en horas del día y vientos fuertes. Las prácticas realizadas para controlar el efecto de las heladas en el cultivo de papa en este municipio son el riego (47%) y la utilización de quemadores (13%), las prácticas realizadas para mitigar el efecto de las son la aplicación de agroquímicos como oxiclورو de cobre, nitrato de potasio además se aplica también melaza y urea.

Palabras claves: helada, incidencia, mitigación, papa, minifundio, vientos.



SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO

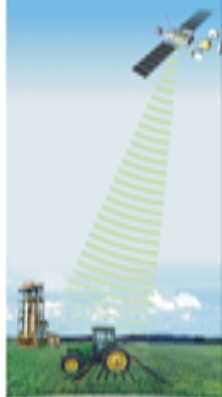


EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INOCULACIÓN A SEMILLA CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DEL ARROZ

Marcela Quintero Ruiz, Olga Lucia Higuera Acosta*

Los microorganismos promotores de crecimiento de las plantas han presentado excelentes resultados en los rendimientos de diferentes tipos de cultivos. Esta alternativa es de gran interés especialmente bajo la perspectiva de una agricultura mas limpia, mejorando los mecanismos de nutrición de las plantas reflejados en una mayor productividad y sanidad del cultivo de arroz. Con el objeto de observar y evaluar las posibles diferencias que se pueden presentar en el cultivo de arroz al utilizar los microorganismos promotores de crecimiento en inoculación a semilla con el fin de permitir la interacción microorganismo-planta induciendo la producción de pelos absorbentes para facilitar la captación de nutrientes al momento de la fertilización. Se realizaron mediciones de área foliar, peso seco de la parte aérea de la planta y peso seco de raíz a los 31 y 112 ddg, rendimiento de cosecha y componentes de molinería. Los resultados presentaron diferencias significativas favoreciendo al tratamiento de inoculación a semilla+15ddg, en área foliar a los 31 ddg, peso seco de raíz a los 31 y 112 ddg, rendimiento y centro blanco.

Palabras clave: PGPR, rendimiento, peso seco de raíz, inoculación



MANEJO Y DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE REGIONES TROPICALES

César Augusto Colorado

Ing Agrónomo M.S.c – candidato a doctorado UN Palmira. Asesor-Consultor-Investigador

cesarcolorado@etb.net.co

La materia orgánica y el humus constituyen la principal reserva edáfica de carbono, pero en el trópico sus suelos tienden a ser meteorizados y donde la aplicación de residuos orgánicos estabilizados como compost son la mejor opción para su conservación en condiciones edafobiológicas estables. Sus constituyentes poseen propiedades físico-químico-biológicas diferenciales que son responsables de cambios y actividades fundamentales del suelo ya sea a favor o en contra. Por ello el propósito de este trabajo es presentar algunas características de la materia orgánica y del humus y su participación en los procesos de estabilidad en el trópico andino del Valle del Cauca.

Salud del suelo: “la capacidad continuada de un suelo para funcionar como un sistema vivo, dentro de los límites de los ecosistemas naturales y gestionados por el hombre, mantener la productividad biológica, promover la calidad del aire y agua, y preservar la salud de los animales, las plantas y el hombre”.

Palabras claves: Materia Orgánica, Mineralización, Humificación, Microorganismos, Compost.



REHABILITACIÓN AGRÍCOLA DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS EN EL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE

I.A. Dilsa Maribel Hernández Fonseca, I.A. MSc. Hugo Eduardo Castro Franco
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Grupo interinstitucional de investigación en suelos sulfatados ácidos tropicales - gissat
diherfo@yahoo.es, hcastrofranco@yahoo.com.mx

Los suelos sulfatados ácidos (SSA) generalmente han evolucionado en condiciones de valles lacustres y/o superficies depresionales dejadas por el mar. La vegetación confinada con el agua salada o dulce de estos ambientes en mezcla parcial con sedimentos de origen mineral, desarrolló con el tiempo los llamados SSA, caracterizados principalmente por su extrema acidez y las altas concentraciones de aluminio, azufre y hierro, consideradas tóxicas para el normal crecimiento de cultivos. Estimaciones recientes indican que en Colombia cerca de 500.000 hectáreas en regiones agrícolas de los valles del Sinú, Sibundoy, valle del Cauca, Ubaté – Chiquinquirá, San Miguel de Sema y Tundama y Sugamuxi en Boyacá, se encuentran por su origen influenciadas por condiciones sulfatadas ácidas. En el Distrito de riego del alto Chicamocha (DRACH) cerca del 45% del área presentan SSA en diferentes grados de evolución (GISSAT, 2004 - 2006). Debido a esta problemática se propuso un modelo integral de manejo de las condiciones improductivas agrícolas existentes en la zona, donde se tuvo en cuenta la implementación de diversos sistemas de producción alternativos de acuerdo con la vocación de las tierras y la tolerancia a las condiciones adversas presentes en estos suelos. Definidas las características de los SSA del DRACH, se procedió a la selección de lotes problemas, para lo cual fue necesario realizar análisis de suelos con el fin de corroborar las condiciones sulfatadas ácidas y su grado de improductividad, basados en los valores de pH y las concentraciones de aluminio y azufre. Se establecieron parcelas semicomerciales de 2.500 m², las cuales fueron sometidas a labores de mecanización utilizando labranza de tipo vertical como el arado de cincel vibratorio y la cavadora de azadones para evitar exponer los horizontes sulfúricos a la superficie, seguidamente se realizó la adecuación de drenajes internos y recolectores, que permitieron evacuar las aguas freáticas hacia la red de drenajes que recorre el DRACH, evitando el ascenso del nivel freático a la superficie durante la época de lluvias. El control de las condiciones sulfatadas ácidas se basó en un **Plan correctivo** con 10 t ha⁻¹ de carbonato de calcio equivalente (CaCO₃). Las fuentes de enmiendas calcáreas utilizadas para alcanzar este equivalente correspondieron a la mezcla de 4,25 t ha⁻¹ de dolomita, 3,73 t ha⁻¹ de cal viva cernida, 1,36 t ha⁻¹ de roca fosfórica y 1 t ha⁻¹ de gallinaza. La distribución de las enmiendas se realizó en forma homogénea, 45 días después de su incorporación se procedió a sembrar *Avena sativa*, posteriormente se entró a ciclos de rotación con cultivos comerciales de papa industrial y criolla, cebolla de bulbo, repollo, brócoli, arveja y remolacha, cuyos rendimientos agronómicos se aproximaron a los manejados en la zona. De igual manera se estableció un plan de recuperación y mejoramiento de praderas en la Unidad Las Vueltas teniendo en cuenta la vocación ganadera del Distrito. De esta manera se logró demostrar la posibilidad de transformar áreas improductivas en áreas productivas con condiciones favorables para el crecimiento de los cultivos comerciales del DRACH.

Palabras claves: acidez, recuperación, enmiendas calcáreas, suelos.



RESPUESTA DEL ARROZ A LA APLICACIÓN DE SILICIO Y ZEOLITA

Gabriel Fernando Pardo Becerra
COSECHAR LTDA, AGROMIL

El cultivo del arroz es importante en Colombia debido al impacto social y económico que genera empleo en las zonas que se establece.

El silicio es un importante elemento, fundamental para la liberación de nutrientes en el suelo, en especial el Fósforo, logrando solubilizarlos para que puedan ser absorbidos por las raíces, y sin embargo no se le ha dado a este elemento la importancia que tiene tanto en suelo como en planta, siendo el nutriente que mayor absorción presenta por parte de la planta. Los diversos problemas de plagas y enfermedades que atacan al cultivo, son contrarrestados por el silicio al crear una doble pared al interior de las células y del tejido vegetal, protegiendo los diferentes órganos del efecto negativo de estos fitopatógenos. La zeolita, por su parte es una alternativa muy atractiva debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, que llega a 120 meq, lo que permite la adsorción de nutrientes poniéndolos en la solución del suelo, forma en que es absorbido por las plantas.

Después de analizar y tabular los ensayos y pruebas demostrativas realizadas en diferentes zonas arroceras del país, se pretende divulgar sus beneficios tanto en producción como en productividad obtenidas en este cultivo.



EFICACIA DE LA CEPA ICA-J-96 DE *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*, EN NUEVAS VARIEDADES DE SOYA EN LA ALTILLANURA COLOMBIANA.

Carmen Rosa Salamanca Solís; Margarita Ramírez Gómez
csalamanca@corpoica.org.co ; mramirez@corpoica.org.co

Una fuente alternativa de fertilización nitrogenada es la fijación biológica de N_2 , realizada por bacterias simbióticas, que en la soya pertenecen al género *Bradyrhizobium* y se asocian con diferentes grados de especificidad a las nuevas variedades introducidas en el mercado nacional. Sustituir la fertilización nitrogenada ayuda no solo a la economía del cultivo sino a conservar la calidad de las aguas y el medio ambiente. El ICA y CORPOICA evaluaron y seleccionaron cepas eficientes de *Bradyrhizobium japonicum* para soya en suelos de los Llanos Orientales de Colombia y liberaron la cepa ICA J 01, sin embargo la reciente obtención de nuevas variedades para la altillanura, hacen necesario seleccionar cepas con mayor eficiencia.

En el presente trabajo se evaluó en cuatro variedades de soya (Libertad 4, Superior 6, Sabana 7 y Taluma 5) la eficiencia de la cepa de *B. japonicum* ICA J-96 (SEMIA 5080=CPAC7) comparada contra dos testigos: la cepa ICA J 01 y la fertilización nitrogenada utilizando 150 Kg.ha^{-1} . El experimento se estableció en dos localidades: la Estación Experimental Taluma sobre un Oxisol bien drenado con una saturación de bases del 82.5 %; y en el C.I La Libertad, sobre un suelo de terraza alta bien drenado, con una saturación de bases del 33.8 % y al cual se aplicó $256 \text{ Kg.ha}^{-1} \text{ SO}_4\text{Ca}$, para alcanzar la saturación mínima requerida del 50 %. El cultivo adicionalmente se fertilizó con $100 \text{ P}_2\text{O}_5$, $60 \text{ K}_2\text{O}$, 20 Mg , $20 \text{ Borozinco kg.ha}^{-1}$. La cepas empleadas contenían 10^8 UFC.g^{-1} de inoculo y se aplicó una dosis de 10 g kg de semilla, equivalente a 1 kg ha^{-1} . En cada sitio se utilizó un arreglo de campo de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables evaluadas fueron, número y peso seco de nódulos (30, 40 y 55 d.d.e), peso seco aéreo, contenido de nutrientes (40 d.d.e) y rendimiento (kg ha).

En la E.E Taluma el mayor rendimiento se presentó con el testigo nitrogenado en todas las variedades con rendimientos entre 1.480 y 1.668 kg ha^{-1} . Tres de las variedades inoculadas (Superior 6, Taluma 5, y Sabana 7) con la J 96 superaron a la ICA J 01 en 53.5, 30.4, 12.2 %, respectivamente. En el C.I La Libertad, las variedades Superior 6, Taluma 5 y Sabana 7, superaron en rendimiento ($1.289, 1.281, 1.068 \text{ kg.ha}^{-1}$), al testigo nitrogenado entre el 8.2, 12,5 20.5%; y a la cepa J01 entre 161, 122 y 157, %. La variedad La Libertad 4, obtuvo el mayor rendimiento con la aplicación de N (1.268 kg.ha^{-1}).

Los resultados indicaron que las nuevas variedades de soya Taluma 5, Superior 6 y Sabana 7 presentan especificidad con respecto a la cepa J 96 y la variedad La Libertad 4 a la cepa J01. Comparado con el costo de la fertilización nitrogenada se estimó que el ahorro en este insumo cuando se aplica el inoculo es del 91%.

Palabras clave: *Bradyrhizobium japonicum*, Fijación simbiótica de N_2 , inoculación, cepas específicas, nitrógeno, soya, Oxisoles.





CONTRIBUCION DE LAS MICORRIZAS EN EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS AGROECOSISTEMAS DE PLÁTANO Y YUCA, DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, META, COLOMBIA.

Carmen Rosa Salamanca Solís, Cesar Augusto Cano Saavedra.
csalamanca@corpoica.org.co; biornata@yahoo.es

La intensificación de la agricultura en el piedemonte llanero ha propiciado la degradación progresiva del suelo, el ambiente y la reducción de la productividad de los cultivos. Una alternativa para una agricultura más sustentable y menos dependiente de los insumos es el cultivo *in situ* y uso de hongos micorrizicos que ha demostrado mejorar la nutrición y calidad de los cultivos. Con el fin de contribuir al desarrollo agroecológico de los pequeños productores del municipio de Restrepo, se realizó la validación de la tecnología del uso de las micorizas en los cultivos de plátano y yuca, en seis fincas de productores.

Sobre cultivos de plátano variedades Bouroucou y Hartón y yuca variedad Reina fertilizada con la mitad de la dosis requerida, se evaluó el efecto de introducir una mezcla de hongos micorrizicos frente a la oferta nativa (testigo), con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En plátano a los 45, 90 y 150 días después de la germinación se evaluó altura de la planta, diámetro del tallo, número, largo y ancho de hojas y el peso seco (150 días) de la hoja de referencia. En yuca a los 30, 60 y 90 días se evaluó el número de brotes, peso seco y el contenido de nutrientes en el tejido (90 días). Se cuantificó el número de esporas y % de colonización de raíces por las micorizas, mediante un muestreo del suelo rizosférico antes y después de aplicado el tratamiento. Los datos por finca se sometieron a un análisis estadístico y económico.

Por el efecto de la micorriza introducida en el plátano Bouroucou (dos fincas) se observaron incrementos en la variable altura de planta en los periodos evaluados entre 10.8 y 86%. El peso seco de la hoja tres presentó incrementos del 34.5 al 127.6%. Con la variedad Hartón los incrementos fueron menores y cercanos al 9.1%. Los mayores contenidos de nutrientes en el tejido vegetal se encontraron con la micorriza introducida.

Con micorriza introducida en dos fincas, en yuca se observaron incrementos entre el 13.1 y 54.5% en el peso seco de la parte aérea y mayores incrementos el contenido de nutrientes, mientras en una finca la micorriza nativa funcionó mejor. El mayor número de esporas (31 g suelo⁻¹) y la mayor colonización (57.25%) se observó con la micorriza introducida, con respecto a la nativa (14 por 100 g suelo⁻¹) y (37.5%) respectivamente.

Las evaluaciones indicaron un mejor desarrollo de los cultivos y aprovechamiento de los nutrientes al ser inoculadas con micorizas adicionales a la oferta ambiental y se refleja en una mayor producción y retorno económico ya que podría minimizar la aplicación de fertilizantes.

Palabras clave: micorizas, plátano, yuca, producción micorizas *in situ*, fincas integrales.

**PATRONES PROMISORIOS PARA EL CULTIVO DE LA MANDARINA
ARRAYANA (*Citrus reticulata* Blanco) EN EL PIEDEMORTE DEL META**

Javier Orlando Orduz – Rodríguez

Se estima que existen seis mil has de cítricos plantados en el piedemonte del Meta, de las cuales entre ochocientas a mil doscientas son de mandarinas, de las cuales la variedad Arrayana es casi la única variedad cultivada. El patrón utilizado en la región es mandarina Cleopatra que es un patrón sobresaliente pero presenta una tardía entrada en producción, lo que ocasiona un retraso apreciable en la obtención del punto de equilibrio económico. Con el propósito de identificar patrones que presentan precocidad en la entrada a producción, y mejoren la eficiencia productiva por volumen de copa; se estableció en 1997 un experimento en el que se evaluó el comportamiento de la mandarina Arrayana en seis patrones en suelos de la terraza alta del C.I. La Libertad de Corpoica en Villavicencio (Meta). Antes del trasplante se aplicaron correctivos para aumentar la saturación de bases por encima del 60%. Se utilizó un diseño de B.C.A. con tres repeticiones y cuatro árboles por unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: modificaciones de volumen de la parte vegetativa (altura de planta, volumen de copa, grosor del tronco); y variables reproductivas como la producción por planta, peso promedio de frutos; y de calidad de la fruta. La mayor producción de frutos acumulada de cinco cosechas se obtuvo con el patrón citrumelo Swingle (también conocido como CPB 44 75), superando a Volkameriana. Posteriormente se encuentran Sunki x English y Cleopatra sin deferencia estadística, seguido de Sunki x Jacobson y el último lugar lo ocupó el citrange Carrizo. En la última lectura, la altura de la planta fue igual para todos los patrones con excepción de Carrizo que presentó el menor tamaño y el menor volumen de copa. La mayor eficiencia productiva de la copa la obtuvo Swingle, seguido por Volkameriana, S x E, S x J (sin diferencias estadísticas entre ellos), y finalmente Carrizo y Cleopatra. El mayor tamaño de fruta lo produjo Volkameriana y el último Cleopatra. La calidad de la fruta fue similar para todos los patrones con excepción de Volkameriana que produjo un menor contenido de sólidos solubles totales y en la relación SST/AT.



I.A. M.Sc. Investigador en cítricos y frutas tropicales. C.I. La Libertad. Corpoica, Villavicencio. Meta. A.A. 051..



EVALUACIÓN DE CUATRO VARIEDADES DE AGUACATE (*Persea americana* Millar) EN SUELOS DE LA TERRAZA ALTA DEL PIEDEMORTE DEL META (1998 – 2007)

Javier Orlando Orduz – Rodríguez

El aguacate es una de las frutas de mayor consumo en el país, tanto por sus cualidades organolépticas y nutricionales. En el piedemonte del Meta no se poseen cultivos de aguacate y la fruta que se produce proviene de árboles aislados de plantas provenientes de semillas de variedades criollas, en suelos de vega o vegones con deficiente drenaje, sin manejo agronómico, ni fitosanitario y de baja calidad. En estos suelos se presenta muerte temprana de plantas que pueden estar relacionadas con asfixia radical o con ataques de Phytophthora. Se calcula que para el piedemonte llanero se necesitarían más de cien hectáreas de cultivos tecnificados para abastecer el mercado regional, pero el principal limitante es la ausencia de información tecnológica del cultivo (zonificación, prácticas de manejo y la selección de variedades). Con el fin de avanzar en este sentido, en el año 1998, se estableció un experimento en suelos de la terraza del C.I. La Libertad de Corpoica en Villavicencio. Previo al transplante se incorporaron correctivos al suelos para aumentar la saturación de bases por encima del 60%. Las variedades evaluadas son: Lorena, Choquette, Trinidad y Booth 8. Se utilizó un diseño de B.C.A. con cuatro repeticiones y cinco plantas por unidad experimental. Se evaluaron variables vegetativas y productivas; y se han realizado observaciones sobre calidad de la fruta y problemas fitosanitarios. El desarrollo, sanidad y producción de las plantas de aguacate después de nueve años de cultivo, señalan que los suelos de la terraza alta poseen características favorables para el crecimiento, desarrollo y de sanidad de las plantas de aguacate. Lorena es la variedad que presentó mejor producción por planta, tamaño y calidad de los frutos, seguido por Trinidad. Las variedades Booth 8 presenta un comportamiento intermedio y Choquette ha tenido un desarrollo deficiente. La principal floración se presenta en el mes de octubre y el crecimiento del fruto es afectado por las condiciones de estrés hídrico presentes en la región por esa época; por lo cual el cultivo necesitaría riego en la época de verano. Los resultados preliminares obtenidos hasta la fecha señalan que el aguacate puede ser un frutal promisorio en suelos de terraza alta del piedemonte del Meta y se presentan avances para el manejo del cultivo en este paisaje.

I.A. M.Sc. Investigador en cítricos y frutas tropicales. C.I. La Libertad. Corpoica, Villavicencio. Meta. A.A. 051..

PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS Y DINÁMICA DE NUTRIENTES EN EL ESTABLECIMIENTO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS PARA RENOVAR PRADERAS, EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTE LLANERO COLOMBIANO

A.C. Rincon¹ y G.A. Ligarreto²

En una pradera degradada se estableció la asociación de maíz con los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo como medio para recobrar su productividad. A los 45 días antes de la siembra, se incorporó al suelo una mezcla de 1.500 kg ha⁻¹ de cal dolomítica, 400 kg ha⁻¹ de roca fosfórica y 300 kg ha⁻¹ de yeso agrícola, En el momento de la siembra se aplicó 150 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico, 75 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y 20 kg ha⁻¹ de borozinco. A los 15 dds se aplicó 75 kg ha⁻¹ de cloruro de potasio y la mitad de la urea y a los 35 dds se aplicó la otra mitad de la urea. Los análisis de suelos realizados después de la cosecha del maíz, demostraron un mejoramiento de la fertilidad de los suelos porque la saturación de bases se aumentó de 24% inicial a 47%, el de P disponible de 2 ppm pasó a 11,8 ppm, el S de 3 ppm aumentó a 6 ppm. Después de un año de pastoreo con bovinos de carne, la disponibilidad de minerales en el suelo se redujo especialmente el P que bajó a 4,2 ppm, la saturación de bases a 42% y el S a 4,3 ppm. En el momento de la cosecha, la mayor extracción de N fue realizada por el grano de maíz y los pastos con 43 y 45 kg ha⁻¹ respectivamente, mientras que el P se presentó en mayor concentración en el grano de maíz con 12,7 kg ha⁻¹. Los pastos y la soca de maíz se caracterizaron por tener mayor contenido de K con 40 y 27 kg ha⁻¹. El Ca, Mg y S fueron más extraídos por los pastos con 9, 8 y 6 kg ha⁻¹ respectivamente. Considerando que el N consumido por los animales retorna al suelo el 80% y los otros minerales en un 90%, vía excretas (orina y heces), El contenido de minerales en el suelo durante el primer año de pastoreo fue suficiente para que los pastos presentaran buena producción de forraje y el contenido foliar de minerales en su mayoría cumplió con los requerimientos de los bovinos de carne, sin embargo, para conservar los rendimientos de forraje después de un año de pastoreo, será necesario hacer una aplicación de 103 kg N ha⁻¹

1 Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigaciones La Libertad, A. A. 3119, Villavicencio, Meta, Colombia.

2 Profesor Asociado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.





DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN A LA AGRODIVERSIDAD Y MEJOR CUIDADO DE LA TIERRA. UN ENFOQUE INTEGRADO PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

Franco H. Obando-Moncayo

Universidad de Caldas, Departamento de Sistemas de Producción

Calle 65 No. 26-10. A.A. 275 Manizales, Caldas. e-mail: francoh.obando@ucaldas.edu.co

Históricamente, los programas de conservación de suelos en las tierras montañosas tropicales no han tenido el éxito esperado porque han relegado la dinámica de ocupación las tierras, los sistemas de vida de los campesinos, sus capacidades, sus recursos, las percepciones de sus problemas y las diversas interacciones que estos desarrollan entre la biodiversidad, la diversidad biofísica y las prácticas de manejo del suelo para la satisfacción de sus necesidades. De hecho, existe un oscuro entendimiento de las relaciones de causalidad de la erosión hídrica y en consecuencia de la magnitud de los procesos y requerimientos para su manejo. La magnitud de los procesos de degradación de las tierras montañosas por erosión hídrica en Colombia, estimada mediante modelos desarrollados para las tierras cultivables de los Estados Unidos y la evaluación de la cobertura del suelo mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos, es del orden del 80%. Sin embargo, adelantos recientes en el entendimiento de los procesos físicos de la erosión hídrica demuestran que los riesgos de pérdida de suelo en terrenos montañosos no son tan severos como tradicionalmente se ha especulado. En efecto, en zonas de agricultura intensiva, la erosión hídrica es insignificante si se compara con los impactos de la erosión por labranza y las construcciones civiles y urbanas. Tal es el caso de las zonas productoras de hortalizas y otros cultivos transitorios en los departamentos de Caldas, Antioquia y Nariño donde se han desarrollado procesos de “entisolización” con impactos en la integridad funcional de los ecosistemas. Por el contrario, en zonas marginales, los pequeños agricultores han desarrollado una variedad de sistemas de manejo de tierras que contribuyen a la supervivencia rural, la conservación de los suelos y la diversidad biológica. En el proyecto “Construcción y conservación de suelos de laderas para la producción sostenible del cultivo de mora en el Departamento de Caldas”, con un enfoque participativo, se demostró que los sistemas de producción agrodiversos (cultivo de mora intercalado con cultivos anuales y manejo de arvenses), la pérdida de suelo, fue 30 veces menor que en el manejo convencional (monocultivo y labranza convencional), mientras que la rentabilidad fue entre 6 y 14 veces mayor en los sistemas agrodiversos. En fincas de pequeños agricultores se descubrieron sistemas que satisfacen los principios de la agricultura de conservación y la agrodiversidad tales como el uso de lombricompost, la selección de arvenses, el manejo de residuos de cosecha, los tutores vivos de especies arbóreas multipropósito, cultivos de mora asociados e intercalados con maíz, frijol, ahuyama, arracacha y lulo y pequeñas obras mecánicas construidas con materiales disponibles en la fincas, localmente llamadas “terracetas de piedra”. Se concluye que la conservación del suelo *per se* resulta limitada para las zonas montañosas; en consecuencia, es necesario dar el salto hacia un modelo integrado de manejo y cuidado de las tierras que integre no solo los principios del modelo de agricultura de conservación si no también los elementos de agrobiodiversidad, en la transición hacia una agricultura sostenible.

RESÚMENES

Agricultura de Precisión

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIDAD POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO COMERCIAL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

César Salamanca¹, Fabio R. Leiva², Laureano Guerrero³.

Comúnmente la fertilización de los cultivos en Colombia se basa en recomendaciones a partir de promedios que no tienen en cuenta la variabilidad propia del suelo, lo cual se traduce en efectos negativos sobre la producción, el medio ambiente y la economía de la agroempresa. Una alternativa a lo anterior es el manejo de la fertilidad por sitio específico, el cual caracteriza, interpreta y utiliza la variabilidad para ofrecer recomendaciones precisas de acuerdo con las características del suelo. En este último contexto, se adelanta una investigación con el objetivo de evaluar el manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo de arveja, en comparación con el manejo convencional que le da el agricultor. El lote experimental de 2,5 hectáreas está localizado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), latitud norte 04°42'37,3" y longitud oeste 74°14'43,2", a 2540 m.s.n.m. El suelo pertenece a las series Trojes y Mosquera, la primera clasificada como Andic Aquic Eutropept, medial sobre arcilloso, mezclado isomésico, y la segunda como Andic Aquic Eutropept, medial, isomésico. Para el muestreo y análisis de las características físicas y químicas del suelo, así como de las variables de respuesta del cultivo, antes de la siembra se instaló una grilla de 40 puntos de muestreo, distanciados 25 m X 25 m. A partir del análisis físico- químico del suelo, para la totalidad de los puntos, se usó estadística descriptiva y se identificaron las principales características del mismo, encontrándose ausencia de aluminio e hidrógeno intercambiables, saturación de bases del 100% (Ca, Mg, K, Na), reacción (pH) ligeramente ácida, contenido medio de CO₂, y en términos generales, sin restricciones en los niveles de los distintos elementos nutricionales para el cultivo. Sin embargo, se detectaron problemas en las relaciones de las bases intercambiables, tales como excesos en la saturación de Ca, con datos superiores al 70% en la mayoría de los puntos de la grilla, y particularmente, alta variabilidad de los valores de saturación de K, con

1 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. casalamancac@unal.edu.co.

2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co.

3 Profesor Asistente, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lguerreroj@unal.edu.co.



predominancia de valores por debajo del nivel crítico para la producción de cultivos (3%). Los análisis geoestadísticos univariado y multivariado permitieron establecer la distribución espacial de áreas críticas, medias y sin problemas con respecto a las relaciones de bases intercambiables para el manejo de la fertilización por sitio específico. Así se determinaron tres unidades de manejo, en función del factor limitante (K): una para el agricultor (testigo, sin fertilización edáfica) y dos para manejo específico de la fertilidad, con dos niveles de K y una dosis de mantenimiento de P y N. El manejo agronómico posterior fue homogéneo para todo el cultivo. Los resultados preliminares muestran que en las áreas donde se realizó el manejo específico hay mejor respuesta del cultivo, en cuanto a emergencia y desarrollo. El artículo presenta avances de la investigación, con relación a la respuesta del suelo y del cultivo a ese manejo alternativo.



SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO





METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA APTITUD DE LAS TIERRAS EN FRUTALES CADUCIFOLIOS, COMO UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LA TIERRA Y EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN, BASADO EN CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESPACIAL

Luis Fernando Limas Cano¹
Luis Joel Martínez²

El desarrollo del modelo para la evaluación de las variables edáficas a través de indicadores de calidad en los suelos de unidades productivas frutícolas en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá, se fundamenta mediante el diseño y la aplicación de una metodología capaz de relacionar los componentes de calidad del recurso suelo, el estado de este, el manejo y su relación de la producción en frutales de hoja caduca, a nivel de finca, el modelo busca establecer cual es el componente esencial que permitiría al usuario la identificación de las relaciones entre el tipo de cultivo a explotar y las condiciones especiales que tiene el recurso suelo, como potencial de explotación para un producto. Nuevo Colon, se reconoce por la producción de peras, duraznos, ciruelas, manzanas y curubas, la temperatura oscila entre los 12.8°C y los 15.2°C. Con la utilización de técnicas geomáticas se definen mapas temáticos los cuales por medio del uso de la geoestadística muestran la relación de la variable de estudio, en función con la producción, las variables que integran el modelo como indicador edáfico de orden físico son la densidad aparente, estabilidad estructural, resistencia a la penetración (en campo), textura; indicadores químicos como bases, pH, materia orgánica, fósforo, acidez y los indicadores ambientales como temperatura, precipitación, humedad relativa y la evapotranspiración. La simulación de estas variables permite tomar decisiones sobre el posible manejo o la ubicación de cultivos futuros y especialmente para la búsqueda de la sostenibilidad, manejo y conservación del recurso suelo, basados en el análisis espacial.

Palabras claves: Metodología, indicadores, calidad, caducifolios, producción, geomática.

1 Ingeniero Agrónomo, Candidato a Maestría en Geomática, Docente – Investigador. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. E-mail: lilimas@udca.edu.co.

2 Agrólogo, M Sc. Geomática, Docente – Investigador. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. E-mail: ljmartinezm@unal.edu.co

COMPORTAMIENTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO

Jesús H. Camacho-Tamayo¹; Carlos Luengas²; Fabio R. Leiva

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de la densidad de partículas, los contenidos de arena, limo y arcilla y su relación con los contenidos de carbono orgánico en dos Oxisoles de los Llanos orientales de Colombia. Los dos suelos han sido trabajados con labranza de conservación, pero con diferente grado de intervención agrícola, uno con un ciclo de cultivo de soya y el otro con tres años en rotación soya-maíz. La toma de datos se realizó en una malla de muestreo con 42 puntos distanciados 25m x 25 m, a dos profundidades (0 - 0,10 m y 0,10 - 0,20 m). El análisis de las variables se realizó mediante estadística descriptiva, análisis de correlación y geoestadística. Los resultados mostraron que la intervención agrícola influyó particularmente en los primeros 0,10 m del suelo, mostrando una menor dispersión de las variables, pero con distribuciones espaciales aleatorias. La mayor intervención agrícola, con labranza de conservación, condujo a incrementos en los contenidos de carbono orgánico y afectó la variabilidad espacial de la densidad de partículas; sin embargo, el carbono orgánico presentó rangos bajos cuando se ajustó a un modelo de semivariograma.

La variabilidad y la dependencia espacial encontradas para los contenidos de arena, limo y arcilla, y su expresión mediante semivariogramas y mapas, resultan ser la base para nuevas investigaciones y para establecer cultivos bajo la concepción de agricultura de precisión en esos suelos.

Palabras-clave: propiedades físicas del suelo, labranza de conservación, captura de carbono, agricultura de precisión, geoestadística

1 Ing. Agrícola-M. Sc. Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. E-mail: jhcamachot@unal.edu.co

2 Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca/Fusagasuga-Colombia E-mail carffabus@yahoo.com



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS (ESTACIÓN TALUMA)

Alba Lucia Montoya¹
Yolanda Rubiano S²
Andrés J. Peña Q.³
Edgar Amézquita⁴

Los Llanos Orientales, caracterizados por sus tierras planas y clima tropical lluvioso han pasado de ser una región netamente ganadera a ser el área de expansión agrícola nacional. Esta zona, en la que predominan Oxisoles y Ultisoles, podría convertirse en los próximos años, por sus suelos planos que pueden soportar la mecanización, alta radiación solar durante la época seca y una gran posibilidad de riego, en la despensa agrícola de Colombia. Pese a lo anterior, el gran problema de la producción intensiva en los llanos orientales radica en la baja resiliencia de sus suelos, especialmente si se utiliza maquinaria. Por esta razón, es necesario establecer las zonas en las que se puede mecanizar y las zonas en las que se puede hacer con diferentes restricciones. La única forma de conseguirlo es a través del conocimiento dado por el muestreo y análisis exhaustivo de los suelos. En este trabajo se utilizó geoestadística para estudiar la variabilidad espacial de los suelos de la estación Taluma (Corpoica) y análisis de varianza para estudiar la variación en profundidad. A través de un muestreo en red rígida de las propiedades físicas del suelo a tres profundidades fue posible establecer diferentes zonas homogéneas de manejo mecánico para la superficie estudiada, así como las distancias de muestreo óptimas para cada variable analizada y que puede ser utilizada en futuros diseños de muestreo realizados en el mismo tipo de suelo. También se encontró que algunas propiedades físicas tiene un efecto de dispersión espacial aleatorio, por lo que no se puede utilizar geoestadística para su análisis.

Palabras claves: Muestreo, Geoestadística, Red rígida, Mecanización

1 Investigadora, Instituto Geográfico Agustín Codazzi
2 Profesora Asistente, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá
3 Asesor, Variabilidad Espacial
4 Investigador, Centro Internacional de Agricultura Tropical



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES COLOMBIANOS (ESTACIÓN TALUMA)

Julio Cesar Moreno¹
Yolanda Rubiano S²
Andrés J Peña Q³
Jaime Bernal R⁴

La dosificación de enmiendas y formulación de fertilizantes basadas en la concepción de superficies agrícolas homogéneas, inexistentes en la realidad, ha causado problemas relacionados con sub y sobre fertilización que se traducen en baja sostenibilidad y poca rentabilidad de los sistemas agrícolas. En los suelos de los llanos orientales de Colombia, caracterizados por su bajo pH y por ende pocas bases intercambiables, es necesario identificar áreas con mayor concentración de nutrientes, de tal forma que en éstas, con la mínima cantidad de insumos se alcance el máximo potencial productivo de algunos cultivos. Para cumplir con este objetivo, en un lote de la granja experimental Taluma de Corpoica, se diseñó una red fija para muestrear, a tres diferentes profundidades, las variables químicas del suelo y determinar para cada profundidad el área con mayor y/o menor cantidad de nutrientes. Para esto se utilizó geoestadística, la cual utiliza el semivariograma como punto de partida para la interpolación o predicción (Krigging) y análisis de varianza para establecer profundidades de muestreo adecuadas para cada atributo. Se encontró que debido a la naturaleza de muchos atributos, algunas variables no podían ser interpoladas porque no eran regionalizadas, es decir, que su variación en el espacio no depende de la distancia que separa los puntos de muestreo. Por otra parte, se encontró que el análisis del semivariograma de las variables regionalizadas provee información acerca de la distancia de muestreo óptima de los diferentes atributos, mientras que el análisis de varianza muestra una capa de suelo superficial decididamente diferente a las inferiores.

Palabras claves: Semivariograma, Krigging, Variable regionalizada, geoestadística

1 Profesor Asociado, Unillanos

2 Profesora Asistente, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

3 Asesor, Variabilidad Espacial

4 Candidato a Doctor, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá



MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO POR SITIO ESPECIFICO EN PAISAJES PRODUCTIVOS DE ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

Franco Humberto Obando Moncayo
Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias,
Departamento de Sistemas de Producción, Calle 65 N0. 25-10, Manizales, Caldas.
e-mail: francoh.obando@ucaldas.edu.co

Las tierras montañosas juegan un papel clave en los sistemas económicos y ambientales de muchos países tropicales. En América Latina y el Caribe ocupan más del 25% del área total de tierra, y en Colombia representan el 27% de la extensión del país (30.9 millones de hectáreas). Sin embargo, históricamente las tierras montañosas del país han sido excluidas de los programas nacionales de inventario de los suelos a escala detallada debido a las preconcepciones creadas por el Sistema de Clasificación por Capacidad de Uso que las considera “no cultivables”. En efecto, los levantamientos detallados de suelos se han dirigido exclusivamente a zonas planas o “tierras cultivables” con “alto potencial de desarrollo agropecuario”. Este modelo de clasificación de tierras, ha conducido no solo al rezago de la investigación sino también a procesos poco realistas en torno a opciones de manejo sostenible de las tierras y el ordenamiento de las tierras montañosas tropicales. De hecho, la zonificación agroecológica de Colombia indica que existen grandes extensiones de tierras forestales y agrícolas utilizadas en actividades pecuarias, lo cual es una consecuencia directa del proceso de degradación que soportan los suelos y los ecosistemas de bosques del país (IGAC, 1985; 2002). Sin duda, dicho juicio ha redundado en la obsolescencia conceptual respecto de la agenda en ciencia y tecnología en gestión del suelo y los recursos naturales asociados del país. Así, las nuevas tecnologías, tales como la agricultura de precisión y el manejo de suelos por sitio específico, apoyadas en los levantamientos detallados de suelos y la variabilidad espacial interna de los cuerpos edáficos, es inconcebible en las tierras montañosas. De hecho, la planeación de uso y manejo del suelo, tradicionalmente se ha realizado con base en la información puntual de los llamados perfiles modales considerados representativos de grandes unidades de suelos. A escala de finca, tradicionalmente, el manejo de la fertilidad del suelo se ha fundado en el promedio del contenido de nutrientes obtenido del análisis de muestras tomadas aleatoriamente en el predio, y finalmente mezcladas para obtener una muestra compuesta, dejando de lado la variación espacial de los factores edáficos. Es claro que la agricultura convencional en paisajes productivos en zonas montañosas presenta limitaciones para abordar y entender la variabilidad espacial del suelo; en consecuencia el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico (MFSSE) es una alternativa tecnológica que presenta desafíos para su avance e implementación. En este contexto, el grupo de investigación Producción Agrícola Sostenible en el Trópico Andino (SOSANDINOS) de la



Universidad de Caldas ha iniciado investigaciones tendientes a la evaluación y entendimiento de la variabilidad espacial del suelo referida específicamente a las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas mediante levantamientos convencionales de primer orden (ultradetallados) a escala de finca, el muestreo en retículas, la aplicación de la geoestadística y el desarrollo de funciones de edafotransferencia. En cuatro fincas experimentales, que en conjunto ocupan un área aproximada de 176 hectáreas, se encontró un contenido pedológico significativamente variable, no solo en términos de cuerpos edáficos sino también por la heterogeneidad interna, particularmente de las propiedades químicas del suelo. La generación de mapas de contornos permitió la delineación de dominios de manejo específico de la fertilidad del suelo. El modelo se aplicó finalmente en una finca productora de hortalizas afectada por un proceso severo de “entisolización” debida a erosión por labranza con resultados que revelan su viabilidad en zonas montañosas.



ADECUACIÓN DE TIERRAS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN SISTEMA LÁSER EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE.

I.A. Ríos M. Orlando, I.A. Forero L. Javier Edilson
Cosechar Ltda. Distribuidores Dow AgroSciences.
javiering412@hotmail.com – 310 2519302

La agricultura en el llano tiene muchas variables y hace que el negocio agrícola sea de alto riesgo y de baja rentabilidad; contrario a las leyes del mercado, entre mas riesgoso el negocio mas rentable.

Con la agricultura de precisión y la nivelación láser se busca un negocio altamente rentable y seguro, encajando perfectamente con la agricultura ambiental.

La agricultura en el llano y especialmente los cultivos de ciclo corto presentan muchos altibajos en cuanto a buenas producciones se refiere, algunas por condiciones climáticas otras por manejos inadecuados de los cultivos (mala administración). Con la agricultura de precisión y la nivelación de suelos se espera corregir todos estos altibajos que se presentan en los cultivos de ciclo corto.

En las condiciones actuales como se cultiva en el llano es muy difícil competir con países desarrollados y nuestros vecinos, si no adoptamos nuevas tecnologías como en el caso de la nivelación de los suelos y la agricultura de precisión, quien adopten las tecnologías de punta son los que prevalecerán en este mercado globalizado. Se necesita competir con costos bajos y altos rendimientos y eso solo se logra con tecnología de punta.

Este trabajo se llevo a cabo en el departamento del casanare en el municipio de Yopal, vereda Manantiales y las Brisas, el suelo se debe acondicionar en una muy buena preparación y hacer una calicata para determinar el movimiento de tierra y el tamaño de la melga, ya de haber podido conocer el perfil del suelo y la topografía del terreno se establece sobre plano el manejo del diseño de las melgas según su alturas y formas planimétricas para poder observar sus drenajes y luego iniciar el trabajo de nivelación.

Ventajas: Menor cantidad de semilla (150 – 160 Kg./ha), Ahorro de agua de hasta un 50%, Mayor eficiencia en el control de malezas, plagas y enfermedades, Mayor productividad, Recuperación de los lotes y valorización de la tierra.

Desventajas: Condiciones optima (clima seco), Rendimiento de trabajo en campo es muy lento 1 hectárea por día.

Costos: Nivelación por hectárea de \$1.200.000 con operario y tractor y equipo láser. Caballoniada con láser por hectárea \$55.000 mas tractorista y operario



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN UN CULTIVO DE MANGO (*MANGIFERA INDICA* L.) DE LA MESA CUNDINAMARCA Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO.

Cesar Augusto Valbuena Calderón¹, Luis Joel Martínez M²., Ramón Giraldo H³.

Se estudió la variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo en un cultivo de mango, localizado en la vereda Lagunas del municipio de la Mesa Cundinamarca Colombia (4 ° 35 ' 41 " N ; 74 ° 27 ' 50 " W y 750 msnm.), el área de estudio fue de 5 ha dedicadas al cultivo del mango (variedad *Fairchild*) de 8 años de edad. El muestreo se efectuó en red flexible en 31 puntos georeferenciados con GPS, obteniendo diferentes datos como la altitud y muestras de suelo; en cada punto se tomaron 5 submuestras de las cuáles 4 están separadas a 1m de la submuestra central, luego se mezclaron homogéneamente y se obtuvo una muestra compuesta que se analizó en el laboratorio. El rendimiento se midió contando el número total de frutos por árbol en cada punto de muestreo. Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar y estudiar la distribución espacial de las variables edáficas dentro de un lote de mango y relacionar la incidencia de estas variables con la variación del rendimiento del cultivo. El análisis geoestadístico se llevó a cabo en tres etapas: 1) análisis exploratorio de los datos 2) análisis estructural. 3) interpolación por el método Kriging (residual, ordinario, logarítmico) utilizando el paquete geoestadístico R. Además se realizaron análisis de correlación con el fin de definir relaciones entre las distintas variables en estudio, por medio de la cual se evidenció que existen muchas variables que presentan alta asociación con otras, lo que indica que la variación de estas se puede reducir a menos variables, para tal fin se llevó a cabo el análisis de componentes principales. De los diferentes modelos probados el que dio los mejores resultados fue el modelo de covarianza "efecto hueco". El estudio permite concluir que la variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo en el lote de mango es alta, debido posiblemente a efectos del manejo, la geomorfología del terreno y a diferentes factores formadores de suelo como la pendiente y procesos de erosión y acumulación. En los mapas de distribución espacial se identificaron zonas con mayor variación de las propiedades químicas del suelo asociadas a pendientes fuertes y bajas producciones de los árboles de mango. En cambio en las partes del terreno con pendientes moderadas estas propiedades tienden a ser homogéneas y con valores mayores en la producción y contenidos de nutrientes

Palabras claves: Análisis geoestadístico, Kriging, SIG, interpolador, distribución espacial, georeferenciación, nutrientes, rendimiento.

1 Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: cavalbuenac@unal.edu.co.

2 Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: jmartinezm@unal.edu.co.

3 Profesor asistente, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: rgiraldoh@unal.edu.co.



EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

César A. Cortés¹, Wilson D. Gamboa², Fabio R. Leiva³, Jesús H. Camacho⁴.



El desarrollo de tecnologías que mejoren la sostenibilidad y la competitividad de las agroempresas, en una economía globalizada, está al orden del día. En particular, el manejo de los suelos reviste especial importancia, debido a que es un factor clave en la conservación ambiental y en la productividad de los cultivos. En este sentido, se tiene una opción con el manejo por sitio-específico del suelo, que se basa en la variabilidad espacial y temporal de las propiedades del mismo, resultante de procesos naturales y de la intervención antrópica. La compactación de los suelos agrícolas es un problema limitante que conlleva: disminución en los rendimientos de los cultivos, impactos ambientales relacionados con los llamados gases de efecto invernadero, incremento en el uso de la energía y en los costos de producción. En este contexto, se propuso una investigación con el objetivo fundamental de evaluar la variabilidad espacial y temporal de la resistencia a la penetración (RP) y su correlación con las propiedades físicas densidad aparente (DA) y contenido de humedad (CH) del suelo. Las mediciones respectivas se realizaron en el lote 8 del Centro Agropecuario Marengo (CAM), con un área de 20.000 m², ubicado en el municipio de Mosquera, Cundinamarca (4°42' latitud norte y 74°14' longitud oeste), durante los semestres A de los años 2006 y 2007. El suelo corresponde a las unidades cartográficas Fluventic Humic Dystrudepts y Fluvaquentic Dystrudepts; uso actual en cultivos transitorios. Para la toma de datos se usó una grilla regular georreferenciada con 32 puntos de muestreo, distanciados 25 m. x 25 m., en los cuales se tomaron medidas de RP utilizando un penetrógrafo de cono estándar de 30° y 12.83 mm. de diámetro (ASAE) hasta una profundidad de 0.6 m. Simultáneamente se tomaron muestras en campo con cilindros estándar para determinar a nivel de laboratorio los valores de DA y CH para profundidades de 0.0 – 0.3 m. y de 0.3 - 0.6 m. Para el análisis de datos se han utilizado técnicas de estadística descriptiva, con el apoyo del programa SPSS, para determinar el comportamiento, dispersión y distribución de las variables de estudio. Igualmente, métodos geoestadísticos utilizando GS+ y ArcGIS, para determinar distribución, dependencia y correlación espacial, mediante variogramas, correlación cruzada, kriging y co-kriging. Para la evaluación se analizaron los valores de RP en planos horizontales, a seis profundidades, cada 0.1 m; además, esta variable se evaluó en diferentes planos verticales de acuerdo con los puntos de la grilla utilizada. De acuerdo con los resultados preliminares, la RP a las dos primeras profundidades estudiadas (0.0 m. y 0.10 m.) no presenta dependencia espacial (efecto pepita puro), mientras que en las demás profundidades estudiadas se ajusta a modelos teóricos de variogramas, en su mayoría de tipo gaussiano. En el presente artículo se presentan avances de la investigación, enfatizando en el comportamiento espacial de la RP y su relación con la DA y CH.

Ing. Agrícola, Estudiante Maestría Ingeniería – Ingeniería Agrícola cacortesb@unal.edu.co

Ing. Agrícola, Estudiante Maestría Ingeniería – Ingeniería Agrícola wdegamboa@unal.edu.co

Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co

Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. jhcamachot@unal.edu.co



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN UN SUELO DE LA SABANA DE BOGOTÁ

Juan C. Rodríguez Ch.¹; Jesús H. Camacho-Tamayo²; Carlos A. González M³.

Los objetivos de este trabajo fueron examinar la estructura espacial de la conductividad hidráulica saturada así como el de la conductividad hidráulica no saturada e identificar las posibles relaciones entre la estructura espacial de estas con la de las propiedades físicas del suelo. El estudio se desarrolló con base en los datos obtenidos de 80 muestras que se extrajeron siguiendo una cuadrícula regular de 40 puntos a dos profundidades, trazada sobre una parcela de 1.2 ha. La conductividad hidráulica saturada se determinó por el método del permeámetro de cabeza constante y el por el método del aire caliente se determinó la conductividad hidráulica no saturada la cual se expresó finalmente por el modelo de Richards, dejando así la conductividad hidráulica no saturada expresada en función de la cabeza hidráulica de succión. El análisis geoestadístico consistió en la realización de semivariogramas, ajuste de estos a modelos teóricos de semivarianza, validación cruzada del ajuste y por último estimación por medio de Krigueado puntual. Los resultados obtenidos para las conductividades hidráulicas presentaron un amplio rango y se evidenció que la macroporosidad incide significativamente en la conductividad hidráulica y genera variabilidad de la misma. Para la mayoría de variables que mostraron una estructura espacial bien definida, el modelo teórico de semivarianza Gaussiano, fue el que mejor ajuste presentó.

Palabras Claves: Conductividad hidráulica, propiedades físicas del suelo, variabilidad espacial, geoestadística.

1 Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá, Colombia.

jcrodriguezch@unal.edu.co

2 Ing. Agrícola-M. Sc. Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. E-mail: jhcamachot@unal.edu.co

3 Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.



MODELOS ESPACIALES DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO BAJO TRES SISTEMAS DE USO DE LA TIERRA

I.A. Felipe Andres Martinez Vera, Candidato a MSc en Geomática
I.A. Marco Heli Franco Valencia, Ms.C. en Sistemas Sostenibles de Producción

Se evaluó la densidad aparente del suelo, en superficie y a veinticinco centímetros de profundidad, en dos sistemas silvopastoriles y una pradera convencional dentro del Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia. Se tomaron muestras en red rígida cada diez metros dejando un metro a partir de los bordes de cada uno de los tratamientos, para un total de 32 muestras por tratamiento. Se evaluó la densidad aparente mediante el método del terrón parafinado. Se realizó el análisis exploratorio de datos espaciales, se construyeron los autocorrelogramas, y se modelaron los semivariogramas para cada una de las variables estudiadas, finalmente se utilizó kriging ordinario para la obtención de los mapas. La mayor parte de los semivariogramas modelados presentaron un efecto nugget bastante grande, y los autocorrelogramas mostraron una muy baja autocorrelación espacial a todas las distancias, lo cual se atribuyó a la aleatoriedad de los disturbios sufridos por el suelo antes del establecimiento de los sistemas silvopastoriles. Además se pudo construir que la compactación no era uniforme dentro del área de estudio.



**MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN POR SITIO ESPECÍFICO EN UN
CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) EN LA SABANA DE BOGOTÁ**Javier Rodríguez, Aura González¹, Fabio R Leiva²

Aún en lotes agrícolas pequeños existe considerable variabilidad en los contenidos de nutrientes del suelo. Así, el manejo de la fertilidad por sitio específico se presenta como una opción para mejorar la productividad de la agroempresa y reducir el riesgo de degradación ambiental. Este sistema de manejo busca optimizar el proceso productivo a partir de la variabilidad propia del suelo. Sin embargo, en nuestro país se han reportado muy pocos estudios sobre el particular en cultivos transitorios. En este contexto se planteó una investigación con el objetivo de evaluar la aplicación del manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de maíz, como aporte a la producción sostenible y competitiva en Colombia. Se seleccionó maíz por ser un producto base de la alimentación, renglón importante de la economía nacional (área sembrada superior a 600.000 hás) y porque sus rendimientos y calidad dependen en alto grado de una adecuada fertilización. El ensayo se llevó a cabo en el semestre B de 2006, en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) ubicado en el Km. 12 vía Bogotá-Mosquera (4°42' latitud norte y 74°14' longitud oeste), a 2.543 m.s.n.m., en un lote de 2 hás. Previo al presente ensayo, se aplicó geostatística a los resultados de análisis completos de suelos y a los de rendimientos de maíz en ensayos anteriores en el mismo lote. Esto condujo a establecer dos zonas de manejo de la fertilidad claramente definidas. En cada zona se aplicaron dos tratamientos, uno a partir de la variabilidad específica y otro con la fertilización que se usa comercialmente en ese lote (testigo). El manejo agronómico posterior fue homogéneo para todo el cultivo. La semilla utilizada fue ICA V-508 y la siembra fue mecanizada, con distancias entre plantas de 0.25 m y entre surcos de 0.83 m. Antes de la siembra, se instaló una grilla de 32 puntos de muestreo, distanciados 25 m X 25 m, para hacer seguimiento de las características físicas y químicas del suelo, así como de las variables de desarrollo y rendimiento del cultivo durante el ciclo vegetativo. Para el caso de suelos, se evaluaron las variables correspondientes al análisis completo de laboratorio, y las variables físicas contenido de humedad del suelo (a 2 profundidades) y densidad aparente. Para el caso de cultivos, se analizaron altura de planta (en 3 estados de desarrollo del cultivo), índice foliar, análisis foliar y número de mazorcas cosechadas por sitio. Los resultados muestran mejor respuesta del cultivo en las áreas donde se realizó el manejo específico. El artículo presenta avances de la investigación, con énfasis en aspectos de desarrollo y rendimiento del cultivo, así como recomendaciones para este tipo de manejo de la fertilidad en condiciones de nuestro medio.

1 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. jrodriguez@unal.edu.co,
amgonzalez@unal.edu.co

2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co





CONFERENCIAS

Agricultura de conservación
Magistrales y temáticas

Agricultura de Precisión
Magistrales y temáticas

Agroenergía
Magistrales





CONFERENCIAS TEMÁTICAS

Agricultura de Precisión

EVALUACIÓN DEL MANEJO DE LA FERTILIDAD POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO COMERCIAL DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN LA SABANA DE BOGOTÁ.

César Salamanca¹, Fabio R. Leiva², Laureano Guerrero³.

RESUMEN

En el actual escenario de mercados globalizados, pactos comerciales regionales y bilaterales se requiere, en el sector agrario, obtener una producción competitiva y de bajo impacto ambiental. En este contexto la agricultura por sitio específico busca mejorar la eficiencia productiva y racionalizar el uso de los recursos a partir del manejo de la variabilidad específica de los agroecosistemas. Esta nueva concepción permite, para el manejo de la fertilidad, ofrecer recomendaciones precisas acordes con las características del suelo y del cultivo, a partir de su variabilidad específica. En este contexto se adelanta la presente investigación con el objetivo de evaluar el manejo de la fertilidad por sitio específico, contrastándolo con el convencional hecho por el agricultor. El lote experimental de 2,5 hectáreas está localizado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), en un suelo perteneciente a las series Trojes y Mosquera. Antes de la siembra se instaló una cuadrícula regular de muestreo de 25 X 25 m. con un total de 40 puntos, tanto para el análisis de las características físicas y químicas del suelo como para el muestreo de variables de respuesta del cultivo. Para la definición del manejo de la fertilidad por sitio específico, así como para el análisis de los datos de suelo y de cultivo, se desarrolló un modelo conceptual, que incluye estadística descriptiva y geoestadística. El análisis condujo a determinar tres unidades de manejo, con respecto al factor limitante (K): una para manejo convencional por parte del el agricultor (testigo) y dos para manejo específico de la fertilidad cada una con un nivel diferente de K y una dosis de mantenimiento de P y N. El manejo agronómico fue homogéneo en el resto de los aspectos del cultivo (malezas, plagas, enfermedades). Los resultados mostraron mejor rendimiento del cultivo en las áreas donde se realizó el manejo específico.

Palabras clave: agricultura de precisión, variabilidad, geoestadística, fertilización.

1 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. casalamancac@unal.edu.co.

2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co.

3 Profesor Asistente, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lguerreroj@unal.edu.co.



INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad y el mercado exigen que la producción agrícola genere menores impactos ambientales negativos y aumente su competitividad en un ámbito de globalización. En este escenario, la agricultura específica por sitio (AEPS), también llamada agricultura de precisión, plantea mejorar la eficiencia productiva y racionalizar el uso de los recursos a partir del de la variabilidad específica de los agroecosistemas. (Leiva, 2006). Particularmente, el manejo de la fertilidad por sitio específico permite ofrecer recomendaciones precisas para la fertilización en función del suelo y del cultivo, a partir de la interpretación de su variabilidad para utilizar los insumos adecuados, en la cantidad, sitio y momento requeridos. Esto conlleva a potenciar zonas que naturalmente responden mejor y corregir áreas de bajos rendimientos (Ortega, sf.).

Entre los cultivos transitorios en Colombia, la arveja reviste importancia puesto que cuenta con más de 26.000 productores y genera alrededor de 2,3 millones de jornales/año. En 2004, se cosecharon 25.696 hectáreas, con una producción de 8.000 toneladas en vaina para consumo fresco y 1.200 toneladas de semilla. Por su parte, Cundinamarca participó con 7.655 hectáreas cosechadas y 30% de la producción nacional (Buitrago *et al.*, 2006). Este cultivo se desarrolla en suelos desde arenosos hasta arcillosos, con buen drenaje y pH entre 5.5 - 6.5 (FEDECAFE, 1990). Para un rendimiento en vaina de 4 toneladas por hectárea se requieren, 100 Kg de N, 30 Kg de P₂O₅, 70 Kg de K₂O, 90 Kg de Ca, 40 Kg de Mg y 21 Kg de S (MONOMEROS, 1999).

A pesar del potencial del manejo de la fertilidad por sitio específico, no se han reportado, en el país, estudios de este tipo en arveja. En consecuencia, se planteó la presente investigación para evaluar el manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de arveja en la Sabana de Bogotá y compararlo con el manejo que realiza el agricultor. El estudio hace parte del proyecto de investigación "Manejo sostenible de suelos en sistemas de cultivos transitorios bajo la concepción de agricultura de precisión", cofinanciado por Conciencias.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lote experimental de 2,5 hectáreas está localizado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), 4°42'37,3" Latitud Norte y 74°14'43,2" Longitud Oeste, a 2540 m.s.n.m., con temperatura promedio anual de 13.4 ° C. La distribución de lluvias es bimodal, con promedio de 750 mm por año y corresponde a Bosque seco montano bajo (bs-MB). Los suelos están en un paisaje con pendiente del 0 – 1 % en la posición geomorfológica de terraza baja lacustre perteneciente a las series Trojes, clasificada como Andic Aquic Eutropept, medial sobre arcilloso, mezclado isomésico y Mosquera clasificada como Andic Aquic Eutropept, medial, isomésico. Las dos series presentan suelos moderadamente



profundos, con drenaje moderadamente bien drenado a imperfectamente drenado, texturas franco arcillosas a francas, Carbono orgánico (CO) medio, pH moderadamente ácido, saturación de bases mayor del 50% y sin aluminio intercambiable (IGAC, 1977).

Para el muestreo de suelos se hicieron tres transectos, de forma que cubrieran la totalidad del lote, y se describieron características morfológicas como color, espesor de horizontes y textura por el método organoléptico, para realizar una primera aproximación morfológica de variabilidad espacial. Posteriormente se trazó una cuadrícula regular de 25 X 25 m. con un total de 40 puntos, para muestreo de características físicas y químicas de suelo así como de variables de respuesta y rendimiento del cultivo.

La toma de las muestras para análisis completo de suelos se realizó con barreno, en cada uno de los 40 puntos, conformando una muestra compuesta de cinco submuestras así: una en el sitio determinado para muestreo y las cuatro restantes a un metro de éste, en cruz. Las submuestras se mezclaron de forma homogénea y se llevaron al laboratorio de suelos para análisis completo. Los métodos utilizados para determinación en laboratorio fueron: pH con potenciómetro en relación suelo-agua (p/v) 1:1. Ca, K, Mg, Na intercambiables mediante extracción con acetato de amonio 1N pH 7; Cu, Fe, Mn, Zn mediante extracción con DTPA, valorados por absorción atómica. CO por el método de Walkley y Black, acidez intercambiable (Al e H de cambio) mediante extracción con KCl 1M, capacidad de intercambio catiónico (CIC) por desplazamiento del NH₄ intercambiado con NaCl 1M, estos tres casos fueron valorados volumétricamente. P aprovechable por Bray II, B mediante extracción con fosfato monobásico (Azometina-H), valorado colorimétricamente; arcilla (Ar), limo (L) y arena (A) por Bouyoucos y determinación de la textura en el triángulo de clasificación textural del USDA.

La variable de respuesta fue el rendimiento del cultivo en cosecha. Para el efecto se muestreó, alrededor de los 40 puntos de la cuadrícula, el número de vainas listas para cosecha, en tres metros lineales de surco, con tres repeticiones. El rendimiento en Kg. por sitio se obtuvo multiplicando el número de vainas por el peso promedio de una vaina lista para cosecha, y luego se transformó a rendimiento equivalente por hectárea.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el modelo conceptual de la Figura 2: Se inició con la caracterización de la fertilidad y las necesidades del cultivo de arveja. Luego se realizó el análisis exploratorio de datos (AED) a partir de los resultados de laboratorio, que incluyó medidas de tendencia central y de dispersión, existencia de valores atípicos y evaluación de criterios de normalidad. Para el efecto se usaron los paquetes SAS 9.0 y SPSS 12.0. Posteriormente, se efectuó el análisis estructural para determinar dependencia espacial de las variables, mediante el cálculo del semivariograma experimental según la fórmula (Giraldo, 2002)

$$\gamma(h) = \sum \frac{x + i) - \cdot(x)}{2n} \quad (1)$$



La semivarianza , donde $Z(x)$ = valor de la variable en un sitio x , $Z(x+h)$ = valor de la variable a una distancia h ; n = número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia.

Luego se ajustó al modelo teórico con mayor r^2 , mayor estructura espacial ($C/(C_0+C)$), donde C es la meseta parcial y C_0 la pepita (Kerri et al., 2004) y el de menor suma residual de cuadrados (RSS), usando los paquetes GS+ y GEOEAS. Luego se hizo validación cruzada para corroborar la bondad de la predicción de los semivariogramas teóricos. Con aquellas variables que mostraron un comportamiento espacial consistente en estas pruebas, se usó el interpolador kriging para generar los mapas de fertilidad y de respuesta del cultivo, con los paquetes ARGIS 9.0 (ArcMap 9.1).

La fertilización se realizó por zonas, a partir del modelo conceptual (Figura 1). Este permitió evidenciar las características limitantes del suelo y aquellas variables con alta dependencia espacial con el fin de generar zonas de manejo de la fertilidad. Las demás labores agronómicas fueron las mismas para todos los tratamientos. Se anota que el agricultor aplicó 15-15-15 al suelo, en dosis de 4 bultos/ha, para contrarrestar el efecto de una helada; y, posteriormente, se aplicó por vía foliar Valagro desarrollo (alto en N y P) y Valagro llenado (alto en K).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo presentó texturas entre Franco Limosa y Franco arcillosa predominando la segunda; pH desde ligeramente ácido hasta valores cercanos a la neutralidad con predominio de los primeros; CO medio, ausencia de Al e H intercambiables; P alto; saturación de bases (Ca, Mg, K, Na) del 100%; saturación de Ca excesiva (> 70%); saturación de Mg entre ideal a excesiva (> 15% en 16 sitios); saturación de K deficiente para la mayoría del lote (< 3%, con excepción de 9 sitios que se encuentran en niveles de medio a ideal); elementos menores Cu, Fe, Zn, B en niveles altos, y Mn en nivel medio, según niveles de Microfertisa (2005) (Tabla 1). La caracterización de la fertilidad del lote mostró un suelo eutrófico, donde el manejo de la fertilidad está determinado principalmente por el balance entre bases intercambiables. Específicamente se requirió fertilización con K para mejorar su saturación; igualmente con N y P en dosis baja, considerando la asociación simbiótica fijadora de N y el nivel alto de P pero con alta fijación.



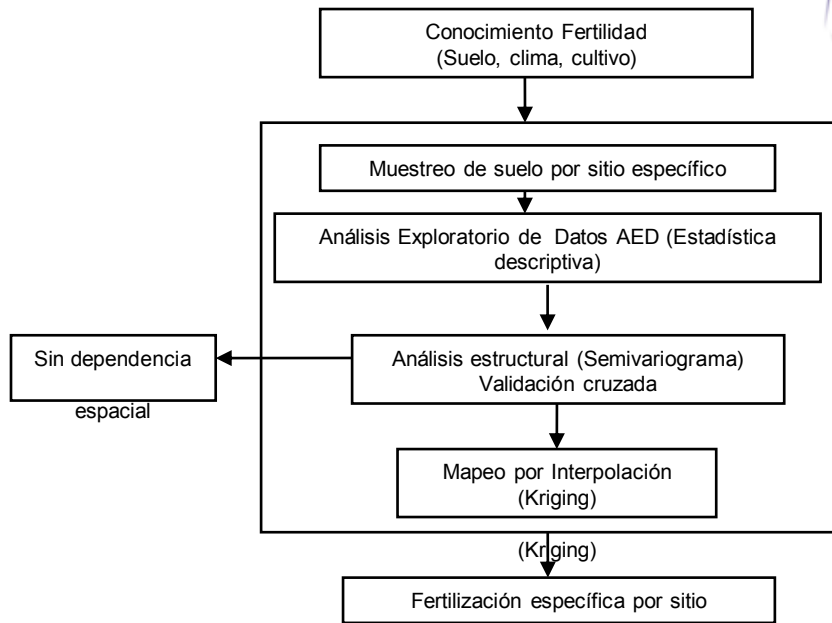


Figura 1. Modelo conceptual para la fertilización específica por sitio del cultivo.

Nueve variables de suelo mostraron distribución normal (CO, Mg, Sat_Ca, Cu, Fe, Zn, B, Ar, L y DA) $p > 0,05$, según la prueba de Shapiro Wilk. A las restantes se les transformó con lognormal, pero no se obtuvo normalidad, por lo cual se siguió trabajando con los datos originales.

Tomando como base los factores limitantes de fertilidad y el análisis estructural (Tabla 2) se seleccionaron las variables K, Na, Sat_Ca, Sat_K, Fe, Zn, Ar, Rto, por presentar proporciones C/C0+C mayores del 70%, mayores r^2 de ajuste a los modelos teóricos y los mejores r^2 de validación cruzada. Las demás variables se descartaron por no ser las limitantes para la fertilidad además ó por no presentar los requerimientos mínimos de dependencia espacial.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionaron las variables Sat_Ca y Sat_K y se hicieron mapas con kriging (Figura 2a, 2b), con el fin de definir el manejo específico por sitio de la fertilidad. Esto condujo a tres tratamientos (Figura3) orientados a mejorar la saturación de potasio, a saber: Tratamiento 1 (T1), con 253 Kg/ha de KCl (0-0-60) para una zona con un grado de saturación de K menor de 1,7 predominantemente; Tratamiento 2 (T2), con 108 Kg/ha de KCl, para una zona con grados de saturación de K desde 1.3 hasta 3 predominantemente, aun limitante; y, Tratamiento 3 (T3) testigo absoluto manejado por el agricultor sin fertilización edáfica inicial, que incluyó zonas con distintos niveles de saturación de K desde 1,3 hasta 7 . Los tratamientos T1 y T2, además, incluyeron una dosis para mantenimiento de 100 Kg/Ha de fosfato monoamónico MAP (10-50-0).



Tabla 1. Resultados del análisis exploratorio para las variables de suelo y de cultivo.

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación	Kurtosis	Asimetría
Reacción de suelo (pH)	6.2	6.2	0.2	5.9	7.2	3.6	9.1	2.5
Carbono orgánico (%)	3.2	3.2	0.2	2.7	3.7	6.0	0.4	-0.2
Calcio cmol(+)/Kg	16.1	15.7	1.5	14.3	21.6	9.3	3.5	1.5
Potasio cmol(+)/Kg	0.6	0.4	0.4	0.3	2.7	75.8	13.8	3.4
Magnesio cmol(+)/Kg	4.3	4.3	0.4	3.7	5.2	8.9	-0.5	0.4
Sodio cmol(+)/Kg	0.9	0.9	0.2	0.7	1.5	19.1	2.1	1.3
Capacidad de intercambio catiónico cmol(+)/Kg	26.2	25.7	1.6	23.9	30.3	6.2	0.6	1.0
Capacidad intercambio catiónico efectiva cmol(+)/Kg	21.9	21.6	2.0	19.1	27.3	9.0	0.5	0.9
Saturación de calcio (%)	73.5	73.6	2.1	66.9	79.1	2.8	2.6	-0.6
Saturación de magnesio(%)	19.7	19.8	1.1	15.4	21.2	5.4	5.7	-1.7
Saturación de potasio(%)	2.6	2.0	1.7	1.3	10.3	64.8	12.2	3.1
Fosforo (ppm)	111.4	112.0	1.8	103.8	112.0	1.6	9.1	-3.0
Cobre (ppm)	3.5	3.6	0.4	2.3	4.5	12.4	1.3	0.0
Hierro (ppm)	205.8	204.0	30.9	119.0	270.0	15.0	0.7	-0.3
Manganeso (ppm)	14.3	13.6	4.1	9.5	36.7	29.0	22.7	4.2
Zinc (ppm)	21.5	21.9	2.7	14.4	26.8	12.7	0.4	-0.4
Boro (ppm)	0.7	0.7	0.1	0.5	0.9	9.5	2.0	0.6
Densidad aparente (g/cm3)	1.0	1.0	0.0	1.0	1.1	2.8	-0.1	0.2
Ar (%)	31.5	31.0	2.7	23.0	36.0	8.6	1.3	-0.7
L (%)	39.2	39.0	3.1	32.0	47.0	8.0	0.4	0.1
A (%)	29.0	29.0	2.7	19.0	35.0	9.3	5.9	-1.8
Rendimiento (Kg/Ha)	998,2	826,9	650	134,6	2461,5	65,1	-0,4	0,826

Tabla 2. Modelos y parámetros de semivariogramas.

Variable	Modelo	Nugget (C0)	Sill (C0+C)	Rango (m)	C/(Co+C)	r2	RSS	*r2
K	Exponencial	0,0001	0,1472	74,7	0,999	0,63	0,0004	0,121
Na	Esférico	0,0166	0,2422	52,8	0,931	0,43	0,0027	0,383
Sat_Ca	Esférico	1,6000	5,9250	193,2	0,718	0,98	0,0300	0,204
Sat_K	Esférico	0,5600	4,0660	189,0	0,862	0,99	0,0089	0,402
Fe	Exponencial	60	975	49,4	0,938	0,56	18584	0,29
Zn	Exponencial	2,6000	11,2000	214,8	0,768	0,99	0,0370	0,332
Ar	Esférico	2,5800	10,4600	212,4	0,753	0,80	0,9080	0,339
Rto	Esférico	14000	375100	42,0	0,963	0,99	8328351	0,462

***Validación cruzada.**

El mapa Sat_Ca evidenció claramente una zona de 74 a 79 % (fig. 2a) donde se encontraron los mayores problemas por desbalance de bases; lo anterior se corrobora en el mapa de Sat_K el cual muestra que en esta zona predominan los niveles más críticos de deficiencia por saturación de K (1,3 a 1,7 % fig. 2b) lo que permite esperar que esta zona sea la de mayor probabilidad de respuesta a la aplicación de K y constituye la razón del tratamiento T1 (fig. 3). De igual forma se observa en la fig. 2a. una zona de saturación de Ca de 72 a 74 % con 2 a 4 puntos porcentuales por encima de lo recomendado para la saturación de Ca, que causa desbalance de bases en una proporción menor que la observada en la zona citada anteriormente. Esto se confirma analizando la saturación de K





(fig. 2b) cuyo rango entre 1,3 y 3 % muestra franjas con niveles muy críticos y otras cercanas a la saturación ideal como las que se encuentran entre 2,1 y 3 %. De acuerdo con lo anterior diseñó el tratamiento T2 (fig. 3) donde se espera que la respuesta a K se sea menor debido a su nivel de saturación. El tratamiento T3 (fig. 3) contemplo una zona con niveles de saturación de Ca y K de distintos valores. Lo anterior evidencia que Ca y K tienen una relación inversa, a mayores niveles de Ca, se reduce la saturación de K.

Figura 2. Mapas de contorno de Sat_Ca, Sat_K y rendimiento del cultivo.

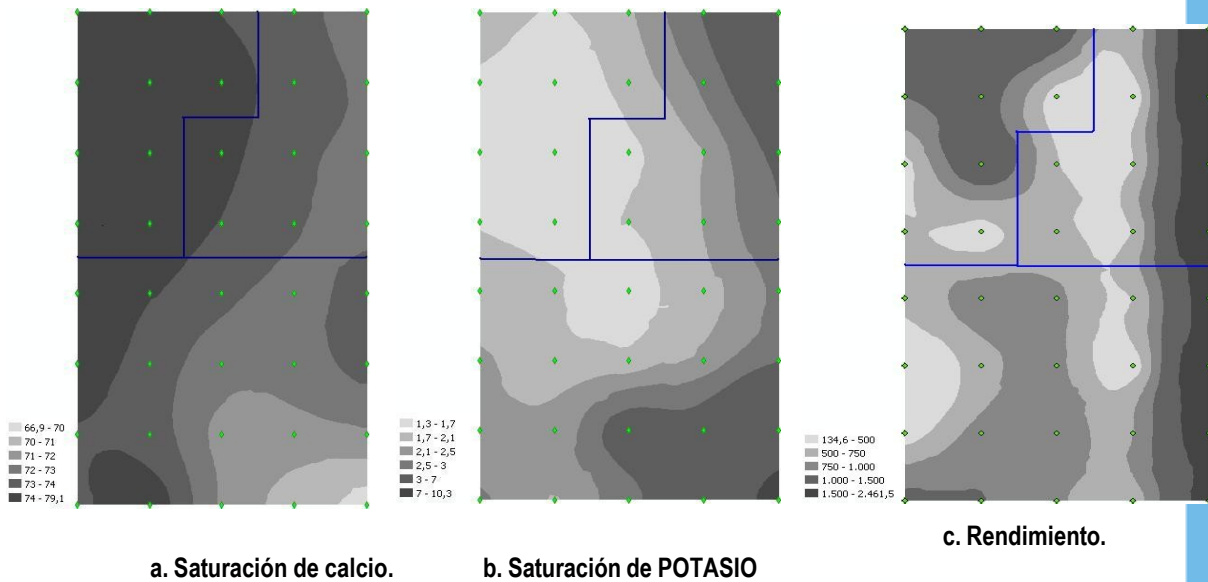


Figura 3. Esquema de los tratamientos.

	T	T	T	T	T
1	1	1	1	2	2
2	T	T	T	T	T
	1	1	1	2	2
3	T	T	T	T	T
	1	1	2	2	2
4	T	T	T	T	T
	1	1	2	2	2
5	T	T	T	T	T
	3	3	3	3	3
6	T	T	T	T	T
	3	3	3	3	3
7	T	T	T	T	T
	3	3	3	3	3
8	T	T	T	T	T
	3	3	3	3	3
D	E				





De la misma forma se mapeo el rendimiento (Figura 2c) para comparar el resultado de las zonas manejadas diferencialmente con el de la manejada por el agricultor ;Se observa en T1 una zona con Rto de 1 a 1,5 toneladas/Ha, (figura 2c).mientras que otra zona con similar saturación de potasio en T3 (figura 3b) tuvo un rendimiento inferior al primer caso entre media y una tonelada/ha, indicando que hubo efectos de corrección de la saturación de potasio en T1 como consecuencia del tratamiento con KCl. Otra zona con altos rendimientos (figura 2c) en T2, mostró (figura 2b) una saturación de K entre 2,5 y 7 % en ella el mayor rendimiento está explicado por el balance de K alrededor del ideal (3 %) y por el aporte de éste elemento proporcionado por el tratamiento (T2). De esta forma se pudo observar como las aplicaciones diferenciales de K, acercaron zonas muy críticas a los niveles de rendimiento mas altos observados en otras con mejor balance de igual manera en zonas de saturación de K cercanas al ideal la aplicación del KCl favoreció la producción, complementando su mejor condición inicial... De esta forma se cumplen dos de los objetivos del MEPS.

Kerry and Oliver (2004) proponen trabajar con distancias de muestreo equivalentes a la mitad del rango de dependencia espacial. De acuerdo con este criterio, la distancia de muestreo de K, Na, Sat_Ca, Sat_K, Fe, Zn y Ar presentaron rangos de dependencia espacial entre 52 y 215 metros lo que indica que para estas variables la distancia de muestreo utilizada puede ampliarse hasta la mitad de los rangos encontrados para cada variable. En el caso del rendimiento la magnitud del rango fue menor de 50 m. lo que indica que esta variable debería ser muestreada a menores distancias de las utilizadas en el estudio.

CONCLUSIONES

El MEPS de la fertilidad de este suelo bajo condiciones eutróficas estuvo basado principalmente en el balance de bases intercambiables. Se recomienda para cultivos de arveja en estos suelos prestar especial interés a este balance.

La metodología usada conllevó a identificar zonas de manejo de la fertilidad, que permitieron racionalizar el uso del fertilizante y mejorar la respuesta del cultivo, frente a la fertilización que realiza el agricultor.

La investigación indica que la distancia de muestreo puede ser mayor a la utilizada (25 m.) para las variables analizadas, con excepción de la correspondiente a rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

BUITRAGO, J., DUARTE, C & SARMIENTO, A. 2006. El cultivo de la arveja en Colombia. Produmedios. Bogotá D.C.

CERRI, C.E.P., BERNOUX, M., CHAPLOT, V., VOLKOFF, B., VICTORIA, R.L., MELILLO, J.M., PAUSTIAN, K., CERRI, C.C. 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. Geoderma. 123: 51-68.



FEDECAFE (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia). 1990. El cultivo de la arveja. 5a. ed. Editorial FEDERACAFE. Bogotá D. C.

GIRALDO, R. 2002. Introducción a la geoestadística: Teoría y aplicación. Trabajo docente. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de estadística. Sede Bogotá.

IGAG (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1977. Estudio general y detallado de suelos de los municipios de Cota, Funza, Mosquera y parte de Madrid: departamento de Cundinamarca. Editorial: IGAG. Bogotá D.C.

KERRY, R and OLIVER, M. 2004. Average variograms to guide soil sampling. En: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 5: 307–325.

LEIVA, F. R. 2006. Aproximación al manejo sitio-específico del suelo para una agricultura sostenible y competitiva en Colombia. Suelos Ecuatoriales 36 (2). Bogotá D. C.

MICROFERTIZA: GOMEZ, M. 2005. Guía técnica para el manejo nutricional de los cultivos. (2ª.Ed.). ProduMedios. Bogotá D. C.

MONOMEROS: GUERRERO, R. 1998. Fertilización en cultivos de clima frío. Segunda Ed. Saenz y CIA LTDA. Bogotá Colombia.

ORTEGA, R & FLORES, L. sf. Agricultura de precisión: Introducción al manejo sitio-específico. CRI INIA Quilamapu. Chile.

Agradecimientos: Se agradece a COLCIENCIAS y a la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del presente proyecto de investigación.



METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA APTITUD DE LAS TIERRAS EN FRUTALES CADUCIFOLIOS, COMO UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LA TIERRA Y EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN, BASADO EN CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESPACIAL

Luis Fernando Limas Cano¹
Luis Joel Martínez²



RESUMEN.

El desarrollo del modelo para la evaluación de las variables edáficas a través de indicadores de calidad en los suelos de unidades productivas frutícolas en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá, se fundamenta mediante el diseño y la aplicación de una metodología de capas para relacionar los componentes de calidad del recurso suelo, el estado de este, el manejo y su relación de la producción en frutales de hoja caduca a nivel de finca; el modelo busca establecer cual es el componente esencial que permitiría al usuario la identificación de las relaciones entre el tipo de cultivo a explotar y las condiciones especiales que tiene el recurso suelo, como potencial de explotación para un producto. Con la utilización de técnicas geomaticas se definen mapas temáticos los cuales por medio del uso de la geoestadística muestran la relación de la variable de estudio, en función con la producción. La integración de estas variables permite tomar decisiones sobre el posible manejo o la ubicación de cultivos futuros y especialmente para la búsqueda de la sostenibilidad, manejo y conservación del recurso suelo, basados en el análisis espacial. Este documento busca definir una metodología como aporte a diferentes trabajos de investigación que busquen integrar zonas agro ecológicas, unidades de tierra, fincas y/o parcelas para un determinado modelo productivo, como fue el caso de estudio del municipio de Nuevo Colon, el cual se reconoce por la producción de frutales caducifolios y se localiza a los 05° 21' 45" N y los 73° 27' 52" W del centro – occidente del departamento de Boyacá.

Palabras claves: Metodología, integración, indicadores calidad, caducifolios, ZAE.

INTRODUCCIÓN.

El uso de los indicadores para la agricultura se centra en las funciones de la tierra, evaluación de la tierra, calidades de la tierra, sostenibilidad, resiliencia y otras, que definido

1 Ingeniero Agrónomo, Candidato a Maestría en Geomática, Docente – Investigador. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. E-mail: lilimas@udca.edu.co.

2 Agrólogo, M Sc. Geomática, Docente – Investigador. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. E-mail: ljmartinezm@unal.edu.co



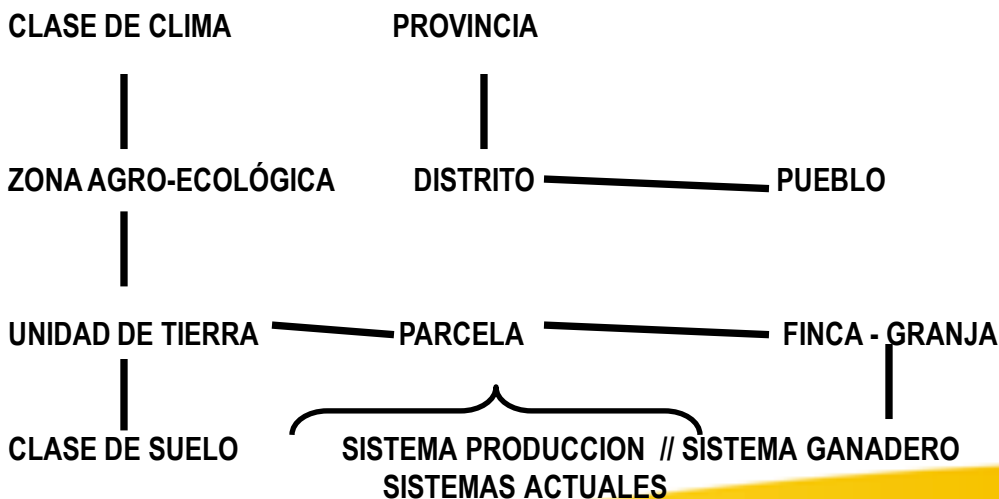


En donde:

UNIDAD DE TIERRA. Contiene información sobre las características físicas de las unidades trazadas diferentes (tipo de la tierra, pendiente, etc.); **PARCELA** contiene información sobre el paquete tecnológico que el agricultor usa para la explotación (área, disponibilidad de riego, etc.); **SISTEMA DE PRODUCCION** contiene información sobre las cosechas o modelos de producción ganadero aplicados en la granja, los tipos de uso de tierra, entre otros; **FINCA – GRANJA** contiene información sobre la unidad de cultivo (nombre, disponibilidad laboral, equipos utilizados, etc.).

El procedimiento de evaluación de tierra provee los datos a las entidades según la unidad y en alguna magnitud para alimentar el sistema, con lo que se proveen los datos al paquete de entidades, tales como la granja y sistema agrícola que lo integra (parcela). Los datos de unidad de tierra son reunidos con la geo referenciación de los mismos y representados en un mapa. Por lo consiguiente se pueden entrar a detallar los atributos de los datos específicos, como lo son las parcelas, cultivos, ganadería, entre otros. Todas las otras entidades pueden relacionarse entonces también a la unidad de la tierra. En donde la unidad de tierra que es inspeccionada puede evaluarse a través de una capa del mapa definida en la unidad de tierra y o el topográfico, mapa usado para el estudio a nivel de granja. La planificación de uso de tierra podría beneficiar substancialmente a la estructura de la base de datos como se indico anteriormente (FAO, 2003).

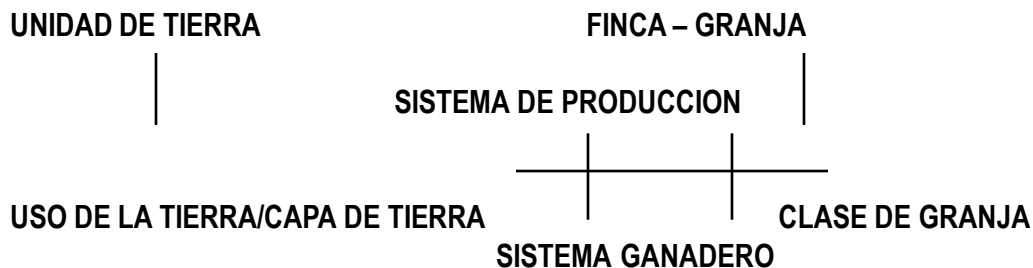
Louise Fresco, junto con algunos coinvestigadores, desde 1992 en la FAO han venido desarrollando metodologías que permiten que la base de datos presentada esquemáticamente antes, articule y proporcione respuestas suficientes para la planificación de uso de tierra. Sin embargo, se entiende que para lograr este objetivo en busca del adecuado almacenamiento de la información adicional. El mismo autor buscando la adecuada planificación y el ordenamiento del desarrollo de modelos agrícolas en el África, en el 2003 plantea que se debe tener en cuenta el esquema conceptual de la base de datos, el cual se podría seguir como la estructura siguiente:





Del lado izquierdo del esquema puede contener la información sobre los recursos naturales, del lado derecho, la provincia y su relación con entidades, (distrito – pueblo) lo que refleja información en materias administrativas y la información socio-económica que se pueda almacenar. Esta información relaciona a menudo a las unidades administrativas y puede coleccionarse de las datos estadísticos. En el paquete de entidades, la finca - granja, el cultivo (o cultivos) y el sistema ganadero pueden guardarse con los datos de los estudios de la granja, incluso los precios transados y subproductos de la granja. Las líneas indican que más entidades pueden agregarse, según el tipo de información coleccionada o necesaria (FAO, 2003). Las entidades cultivadas en la finca, necesariamente no tienen que contener información sobre todos los componentes de la granja y/o unidades de área. Un estudio a nivel de granja generalmente cubrirá sólo una muestra de la población total, en donde se pueden extraerse datos en el número total de granjas definidas en un área (pueblo o distrito) de otras fuentes (por ejemplo las estadísticas). El total puede compararse entonces con el tamaño de la muestra en esa área, si la muestra no es demasiado pequeña, pueden hacerse extrapolaciones al número total de fincas. Si la granja y datos del paquete parecen no estar disponibles en ciertas unidades de la tierra, eso provee una indicación a los faltantes en el estudio de la granja que del 'convencional' agregando información faltante a los datos que estructuran la base final (Rossiter, 2005).

La relación entre el uso de la tierra y las unidades de tierra, se pueden establecerse gráficamente a través de la manipulación del mismo mapa. Cuando la relación es establecida, el resultado puede guardarse como una base de datos alfanumérica que describe cuál es la clasificación sobre el uso de la tierra y unidades de tierra que existen en una misma región (Fresco et al, 1992). Este concepto se basa sobre el siguiente esquema, teniendo en cuenta la base de datos, la cual puede tener la siguiente estructura, así:



Las entidades que integran el sistema, sistema ganadero y cultivo o cultivos de se encuentran en la finca, estructuran la clase de granja comprendiendo la información final, considerada como tipo de uso de tierra. La clase de granja puede contener información sobre los atributos que la integran, la finca, entidad que podría contener un poco de información adicional sobre la parcela seleccionada en el rápido estudio del campo. En esta estructura las preguntas necesarias para la evaluación de la tierra, todavía pueden reestructurarse.





METODOLOGÍA Y RESULTADOS.

la evaluación de la tierra y el sistema de producción, basado en conceptos de análisis espacial inicialmente esta fundamentada por una serie de pasos, que tiene como ejercicio mostrar la utilización de fotografías

La metodología planteada para evaluar la aptitud de las tierras en frutales caducifolios, es una herramienta de integración en aéreas en diferentes épocas, con el fin de establecer la diferencia de unidades de área de interés en el tiempo, definiendo unidades fisiográficas, pedológicas, de suelos y de cobertura y uso de la tierra. Mediante técnicas propias de los sistemas de información geográfica, se establecen y definen zonas agro ecológicas, reconociendo dentro de las mismas unidades de explotación para el estudio in-situ de indicadores para la calidad del suelo, con el fin de realizar un modelo que contemple la estructura de producción de la especie bajo estudio en lo ambiental, en lo agronómico y en lo edáfico según características físicas y químicas, figura No 01. Modelo conceptual.

La siguiente explicación se basa sobre la experiencia en el desarrollo del trabajo de investigación '**Modelo para evaluar la aptitud de las tierras para frutales en Boyacá basado en conceptos de análisis espacial**'. Para esta investigación se definió un área de estudio, la cual presenta unidades de explotación frutícola, Nuevo Colón, se localiza a los 05° 21' 45" N y los 73° 27' 52" W del centro – occidente del departamento de Boyacá, cuenta con un régimen unimodal, con precipitaciones promedio de 900 mm/año; la temperatura oscila entre los 12.8° C y los 15.2° C, la humedad relativa entre 65% y 90%. Municipio de producción frutícola, especialmente frutales de hoja caduca como: peras, duraznos, ciruelas, manzanas y curubas. La cabecera municipal se encuentra a una altura de 2.400 m.s.n.m. El modelo integra las siguientes variables definidas así:

Cartografía básica. Las metas y los objetivos de trabajos en donde se pretendan desarrollar este tipo de metodologías deberán ser establecidos de acuerdo a la unidad cartográfica correspondiente a la zona de estudio. Para el caso en particular, se contó con una cartografía base a una escala 1: 25.000 producida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, para el departamento de Boyacá. A partir de esta se identifico la zona de estudio, vías de acceso, gradientes altitudinales y sus respectivas curvas a nivel. De igual forma limites municipales y definición de zonas de interés, como cuencas hidrográficas, cabecera municipal, entre otras. Las curvas a nivel de esta cartografía se digitalizaron en Autodeskmap, lo que tiene como finalidad definir la cartografía temática a 1: 10.000 la cual se definió a través de un DEM, considerando así mismo las diferentes cuotas altitudinales del municipio.

Fotointerpretación. La construcción base del modelo se fundamento por medio del análisis y definición de los límites físicos por diferencias, lo que a su vez permitió determinar las unidades de muestreo. La selección de estas áreas se definieron de acuerdo a las tres unidades de paisaje identificadas en el municipio de Nuevo Colon. La organización y los procedimientos para la recolección de datos, tiene directa relación con la fotointerpretación, ya que permite definir los métodos de muestreo la secuencia de los mismos y la ubicación



de estos. Se deben de buscar fotografías aéreas que presenten diferentes momentos de secuencia en el tiempo. Este procedimiento define resultados como el siguiente ejemplo, tabla No 01.

FIGURA No 01. MODELO PARA EVALUAR LA APTITUD DE LAS TIERRAS PARA FRUTALES EN BOYACÁ BASADO EN CONCEPTOS DE ANÁLISIS ESPACIAL.

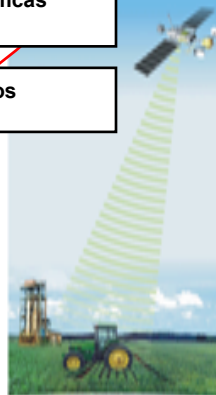
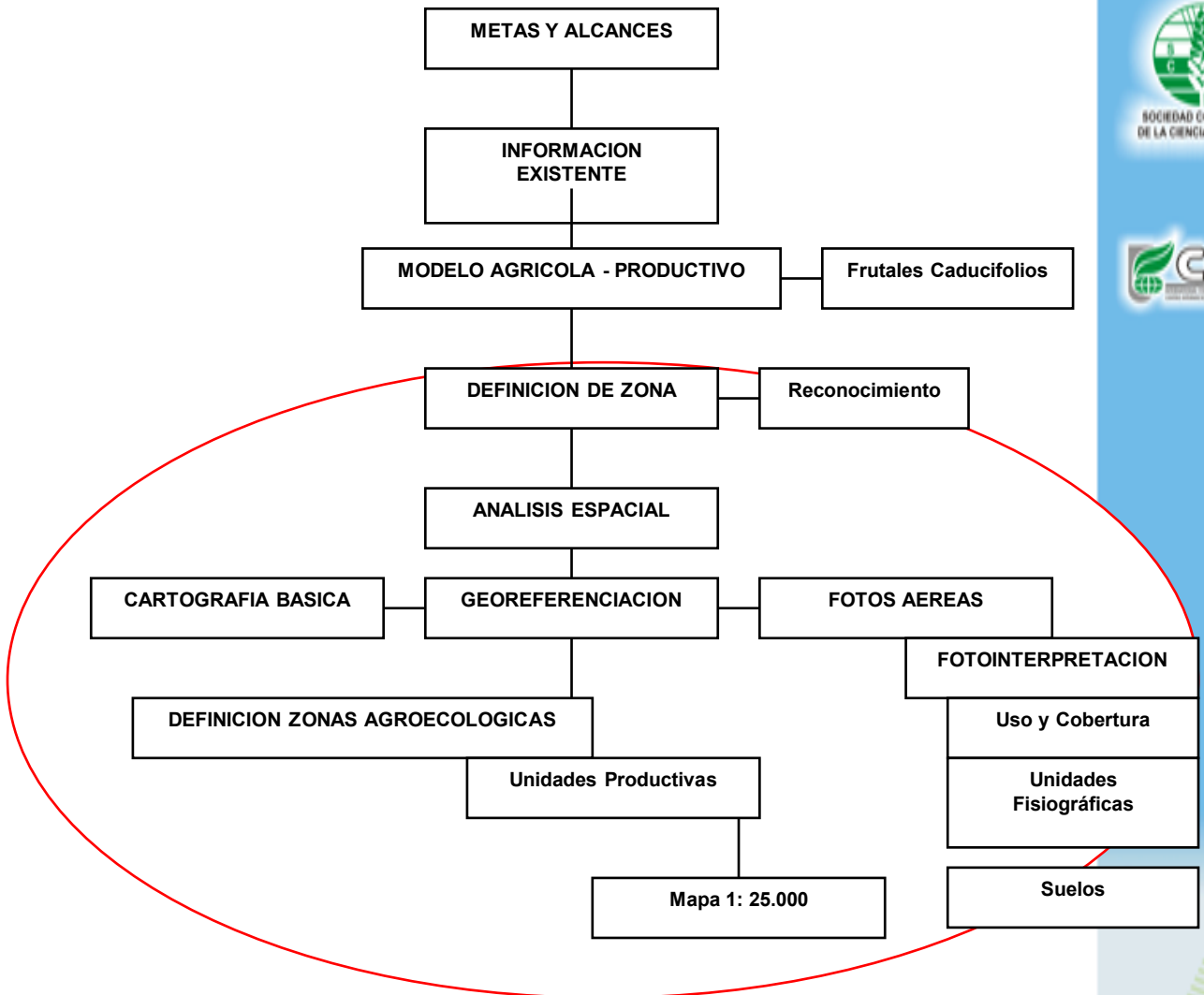


Tabla 1. Principales zonas agroecológicas, del municipio de Nuevo Colon y veredas que integran la zona de estudio.

ZONA AGROECOLOGICA	VEREDAS QUE INTEGRAN	OBSERVACIONES
B Zona Norte	<ul style="list-style-type: none"> • Llano grande • Carbonera - norte • Jabonera – Occidente • Centro Rural – norte 	Es una de las zonas mas representativas en cuanto a la explotación de frutales de hoja caduca en el municipio de de Nuevo colon – Boyacá. Es la zona de mayor extensión, de igual forma es en la vereda Llano Grande en donde se encuentran la unidades de explotación mas tecnificadas y recientes.
A Zona Centro	<ul style="list-style-type: none"> • Centro Rural • Jabonera 	A esta zona pertenece la granja que hace parte del municipio y de propiedad del INCODER, la cual ocupa una área de 12 fanegadas, la granja tiene la función experimental e investigativa. Tiene un grado de tecnificación alto, cuenta con una estación agro climatológica y variedad de cultivos incluyendo un manzanar de 50 anos de edad.
C Zona Sur - Oriente	<ul style="list-style-type: none"> • Potreros • Fiota • Carbonera – Sur 	Es la zona mas quebrada del municipio de Nuevo Colon, y de igual forma se registra el gradiente altitudinal mas alta, .s.n.m, limita con el municipio de Tibana.
D Zona Sur	<ul style="list-style-type: none"> • Potreros – Sur • Tejar Abajo • Tejar Arriba 	Es la zona que limita con el municipio de Turmequé, y en donde se encuentra el gradiente altitudinal mas bajo de la zona, de igual forma es una zona en donde ya se integran distintos modelos de producción, explotación frutícola y ganadería (pastos).

Unidades fisiográficas. Las unidades fisiográficas relacionadas en la tabla No 01, están interpretadas con relación a la fotografía aérea. Generando la respectiva clasificación para unidad climática, gran paisaje, paisaje y litología y subpaisaje, al definir estas unidades se fundamentaría un primer resultado, permitiendo estructurar correctamente a nivel de paisaje y subpaisaje zonas potenciales en las cuales se definirían unidades de producción frutícola, el municipio de Nuevo Colon se caracteriza por contener zonas agro ecológicas agrestes, al tener zonas agro ecológicas mas homogéneas en cuanto a su pendiente no se definirían tantas unidades fisiográficas, tabla No 02.





Tabla 2. Unidades fisiográficas del municipio de Nuevo Colon – Boyacá.

Unidades Fisiográficas

UNIDAD CLIMATICA	GRAN PAISAJE	PAISAJE Y LITOLOGIA	SUBPAISAJE		
TIERRAS FRIAS SEMIHUMEDAS	Relieve Montañoso Estructura Erosional A	Montaña Anticlinal A1	Ladera Estructural Fuertemente empinado A 1.1		
			Ladera Erosional A 1.2		
			Canteras A 1.3		
			Relieve Montañoso Estructura Erosional B	Montaña Anticlinal B1	Ladera Estructural Fuertemente empinado B 1.1
					Ladera Erosional B 1.2
					Relieve Montañoso Estructura Erosional C
	Ladera Erosional C 1.2				
	Relieve Montañoso Estructura Erosional D	Montaña Anticlinal Simple D1	Ladera Media D 1.2		

Cobertura y uso de la tierra. Definir la cobertura y uso del recurso suelo es determinante para este tipo de integraciones evaluando la aptitud de las tierras y el sistema de producción, basado en conceptos de análisis espacial, ya que determina finalmente el potencial y la funcionalidad de una zona agro ecológica, identificando la vocación principal de la zona a lo largo de los años o por ende definiendo zonas con una alta capacidad de uso, las cuales se pueden describir como en el siguiente ejemplo, tabla No 03, e interpretada, así:

Tabla 3. Cobertura y uso del suelo en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá.





COBERTURA VEGETAL	USO ACTUAL	SIMBOLO
<p align="center">ZONA A</p> <p>Bosque nativo arbustivo propio de la zona de páramo de mas de 3.000 msnm. Piso térmico extremadamente frío presencia de frailejones, pajonales, gramíneas, entre otras.</p>	PROTECCION	Vb
Cultivos anuales como, papa, arveja, maíz, cereales, avena trigo.	CULTIVOS ANUALES	Cu
Pastizales, área con cobertura densa de pastos, donde se evidencian prácticas agronómicas de manejo.	PASTIZALES INTRODUCIDOS MANEJADOS	Pm
Pastizales, área con cobertura densa de pastos, pero con árboles o arbustos diseminados en la superficie.	PASTIZALES NATURALES CON ARBOLES O ARBUSTOS	Pa
Áreas en cultivos caducifolios propios de la zona de estudio como manzana, pera, ciruela, durazno, Feijoa, entre otros.	FRUTALES CADUCIFOLIOS	Cp
Presencia de roca masiva sin cobertura vegetal.	EXTRACCION MATERIAL	Er
Áreas boscosas selectivo de especies, circundantes por establecimiento de pastizales, o potenciales maderables, pan coger.	BOSQUE INTERVENIDO PROTECCION	Bi

Georeferenciación. Como el principio básico en la aplicación de estas metodologías, es el uso de sistemas de información geográfica y su respectiva relación entidad – atributo, se debe definir mediante el uso de un sistema de posicionamiento global. La georeferenciación de la zona de interés, teniendo en cuenta la cartografía básica, la definición de unidades de paisaje; a estas, se les georeferencian diferentes puntos característicos de la zona de estudio (las cuales son de gran importancia para determinar posteriormente trayectorias y distancias a las unidades productivas), se tomaron puntos característicos como lo son para el municipio la granja experimental, vías principales, intersecciones, entre otras. Las unidades de producción frutícola o unidades de muestreo, fueron igualmente georeferenciadas en los mismos puntos en donde se realizo la descripción de suelos (punto más representativo).

Base de datos a nivel de finca. Es importante identificar las características de los sistemas de producción, con el fin de definir el grado de tecnificación, modo de producción, mercadeo y comercialización, área de explotación, georeferenciación de la unidad de explotación, métodos y técnicas de producción, tipo organización del agricultor, siendo





estos a nivel de parcela. A nivel de planta, tipo de fruta, arreglo espacial (líneas o sistemas tres bolillo), monocultivos, cultivos en asocio, edad de la plantación, altura y dosel de la planta, área de producción. El modelo integrara la relación de estos datos con el fin de que tenga la posibilidad de ser retroalimentados cuando el sistema de producción tenga alguna modificación en el tiempo, buscando que este se relacione en lo posible con modelos estadísticos y de alguna forma integrar estadísticas agrícolas de la zona de estudio. Este resultado permite estimar, tipo de cultivos, unidades cartográficas, uso del suelo, manejo del mismo, potencial actual y la producción de los cultivos (rendimiento/hectárea) y según la pertinencia de cada investigación se podrán obtener mas datos según lo a merite.

Indicadores a nivel de los sistemas de cultivo. El análisis ofrecido por la información sobre el sistema de producción y tipo de cultivo, el arreglo espacial, los cambios en el cultivo, cantidad de la producción antigua y actual. Esta información se recolectara con base en el análisis hecho a la misma unidad de parcela y corroborada con el propietario, a través de una encuesta, entrevistas, videos, otros. De igual forma deben definir las posibles estrategias propias para el desarrollo del cultivo: la remoción o la adición de subproductos sobre todo de consideraciones tales como las necesidades de fertilización, producto, dosis, momento de aplicación y fertilizantes específicos. El resultado de esta investigación también asumió el estado actual del balance negativo de nutrimentos en el sistema producción del cultivo, específicamente a tener en cuenta en cultivos perennes, previamente establecidos.

Pendiente de las áreas de muestreo. La unidad de medida es dada en porcentaje, la cual se toma de acuerdo a los aspectos topográficos del predio, la lectura de la pendiente se debe registrar de acuerdo a la misma variabilidad, en donde se toma un registro cada vez que se marque un cambio y de igual forma la dirección de la misma, realizando un diagrama del terreno plasmada en las encuestas. A su vez estos datos pueden ser georeferenciados para así determinar un mapa temático de variabilidad de la pendiente en la unidad productiva

Caracterización de la parcela o Sitio. Esta toma de datos inicialmente debe ser estructurada con base a modelos estadísticos (geoestadística) propios de la aplicación de software específicos en la modelación de las variables que integran el análisis espacial, lo cual tendría como resultado de acuerdo a la variabilidad en campo, el tamaño de la unidad productiva, la pendiente, la homogeneidad o heterogeneidad de la misma y el tipo de cultivo a proyectar o in situ; con una malla de muestreo, se pretende determinar puntos representativos para la toma indicadores de calidad de suelo, este principio es totalmente viable y utilizado en modelos apropiados para la agricultura de precisión. Las características del sitio y clima, corresponden a parámetros para definir la aptitud de las tierras, a definición del sitio, con respecto a la calidad del suelo, se determina de acuerdo a los resultados de la fotointerpretación de la zona, a su vez buscando que estas unidades de producción sean representativas en la zona agro ecológica en estudio, que son directamente relacionadas con cambios en la temperatura, humedad relativa y brillo solar, (especialmente cuando se encuentran determinadas por el gradiente altitudinal), para el





caso de estudio, en las tres unidades de paisaje definidas en la fotointerpretación, se ubicaron cuatro lotes en promedio, siempre y cuando mantuvieran las siguientes condiciones: diferencia altitudinal, fueran parte de la unidad de paisaje y tuvieran frutales caducifolios.

Medición de la calidad del suelo. Esta se determina por la descripción de suelos tanto para parámetros químicos como físicos, los cuales se definen por medio de una calicata principal y la confirmación de cajuelas dentro de la misma unidad de muestreo (red – malla), esta confirmación depende del cambio en el suelo y la serie de características del mismo, para lo cual se busca identificar: historia de manejo, en donde se incluye una descripción del manejo anterior y presente de tierras y cultivos; tipo, volumen y método de fertilización; o otras prácticas. Un grupo mínimo de propiedades del suelo, o indicadores, deben de ser escogidos para definir su relación con la aptitud para indicar la capacidad del suelo y su función en la explotación de cualquier producto de índole agrícola (caso de estudio, frutales de hoja caduca), capacidad de uso y su relación con el clima, determinadas por medio de los categorización de la **Calidad del suelo como indicador**

Químico: Una consideración importante para determinar este ítem es unificar dentro del área de muestreo en el lote la variabilidad de este. Las propiedades del suelo naturalmente varían a lo largo de un lote, la variabilidad edáfica también se puede definir como la intervención de operaciones de manejo, diferencias en el tipo de suelo, diferencias en el crecimiento de cultivos, diferencias en la pendiente, áreas húmedas, áreas secas, con base en esto se determinara para este indicador algunos lineamientos generales. El balance de nutrimentos de los principales cultivos de hoja caduca en el área de investigación; definió el balance de nutrimentos en la unidad de muestreo, la reunión de estas conforma la información de este mismo balance pero para una unidad de paisaje y lo concerniente para una región. El flujo de nutrimentos, define como el ingreso y egreso de nutricional, permite extraer conclusiones acerca de la tendencia de las parcelas de estudio y estado actual, por lo tanto, como indicador substitutivo potencial se relaciona esta nutrición a la producción, para la elección de sitios de muestreo con los siguientes parámetros y según criterio del evaluador:

Serie de Suelos: El nombre de la serie puede encontrarse a través de la descripción y la metodología establecida para dicho fin. **Historia de manejo:** este ítem incluye una descripción del manejo pasado y presente de tierras y cultivos; tipo, volumen y método de fertilización; uso previo. **Pendiente y aspectos topográficos del predio:** se registrara el porcentaje de la pendiente en los sitios de muestreo dentro del lote y debe mencionar lomas, elevaciones, depresiones, pozos etc. **Locación del lote y de las áreas de muestreo:** se incluirá la longitud, la latitud y altimetría, con la utilización de una unidad GPS. Esta además contendrá una indicación sobre la ubicación (distancia a un sitio de referencia), la cual se representara con un dibujo del predio mostrando esta área de muestreo. De igual forma se identifican las diferencias y variaciones entre tipos de suelos,



dentro de la unidad de mapeo, esto se corrobora por medio de un barreno con el cual se establecen las ubicaciones de los muestreos más representativas dentro de la parcela y así se definen sitios problemáticos dentro de un lote, con el fin, que cuando se estén modelando los datos se tenga en consideración un manejo específico para este tipo de limitantes.

El número de muestras. estas dependen de la variabilidad que se tenga en campo, para esta investigación se recolectaron un mínimo de tres muestras o mediciones de cada una de las combinaciones de tipo de suelo y manejo. En general, cuanto mayor fue la variabilidad mayor fueron el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo a la escala del lote. Esto con el fin de medir CE, pH, y nitratos del suelo a escala de lote, para las unidades productivas en Nuevo Colon, se determino un numero de ocho o nueve muestras de barreno, tomadas a través del lote, con lo que se agrupo y mezclo, dos submuestras, de este material mezclado, se determina para el respectivo análisis fisicoquímico. Este análisis de suelo debe ser completo tanto para determinar elementos menores, como mayores y algunas condiciones físicas que no se pueden registrar en campo o se pueden corroborar. Esto con el fin de definir indicadores a nivel de campo, ya que la evaluación de la sostenibilidad a nivel de parcelas (fincas) se dirige sobre todo a aspectos físicos y ecológicos de la sostenibilidad, propios del sistema de producción. Teniendo en cuenta lo anterior la importancia de este procedimiento determina el balance de los nutrimentos y su tendencia en el tiempo, por medio de indicadores sustitutos se comprueba como una alternativa de manejo a largo plazo define la medida de los datos físicos y resiliencia que tienen los suelos para la producción en frutales de hoja caduca, según el caso de estudio.

De acuerdo a lo anterior es aquí donde se define lo innovador de este modelo o tipo de metodologías, en donde la compilación de datos de cada una de las unidades de muestreo, se pueden integrar a una zona agro ecológica y a su vez esta zona integrarla junto con otras zonas agro ecológicas, pertenecientes a parámetros eco fisiológicos propios o determinantes del modelo de producción bajo estudio. Esta integración se realizo específicamente a la denominada red de frió propia del municipio de Nuevo Colon – Boyacá y que fisiológicamente determina la producción de frutales de hoja caduca.

La Calidad del suelo como indicador físico, para este fin se tuvieron en cuenta los parámetros físicos mas importantes, como: el contenido de materia orgánica, estructura física (agregados – espacios porosos), entre otros, determinantes para la producción de frutales de hoja caduca, sin embargo este componente depende directamente del tipo de cultivo de estudio o el cultivo a proyectar, (incluyendo especies forestales), y otras variables tales como: **Profundidad efectiva**, determinada por el espesor del material del suelo en el cual las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente para obtener agua y nutrientes. Esta distancia vertical del suelo, puede permitir el desarrollo normal de las raíces para el





crecimiento vegetal. Se determina en el perfil del suelo a través de una calicata, en donde se define la limitante física que dificulta el crecimiento de raíces o su afectación, como material parental, nivel freático, capas calcicas, toxicidad mineral, horizontes compactos o segmentados, entre otros. Su unidad de medida es dada en centímetros y de igual forma valorada de acuerdo a la tabla No 04. Clases de profundidad efectiva

Tabla 4. Clases por profundidad efectiva

CLASE	PROFUNDIDAD (cm)
Muy superficial	< 25
Superficial	25. - 50
Moderadamente profunda	50. 100
Profunda	100 - 150
Muy profunda	> 150

Resistencia a la penetración, se busca establecer con la profundidad efectiva y la prueba de la resistencia a la penetración, cual de los dos criterios define la relación de la zona de estudio y la capacidad de mantener o establecer materiales para su explotación. La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (Bradford, 1986). Esta prueba ofrece información acerca de capas impedantes para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. Para tal fin se utilizó el penetrógrafo de cono el cual identifica la restricción del crecimiento del sistema radicular, en este caso para frutales de hoja caduca, la cual es plasmada en una cartulina en donde en uno de sus ejes identifica a que profundidad en centímetros se marca la resistencia sobre la fuerza ejercida, para este caso con un cono de diámetro de 1 cm²; semejando el grosor de una raíz funcional. El número de lecturas debe ser de acuerdo a los cambios identificados dentro del lote, siguiendo la misma metodología para los muestreos de fertilidad, la diferencia es que esta prueba se realiza a lo largo de una línea de siembra y en la parte intermedia de la zona de plateo de la planta.

Densidad aparente, relacionada como el potencial que tienen los suelos, en cuanto a la capacidad para la retención de nutrientes, agua, entre otros. La densidad aparente se define sobre la superficie del suelo, para esto se debe remover el exceso de suelo de la muestra, debido a que es tomada a través de un aforo conocido equivalente a tener 100 cm³, la remoción de la muestra sobrante se hace con una segueta para que la muestra no sea disturbada. La base de la muestra debe mantenerse plana, cortada y nivelada



siguiendo los bordes del anillo. Se pesa la muestra del suelo, registrando su peso en húmedo, una vez secada la muestra se vuelve a pesar y se determina su diferencia, esto con el fin de definir el contenido de humedad del suelo, a través del siguiente cálculo.

$$\text{Contenido de agua del suelo (g/g)} = \frac{\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo secado en el horno}}{\text{peso del suelo secado en el horno}}$$

Seguidamente, el peso del suelo secado se relaciona con el volumen del mismo, para si definir la densidad aparente, aplicando la siguiente relación.

$$\text{Densidad aparente del suelo } \frac{(\text{g})}{\text{cm}^3} = \frac{\text{peso del suelo secado en el horno}}{\text{volumen del suelo}}$$

El número de muestra depende de la misma variabilidad del lote, sin embargo en donde se tomaron las lecturas de resistencia a la penetración, de igual forma se pueden tomar las muestras de densidad aparente, con un promedio de cuatro muestras por unidad de muestreo, para los primeros 5 centímetros y 10 centímetros después de la superficie. Las muestras deben ser analizadas a partir del método del cilindro (5 cms de diámetro por 5 cms de altura).

Porosidad del suelo. Los poros definen el movimiento del agua, crecimiento de raíces y por consiguiente el mismo desarrollo de la planta. En frutales caducifolios son importantes estos espacios porosos ya que definen la capacidad de retención de nutrientes y por consiguiente su fácil disponibilidad para la planta especialmente en las épocas de producción. Una vez definido el espacio de poros ocupado por el agua se multiplica por la densidad aparente, y la porosidad del suelo es definida como la relación de la densidad aparente sobre una constante de 2.65, así:

$$\text{Espacio de poros ocupado por agua (\%)} = \frac{\text{contenido de agua en volumen} \times 100}{\text{Porosidad del suelo}}$$

$$\text{Contenido de agua en volumen } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \text{Contenido de agua en el suelo g/g} \times \text{densidad aparente (g/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Porosidad del suelos (\%)} = 1 - \frac{(\text{densidad aparente del suelos})}{2.65}$$





Información ambiental. Este tipo de metodologías deben contemplar información de las estaciones pluviométricas o agroclimatológicas circundantes a la zona de estudio, con el fin de unificar y extrapolar la información de los indicadores ambientales propios de la zona y la variable determinante para el tipo de cultivo bajo estudio. Para este fin se incluyó la precipitación anual, brillo solar, evapotranspiración, temperatura máxima, media y mínima mensual, lo cual y para el caso de frutales de hoja caduca determina la información esencial y conducta al momento de inducir algunas funciones eco-fisiológicas relacionadas con la producción, como la pérdida de hojas y de igual forma la proyección de la época de floración y fructificación. Esta información se relaciona con el fin de incluir las variables de producción, con los componentes eco fisiológicos que marcan la duración a la cosecha. Estos indicadores y otros factores pueden ser usados para construir escenarios basados en la información disponible después de identificar las deficiencias y evaluar la calidad de suelo.

Análisis de la información. El desarrollo del modelo permite integrar las tecnologías de información geográfica los análisis espaciales y la serie de datos determinados anteriormente, cada uno de estos datos recolectados en campo deben de ser evaluados para definir el estado de las tierras que integran el modelo de producción. Para definir la variabilidad espacial de algunas propiedades del suelo y su relación con la variación de la producción, este análisis se realizó con la integración de la base de datos con el software ArcGis 9.3, en donde buscando integrar todas las variables tanto de suelo, como de la misma planta y modeladas, por consiguiente se genera el modelo con base a los indicadores de calidad para la evaluar la aptitud de tierras para frutales. Estos datos fueron complementados con datos climáticos de modo que el potencial de la producción en frutales de hoja caduca, está definido originalmente con parámetros agroecológicos definidos por la zona bajo estudio. Además, la combinación de estos datos con datos climáticos bien detallados en un área como la mencionada, define la relación con la producción.

Geoestadísticamente. Se realizaron los respectivos análisis a cada una de las variables, lo que permitió graficar mapas de distribución espacial, identificando el comportamiento de cada variable dentro de la unidad de muestreo, para así extrapolarlas a la zona agro ecológica como tal, estableciendo las relaciones entre ellas. En todos los casos se utilizó como criterio de bondad de ajuste el semivariograma, con el fin de establecer relaciones espaciales entre propiedades del suelo y el rendimiento, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson. El principal aporte que permite la geoestadística para este modelo es describir la continuidad espacial, por medio de la correlación entre los datos y su uso en la predicción por medio de kriging. Esta predicción inicia con la determinación de la dependencia espacial entre los datos medidos de la variable de análisis, que se conoce como análisis estructural. El variograma definió la estructura matemática del proceso estacionario, la varianza representó los incrementos de una variable correspondiente al





resultado del semivariograma o función de semivarianza, la cual caracterizo las propiedades de dependencia espacial durante el proceso. La modelación de las variables pueden ser estimadas sobre la misma, en donde se obtienen promedios particulares de algunas zonas no muestreadas, por esto es necesario ajustar y corroborar con modelos estadísticos tradicionales que generalicen una o varias de las tendencias de los datos particulares a las zonas agroecológicas y finalmente de la zona en general.

BIBLIOGRAFIA.

Dumanski, 2002 [Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural](#). Título de la serie: Boletines FAO: tierras y aguas - 5

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management, Smyth, A.J. and Dumanski, J. (eds.). *World Soil Resources Report 73*, FAO, Rome. 74 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. Data sets. Indicators and methods to asses land degradation in drylands. Land degradation assessment methods, indicators and a conceptual framework. *World Soil Resources Reports*. 15-24.

Fresco, L., 2003. Land evaluation and farming systems analysis for land use planning. FAO – ITC. Department of tropical crop science.

Odell, L. y Narain, P. 2003. La calidad de la tierra y otros indicadores de datos estadísticos de desarrollo sostenible, control de calidad y problemas de agregación. Dirección de Estadísticas, FAO, Roma, Italia.

Rossiter, DG. 2005 Digital soil mapping: Towards a multiple-use Soil Information System. *Análisis Geográficos* (Revista del Instituto Geográfico "Augusto Codazzi") 32(1): 7-15.

Rossiter, D.G. 2005. Methodology for soil resources inventories. Segunda edición revisada. Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences (ITC)

Sombroek, W.M., 2001. Evaluación de los recursos de la tierra y la función de sus indicadores. Boletín de suelos de la FAO. Indicadores de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO, Roma, Italia.



COMPORTAMIENTO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO

Jesús H. Camacho-Tamayo; Carlos Luengas; Fabio R. Leiva

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de la densidad de partículas, los contenidos de arena, limo y arcilla y su relación con los contenidos de carbono orgánico (CO) en dos Oxisoles de los Llanos orientales de Colombia. Los dos suelos han sido manejados con labranza de conservación, pero con diferente grado de intervención agrícola: uno con un ciclo de cultivo de soya y el otro con tres años en rotación soya-maíz. La toma de datos se realizó en una malla de muestreo con 42 puntos distanciados 25m x 25 m, a dos profundidades (0 - 0,10 m y 0,10 - 0,20 m). El análisis de las variables se realizó mediante estadística descriptiva, análisis de correlación y geoestadística. Los resultados mostraron que la intervención agrícola influyó particularmente en los primeros 0,10 m del suelo, exhibiendo una menor dispersión de las variables, pero con distribuciones espaciales aleatorias. La mayor intervención agrícola, con labranza de conservación, condujo a incrementos en CO y posibles reducciones de la densidad de partículas; sin embargo, el CO presentó rangos bajos cuando se pudo ajustar a un modelo de semivariograma. La variabilidad y la dependencia espacial encontradas para los contenidos de arena, limo y arcilla, y su expresión mediante semivariogramas, son la base para nuevas investigaciones y para establecer cultivos bajo la concepción de agricultura de precisión en esos suelos.

Palabras-clave: agricultura de precisión, geoestadística, captura de carbono, agricultura de conservación, Oxisol.

INTRODUCCIÓN

Los Oxisoles son el orden de suelos predominante en el trópico, con un área de 9.61 millones de km², que corresponde al 24,5% de la superficie tropical del mundo (USDA, 1999). En Suramérica, estos suelos son comunes en Brasil, Colombia y Venezuela, ocupan principalmente sabanas nativas y se caracterizan por su alta fragilidad y susceptibilidad a la degradación. En Colombia, estas sabanas se localizan en la zona oriental y ocupan un área cercana a 25 millones de hectáreas, que corresponde al 22,2% del territorio Colombiano (Jaramillo, 2001). Se estima que el área de sabanas está ocupada en un 70,6% por sabana no inundable, en un 19,0% por sabana inundable y el 10,4% restante por Piedemonte (Rodríguez & Rojas, 1999). La incorporación de esas sabanas a la producción de cultivos requiere de tecnologías apropiadas, con alta eficiencia en el uso de insumos, visión





conservacionista del recurso suelo y bajos costos de producción, de manera que se promueva una agricultura sostenible y competitiva. No obstante, en las dos últimas décadas, en esas sabanas colombianas se han introducido praderas “mejoradas” y cultivos de soya y maíz, usando prácticas intensivas de labranza del suelo y aplicaciones de fertilizantes y enmiendas basadas en recomendaciones generales, sin considerar la variabilidad del suelo y poniendo en riesgo la sostenibilidad de esos sistemas productivos (Amézquita et al., 2004).

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo agrícola se genera en el tiempo por la intensidad de los procesos formadores de suelo (Burrough, 1993) y por la intervención antrópica, particularmente por efecto de la mecanización presente en la producción de cultivos (Silveira et al., 2000). Conocer la variabilidad del suelo permite una mejor comprensión de las relaciones complejas entre sus características y los factores ambientales (Goovaerts, 1998), y facilita el establecimiento de prácticas de manejo específicas para su uso adecuado (Plant, 1999). De hecho, el reconocimiento de la variabilidad ha conducido a reevaluar el manejo convencional de cultivos, en el cual se asume un comportamiento homogéneo de las propiedades del suelo y se usan recomendaciones de tipo general. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la determinación de la variabilidad requiere un muestreo preciso y confiable, para evitar errores graves de apreciación (Marques Júnior & Cora, 1998).

Las propiedades físicas juegan un papel clave en la fertilidad y son un componente básico de la calidad del suelo (Amézquita et al., 2004); incluso su evaluación ha sido propuesta para definir zonas de manejo específico (Borůvka et al., 2002). En particular, la densidad de partículas (DR o densidad real) incide notoriamente en la porosidad y por consiguiente en el movimiento y almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo. La DR depende de la composición mineral y orgánica del suelo; así, el manejo de cultivos y particularmente el de materiales orgánicos puede conducir a una notoria variabilidad espacial, aún en un mismo suelo. El carbono orgánico del suelo (CO), además de cumplir un papel central en las propiedades químicas, en la fertilidad y en la biota del mismo, tiene gran efecto en la conservación de sus propiedades físicas, particularmente en la estabilidad de la estructura del mismo, presentándose menor riesgo de degradación estructural y de compactación en suelos con mayores contenidos de CO (Hamza & Anderson, 2005).

El presente artículo tiene como objetivo presentar los resultados de un estudio realizado para evaluar la variabilidad espacial de la densidad de partículas, la textura y el CO de dos Oxisoles, localizados en sabanas con diferentes niveles de intervención agrícola, en los Llanos Orientales de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron dos zonas geográficas ubicadas





en Oxisoles, en el Municipio de Puerto López (Meta - Colombia). La primera, la Estación Experimental Taluma (EET) está ubicada en las coordenadas 4° 22' 30,9" N y 72° 13' 52,7" W y la segunda, la finca Santa Cruz (FSC) en las coordenadas 4° 10' 14" N y 72° 39' 09" W. En la EET se tiene un Typic Haplustox y en la SC un Typic Hapludox. Los dos lotes presentaban diferentes ciclos de intervención agrícola en el momento del estudio. En la EET, antes de la intervención, la especie dominante era pasto nativo (*Trachypogon vestitus*), y en el momento de la evaluación sólo se había realizado un ciclo de cultivo con soya. Previo a la siembra de soya, se incorporó cal dolomita con arado de discos y dos pases de rastra en el segundo semestre de 2003. De otro lado, la FSC tenía un tiempo de intervención de tres años consecutivos, con siembras alternadas semestrales entre maíz y soya. Antes de la intervención agrícola predominaba el pasto *Brachiaria*. Previo al primer ciclo de cultivo se incorporó cal dolomita con arado de cincel y dos pases de rastra. La incorporación de cal se realizó a una profundidad media de 0,20 m para las dos localidades. En los dos lotes del estudio, el manejo del suelo se realizó con labranza de conservación, mediante el uso de arado de cincel y de rastra de discos.

Para la toma de datos en campo se diseñó una cuadrícula regular de muestreo con 42 puntos distanciados 25 X 25 m. Las muestras de suelo fueron recolectadas a dos profundidades (0,00 - 0,10 m y 0,10 - 0,20 m) por punto, en el mes de agosto de 2004. Las propiedades del suelo estudiadas fueron: densidad de partículas (DR), determinada mediante picnómetro; textura, según contenidos de arena, limo y arcilla por el método de Bouyucos; y, CO por el método modificado de Walkley Black. Para la época del muestreo, se tuvo la precaución de tomar las muestras en un día no lluvioso, con un contenido de humedad del suelo cercano a capacidad de campo.

Para el análisis estadístico, inicialmente se realizó un estudio exploratorio de datos, con el software SPSS 12.0, calculando medidas de localización (media, mediana, mínimo y máximo), de variabilidad (coeficiente de variación, CV), de tendencia central (asimetría y curtosis) y de correlación (coeficiente de correlación de Pearson). Para el análisis del CV, se consideró como variabilidad baja los valores menores a 12%, variabilidad media entre 12 y 60% y variabilidad alta los valores mayores a 60% (Warrick & Nielsen, 1980). Para evaluar el comportamiento espacial de las variables, se calculó el semivariograma experimental (Cressie, 1993) de cada una de éstas y por medio del software GS+ (Robertson, 1998) se hallaron los correspondientes modelos teóricos (Vieira, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores similares de la media y la mediana para cada una de las propiedades estudiadas y los relativamente bajos valores de asimetría y curtosis indican que corresponden razonablemente a distribuciones normales (Tabla 1). Exceptuando en EET el CO y en FSC el contenido arcilla a las dos profundidades y el de limo a la segunda



profundidad, las demás propiedades evaluadas mostraron variabilidad baja en las dos profundidades, con CV inferiores al 12 % (Warrick & Nielsen, 1980).

Tabla 1. Análisis estadístico de las propiedades físicas del suelo en EET y FSC.

Propiedad	Estación Experimental Taluma					Finca Santa Cruz				
	CO	DR	Arena	Limo	Arcilla	CO	DR	Arena	Limo	Arcilla
	%	g cm ⁻³	%	%	%	%	g cm ⁻³	%	%	%
Profundidad 0 -										
Media	1,33	2,44	37,37	40,54	22,09	1,61	2,45	47,97	25,74	26,28
Mediana	1,43	2,44	38,82	40,00	21,04	1,58	2,44	48,16	26,02	26,00
Asimetría	-0,83	-0,26	-0,54	0,75	1,09	0,45	0,02	-0,01	-0,29	-0,24
Curtosis	-0,63	-0,59	-0,83	-0,07	0,78	-0,18	-0,97	-0,01	-0,52	0,37
Mínimo	0,90	2,25	30,96	36,00	19,04	1,36	2,20	38,48	19,52	16,98
Máximo	1,58	2,59	42,12	48,00	29,88	1,96	2,68	55,5	31,84	34,08
CV, %	15,90	3,41	7,89	8,17	11,41	8,64	5,41	8,14	11,29	13,96
Profundidad 0,10 -										
Media	1,09	2,48	37,83	40,28	21,89	1,31	2,45	49,74	24,81	25,45
Mediana	1,04	2,47	38,96	40,00	21,04	1,31	2,47	50,48	25,28	24,00
Asimetría	0,97	-0,12	-0,54	0,40	0,75	0,14	-0,13	-0,62	-0,10	0,74
Curtosis	0,75	0,11	-0,15	-0,10	-0,48	-0,59	-0,52	-0,30	-1,02	0,79
Mínimo	0,8	2,31	30,12	34,00	19,04	1,04	2,17	38,16	18,50	18,00
Máximo	1,58	2,63	44,96	48,00	27,04	1,65	2,66	57,5	31,52	39,64
CV, %	16,13	2,83	8,53	8,00	10,38	11,20	4,63	9,92	13,35	17,79

Los contenidos de CO en la primera profundidad se consideran medios para estos Oxisoles y son superiores a los encontrados en la segunda profundidad en ambas localidades, comportamiento que coincide con el reportado en este tipo de suelos agrícolas por otros autores (Souza et al., 2004). El efecto de la mayor intervención agrícola en FSC se reflejó en un contenido superior de CO con respecto al encontrado en EET, sugiriendo que los ciclos sucesivos de cultivos con labranza de conservación, que incluye manejo de residuos de cosecha en la superficie del suelo y baja intensidad de la mecanización, son convenientes para captura de C en estos Oxisoles. De otro lado, el CO a las dos profundidades presentó una dispersión media en EET con CV cercanos al 16% (Tabla 1) y dispersión baja en FSC (Tabla 2), mostrando que después de tres (3) años de intervención en este suelo se ha alcanzado cierta homogeneidad. Este comportamiento coincide con el encontrado por otros autores bajo condiciones similares (Souza et al., 2004).





La DR mostró un rango normal de valores para suelos agrícolas, pero inferior al obtenido para esta zona por Jaimes et al., (2003), quien los ubica entre 2,51 y 2,61 g cm⁻³ para sabana nativa. Los valores relativamente bajos de DR en el presente estudio sugieren un efecto del CO, debido a la intervención agrícola con labranza de conservación. Además, la DR exhibió el menor CV entre las variables analizadas, indicando cierta homogeneidad en las dos profundidades y localidades de estudio, comportamiento similar al encontrado por Kiliç et al. (2004).

Con respecto a la textura, el suelo a las dos profundidades evaluadas se clasifica como franco en EET y como franco arcillo arenoso, con mejor drenaje, en FSC (USDA, 1993). La arena presentó menor variabilidad a las dos profundidades, en las dos zonas estudiadas, respecto al limo y a la arcilla; esta última mostró los mayores CV, particularmente en FSC. Cabe resaltar que el CV fue mayor en la segunda profundidad para estas tres variables en FSC, probablemente debido al intemperismo que afecta particularmente la capa superficial. Kiliç et al. (2004) y Souza et al. (2004) también reportaron un comportamiento similar para diferentes propiedades físicas del suelo.

La prueba de correlación mostró relación inversa entre CO y DR, lo cual confirma que el valor de ésta última se ha visto afectado por la intervención agrícola, con cultivos manejados con labranza de conservación; y como era de esperarse, el efecto más notorio ocurrió a la primera profundidad, particularmente en FSC (Tabla 2). De otro lado, similar a lo reportado por Bocchi et al. (2000), en el presente estudio no se encontraron correlaciones significativas entre CO y los contenidos de arena, limo y arcilla. Las correlaciones inversas entre las partículas arena, limo y arcilla, a las dos profundidades y en ambas localidades, corresponden a la interdependencia existente entre esas expresiones porcentuales de la textura del suelo.

Tabla 2. Coeficientes de correlación para las propiedades físicas del suelo en EET y FSC.

	Estación Experimental Taluma					Finca Santa Cruz				
	CO	DR	Arena	Limo	Arcilla	CO	DR	Arena	Limo	Arcilla
Profundidad 0 - 0,10 m										
CO	1					1				
DR	-0,18	1				-0,33*	1			
Arena	-0,23	-0,22	1			0,22	-0,25	1		
Limo	0,09	0,37*	-0,68**	1		-0,13	-0,06	-0,45**	1	
Arcilla	0,15	-0,22	-0,27	-0,52**	1	-0,13	0,32*	-0,71**	-0,31*	1
Profundidad 0,10 -										
CO	1					1				
DR	-0,02	1				-0,17	1			
Arena	0,13	-0,39*	1			-0,1	-0,27	1		
Limo	-0,11	0,55**	-0,75**	1		0,23	0,1	-0,45**	1	
Arcilla	-0,03	-0,23	-0,36*	-0,35*	1	-0,28	0,22	-0,76**	-0,24	1



- La correlación es significativa a un nivel de 0,05
- ** La correlación es significativa a un nivel de 0,01

Los modelos de semivariograma (Tablas 3 y 4) indican menor dependencia espacial en EET. Para las propiedades que presentaron ajustes a modelos teóricos en las dos profundidades, esto es arcillas en EET y DR en FSC, los rangos fueron mayores para la profundidad entre 0,10-0,20 m. Duffera et al. (2006) encontraron un comportamiento similar, resaltando que la producción de cultivos afectó en mayor grado esas propiedades en los primeros 0,10 m del suelo.

Tabla 3. Parámetros de los semivariogramas de las propiedades físicas del suelo en EET.

Propiedad	Modelo	C_0	$C+C_0$	Rango, m	$1-C_0/(C+C_0)$	R^2
Profundidad 0 -						
CO	Exponencial	0,0042	0,0462	22,10	0,91	0,906
Densidad de partículas (DR)	EPP	0,0070				
Arena	EPP	8,9730				
Limo	EPP	6,4729				
Arcilla	Exponencial	5,6700	12,1600	33,90	0,53	0,693
Profundidad 0,10 -						
CO	EPP	0,0318				
Densidad de partículas (DR)	EPP	0,0051				
Arena	EPP	10,8219				
Limo	EPP	5,1021				
Arcilla	Exponencial	6,4000	17,3100	185,90	0,63	0,971

EPP = Efecto Pepita Puro

Propiedad	Modelo	C_0	$C+C_0$	Rango, m	$1-C_0/(C+C_0)$	R^2
Profundidad 0,00 -						
CO	EPP	0,0191				0,9
Densidad de partículas (DR)	Gaussiano	0,0061	0,0571	181,00	0,89	91
Arena	EPP	15,4600				0,9
Limo	Exponencial	0,7200	8,7110	20,30	0,92	22
Arcilla	EPP	13,3500				
Profundidad 0,10 - 0,20 m						
CO	Esférico	0,0013	0,0239	57,70	0,95	0,9
Densidad de partículas (DR)s	Gaussiano	0,0078	0,0529	260,50	0,85	0,9
Arena	Exponencial	15,0000	51,0000	274,40	0,71	0,5
Limo	EPP	10,9171				00
Arcilla	Esférico	6,8100	21,4300	84,00	0,68	0,6
						14



En EET, el CO presentó dependencia espacial en la primera profundidad, ajustándose a un modelo exponencial, con un rango relativamente bajo y una relación $1-C_0/(C_0+C)$ (estructura espacial), que indica alta dependencia espacial (Tabla 5). De otro lado, en FSC, el CO presentó dependencia espacial en la segunda profundidad, ajustándose a un modelo esférico, con alcance y estructura espacial superiores a los encontrados en EET (Tabla 6). Esto sugiere que la mayor intervención agrícola en FSC ha conducido a un comportamiento espacial aleatorio, pero con alta homogeneidad del CO (bajo CV). Souza et al. (2004) encontraron comportamientos de CO ajustados a modelos esféricos, sin reportar distribuciones aleatorias, pero con dependencia espacial moderada o baja.

La DR en EET no mostró correlación espacial en ninguna de las dos profundidades. En cambio en FSC se encontraron modelos gaussianos y alta dependencia espacial para las dos profundidades; sin embargo, el alcance fue superior a la primera profundidad. Esto indica que la intervención agrícola en FSC ha alterado la distribución espacial de la DR en la primera profundidad, efecto que puede ser asociado con una distribución aleatoria del CO a esta profundidad. Los rangos y la estructura espacial para DR en este estudio tuvieron un comportamiento similar al reportado por (Kiliç et al. (2004) en suelos con bajos contenidos de arcillas.

Con respecto a la textura, en EET sólo se presentó dependencia espacial para la arcilla, a las dos profundidades, ajustándose a un modelo exponencial; mientras que en FSC, hubo dependencia espacial para el limo a la primera profundidad, y para la arena y la arcilla en la segunda profundidad, con estructura espacial moderada, concordando con los resultados de Kiliç et al. (2004). Los mayores rangos encontrados a la primera profundidad indican menor efecto de la intervención agrícola.

CONCLUSIONES

La intervención agrícola en las localidades estudiadas se vio reflejada particularmente en los primeros 0,10 m del suelo, en los cuales la tendencia general de las variables analizadas es hacia una menor dispersión, pero con distribuciones espaciales aleatorias.

Los ciclos sucesivos de cultivos, manejados con labranza de conservación, mostraron que son un alternativa para captura de C en los Oxisoles bajo estudio. Sin embargo, el CO no presentó correlaciones significativas con la DR, ni con la textura del suelo.

El manejo de cultivos, particularmente por su efecto en la dinámica y en la distribución del CO, afecta la variabilidad espacial de la DR, aún en un mismo lote, en los Oxisoles bajo estudio.

Este tipo de trabajos, sobre variabilidad y dependencia espacial de variables de suelo, son la base para nuevas investigaciones y para establecer cultivos bajo la concepción de agricultura de precisión en la zona de estudio.



**BIBLIOGRÁFIAS**

- Amézquita, E.; Thomas, R.J.; Rao, I.M.; Molina, D.L.; Hoyos, P. Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of an Oxisol in the Eastern Plains (Llanos Orientales) of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.103, p.269–277, 2004.
- Bocchi, S.; Castrignano, A.; Fornaro, F.; Maggiore, T. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. *European Journal of Agronomy*, v.13, p.295-308, 2000.
- Borůvka, L.; Donátová, H.; Němeček. Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a case study. *Rostlinná Výroba*, v.48, p.425-432, 2002.
- Burrough, P.A. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers*, v.56, p.529–562, 1993.
- Cressie, N. *Statistical for spatial data*. John Wiley & Sons, New York, 1993, 900p.
- Duffera, M.; White, J.G; Weisz, R. Spatial variability os Southeastern U. S. Coastal Plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma*, v.137, p.327–339, 2007.
- Goovaerts, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, v.27, p.315–334, 1998.
- Hamza, M.A; Anderson, W. K. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, v.82, p.121–145, 2005.
- Jaimes, W.; Navas, G.; Salamanca, C.; Conde, A. Estudio detallado de suelos de la estación experimental de CORPOICA “Sabanas” en la Altillanura Colombiana. 2003.
- Jaramillo, D.J. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2001. 613p.
- Kiliç, K.; Özgöz, E.; Akbaş, F. Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey. *Soil and Tillage Research*, v.76,p.1-11, 2004.
- Marques Júnior, J.; Cora, J. Atributos do Solo para Agricultura de Precisão. In: SILVA, F.M. da; BORGES, P. H. de M. (Ed) *Mecanização e Agricultura de Precisão*. XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Lavras, UFLA/SBEA, 1998. p. 31-70.
- Plant, R.E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.30, p.9-29, 2001.
- Robertson, G.P. *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.
- Rodríguez, L.; Rojas, L. Efecto de la adición de materiales orgánicos sobre la absorción de nutrientes en plantas de maíz cultivadas en un oxisol de los Llanos Orientales de Colombia. In: XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Memorias (CD). Pucón, Chile, 1999.
- Silveira, P.M. ; Zimmerman, F.J.P.; Silva, S.C. DA; Cunha, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa agropecuaria Brasileira*, v.35, p.2057-2064, 2000.
- Souza, Z.M.; Marques Junior, J.; Pereira, G.T. Variabilidade espacial da estabilidades de agregados y matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v.39, p.491-499, 2004.
- United States Department of Agriculture (USDA). *Soil Survey Manual. Handbook*. 1993. 437p.
- United States Department of Agriculture (USDA). *Soil Taxonomy. Second Edition. Agriculture Handbook. Number 436*, 1999. 869p.
- Vieira, S.R. Geostatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, p.1-55, 2000.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D.(ed). *Applications of soil physics*. New York, 1980. p.319-344.



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DE LOS SUELOS DE LA ALTILLANURA, LLANOS ORIENTALES (ESTACIÓN TALUMA).

Yolanda Rubiano Sanabria¹, Andrés J. Peña Q.,² Edgar Amézquita³,
Jaime Humberto Bernal R.⁴, Alba Lucia Montoya Morales⁵, Julio Cesar Moreno⁶



INTRODUCCIÓN

Los Llanos Orientales de Colombia, caracterizados por sus tierras planas y clima tropical lluvioso, con una estación seca bien definida de diciembre a marzo, ha pasado de ser una región netamente ganadera a ser el área de expansión agrícola nacional. Esta zona, en la que predominan Oxisoles y Ultisoles y donde actualmente, además de pastos autóctonos y algunos perennes, se produce arroz, maíz, soya, sorgo, plátano y yuca, podría convertirse en los próximos años, por sus suelos planos que pueden soportar la mecanización, alta radiación solar durante la época seca y una gran posibilidad de riego, en la despensa agrícola de Colombia. Pese a lo anterior, el gran problema de la producción intensiva en los llanos orientales radica en la baja resiliencia de sus suelos. Según Phiri et al. (2001), los suelos de esta región, una vez empiezan a ser cultivados, comienzan un proceso de degradación química, física y biológica, especialmente si se utiliza maquinaria. Para Amézquita (1998), la labranza con maquinaria pesada en este tipo de suelos reduce el tamaño de los agregados, influenciando la distribución y tamaño de los poros, afectando el drenaje. Por lo tanto es necesario un uso racional de maquinaria e insumos para evitar el deterioro del suelo, lo cual no se logra con la importación de paquetes tecnológicos orgánicos o ecológicos sino con el conocimiento del suelo y las especies de cultivo. En agricultura, el conocimiento del suelo implica estar al tanto de su variabilidad, la cual es inherente a éste por la naturaleza y complejidad de los factores que intervienen en su formación. Esto quiere decir que las interacciones dinámicas producidas por la combinación de los diferentes factores y procesos de formación del suelo le confieren a éste una variabilidad espacial intrínseca (Jaramillo, 2003). En consecuencia, las recomendaciones de manejo agrícola del suelo, tendientes a optimizar el medio para el crecimiento de las plantas, deben tener en cuenta esta dinámica espacial.

A nivel mundial la idea de tener dominios de recomendación para sitios específicos que permita ajustar las prácticas de manejo a los requerimientos locales ha llevado al desarrollo

1 Docente D.E. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, yrubianos@unal.edu.co

2 Asesor

3 Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Institute, CIAT.

4 Investigador Master, Corpoica – La Libertad

5 Agróloga, candidata a MSc en Suelos

6 Agrólogo, candidato a MSc en Suelos



de la agricultura de precisión. Esta tecnología permite medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental, aumentando la sostenibilidad.

Aunque el área de mayor desarrollo dentro de la agricultura de precisión es el manejo de nutrientes por sitio específico (Ortega y Flores, 1999, citado por Peña, 2006), también podría pensarse en tener, dentro de una explotación, tantos esquemas de labranza del suelo como áreas con características físicas significativamente homogéneas, a diferencia del esquema tradicional que sugiere un esquema de laboreo del suelo para toda la explotación agrícola.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo tiene como objetivo conocer el suelo desde un punto de vista espacial, a través del muestreo, a tres diferentes profundidades, de diferentes variables físicas mediante el uso de una red rígida de alta densidad, para después emplear este conocimiento en futuros análisis y aplicarlos para encontrar unidades agrícolas homogéneas de manejo específico en el sitio de trabajo (Estación Experimental Sabanas), de tal forma que los cultivos sean más sostenibles, se obtengan mayores producciones y se logre mayor rentabilidad.

METODOLOGÍA

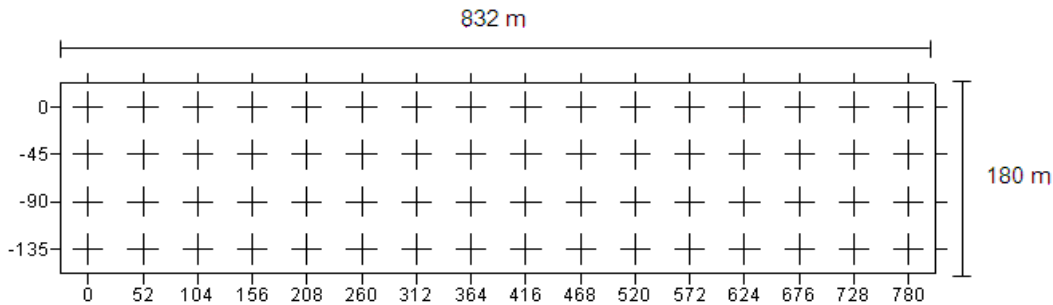
La presente investigación se llevó a cabo en el Centro Experimental Sabanas, de Corpoica, en el municipio de Puerto López, en el departamento del Meta, Colombia. El sitio está ubicado entre las coordenadas 1°204.377 E y 1°206.824 E, entre las coordenadas 973.655 N y 976.874 N y a una altura aproximada de 200 msnm. Geomorfológicamente está ubicada en la Altillanura plana, aunque en realidad su paisaje es ondulado a ligeramente ondulado por la presencia de superficies de drenaje que lo incizan. Específicamente el área de estudio se localiza en la cima de la terraza, con pendientes de 0-3%. El clima es unimodal, es decir se presenta una sola temporada de lluvias al año (abril a noviembre), durante la cual llueve, en promedio, durante más de 17 días por mes, intercalada con una temporada seca muy fuerte, durante la cual la probabilidad de lluvias es mínima y la intensidad de la radiación solar puede llegar a ser superior a 27 MJ/m².

En la zona descrita se escogió un lote sin uso agropecuario de aproximadamente 15 ha (832 m x 180 m). En él se muestrearon las propiedades físicas del suelo en 64 puntos utilizando un diseño espacial de grilla rígida en el que cada celda tenía 52 m de largo x 45 m de ancho, tal como proponen Nielsen et al. (1983), citado por Lozano (2004), para muestreos encaminados a análisis geoestadísticos y como se observa en la Figura 1. En cada punto se tomaron muestras a tres profundidades 0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm para determinar en el laboratorio algunas propiedades físicas y químicas. En el campo se tomaron datos como resistencia tangencial al corte y penetrabilidad en cada punto de muestreo (ver Cuadro 1).



SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO





Cuadro 1. Esquema de muestreo utilizado

Aunque en la práctica, los agricultores ya diferencian las zonas más fértiles, las más pedregosas o arenosas, un enfoque integrador, para generar unidades de manejo agrícola homogéneo, generaría resultados más confiables (Peña, 2006). En este trabajo se utilizó el análisis de conglomerados, utilizando el método de agrupación de Ward y la distancia euclidiana (Everitt, 1977), para establecer las Unidades de Manejo específico por sitio. Según Sharma (1996), citado por Herrera (2000) esta es una técnica que combina observaciones en conjunto de modo que, sobre la base de determinadas características, estos sean homogéneos o compactos internamente y a su vez, bien diferentes de otros.

Según Digby & Kempton (1991) citados por Herrera (2000) el empleo de métodos de clasificación multivariados a las ciencias naturales, tales como el análisis de conglomerados, implica un conocimiento de la natural y continua variación ecológica y de hecho muchas clasificaciones realizadas en diferentes campos, utilizando esta técnica, ha mostrado que éstas son capaces de identificar grupos precisos que identifican zonas estructuralmente estables y grupos de “ruido” que son zonas de cambio.

RESULTADOS

Se hizo el análisis de conglomerados dirigido a ubicar sitios similares, de tal modo que se pudieran generar unidades de manejo homogéneo para cualquier cultivo. En la Figura 2 se observa a manera de ejemplo, con los datos de la profundidad 1, la forma en que se agrupan los 64 sitios de muestreo para formar 3 sitios homogéneos.

En la Tabla 2 se observan los centroides, es decir las características medias de cada unidad de manejo homogéneo, para cada profundidad. No obstante, como el suelo no se maneja por capas sino como un todo en profundidad las unidades de manejo finales se obtienen al cruzar o sobreponer las tres unidades de cada profundidad.



Tabla 1. Variables analizadas

Variable	Abreviatura	Método	Unidad
Densidad Aparente	DA	Cilindro	g/cm ³
Resistencia a Penetración	RPT	Penetrogr	Kg-F/cm ²
Resistencia Tangencial al Corte	RTC	afo	KPa
Arena	A	Pipeta	%
Limo	L	Pipeta	%
Arcilla	AR	Pipeta	%
Conductividad Hidráulica	CH		cm/h
Diámetro Medio Ponderado	DMP		-
Humedad Aprovechable	HAP		%
Acidez intercambiable	AcInt		me/100g
Carbono orgánico	CO		%
Fosforo disponible	P		ppm
pH	pH		u
Al intercambiable	AlInt		me/100g
Capacidad de Intercambio Cationico	CIC		me/100g
CIC Efectiva	CICE		me/100g

Figura 2. Agrupamiento de los datos de la primera profundidad
Dendrograma

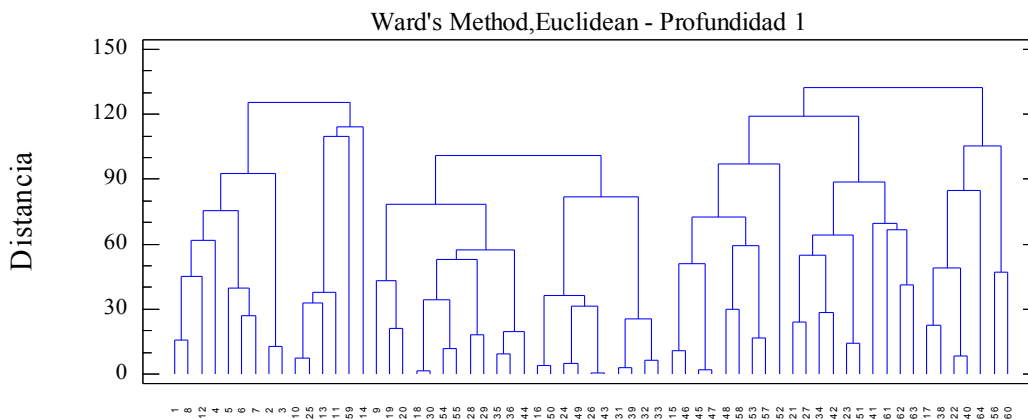


Tabla 2. Características de las Unidades de Manejo por Profundidad

Prof.	Cluster	Da	RPT	RTC	Ar	ch	A	L	DMP	HAP	Ac.Int	CO	P	pH	Al int	CICE
1	1.00	1.47	27.06	56.33	17.47	0.37	41.67	37.87	17.03	10.93	2.38	1.14	3.29	3.60	0.35	2.54
	2.00	1.56	33.08	56.67	10.70	0.30	52.70	36.17	18.42	13.55	1.68	0.70	1.80	3.82	0.30	1.82
	3.00	1.55	29.33	47.37	10.08	0.43	53.62	36.31	13.66	10.06	1.53	0.67	3.17	4.04	0.30	1.72
2	1.00	1.48	32.35	56.36	21.38	0.30	40.62	39.54	5.95	12.54	2.10	0.80	1.05	3.69	0.29	2.22
	2.00	1.59	37.59	46.45	11.50	0.39	52.70	35.80	10.79	10.50	1.64	0.49	1.96	3.62	0.24	1.78
	3.00	1.57	38.66	51.11	10.65	0.76	51.16	38.26	12.50	13.76	1.47	0.45	1.07	3.90	0.27	1.59
3	1.00	1.48	44.42	53.54	25.00	0.39	37.00	38.00	4.39	13.05	2.11	0.81	1.19	3.76	0.35	0.94
	2.00	1.64	41.31	48.49	13.60	0.52	48.48	37.92	6.08	13.28	1.23	0.31	2.04	4.28	0.20	0.42
	3.00	1.56	42.56	39.96	11.45	0.75	50.61	38.00	4.68	13.87	1.41	0.34	0.85	3.77	0.21	0.44



En la Figura 3 aparecen las unidades de manejo generadas para cada profundidad, sin embargo, como el manejo agrícola se hace para el suelo en general y no para cada horizonte, a partir de estas unidades y dándole mayor peso a los primeros 20 cm de suelo, se generan las áreas homogéneas para manejo por sitio específico, tal como aparece en la Figura 4 y se explica en el Tabla 3.

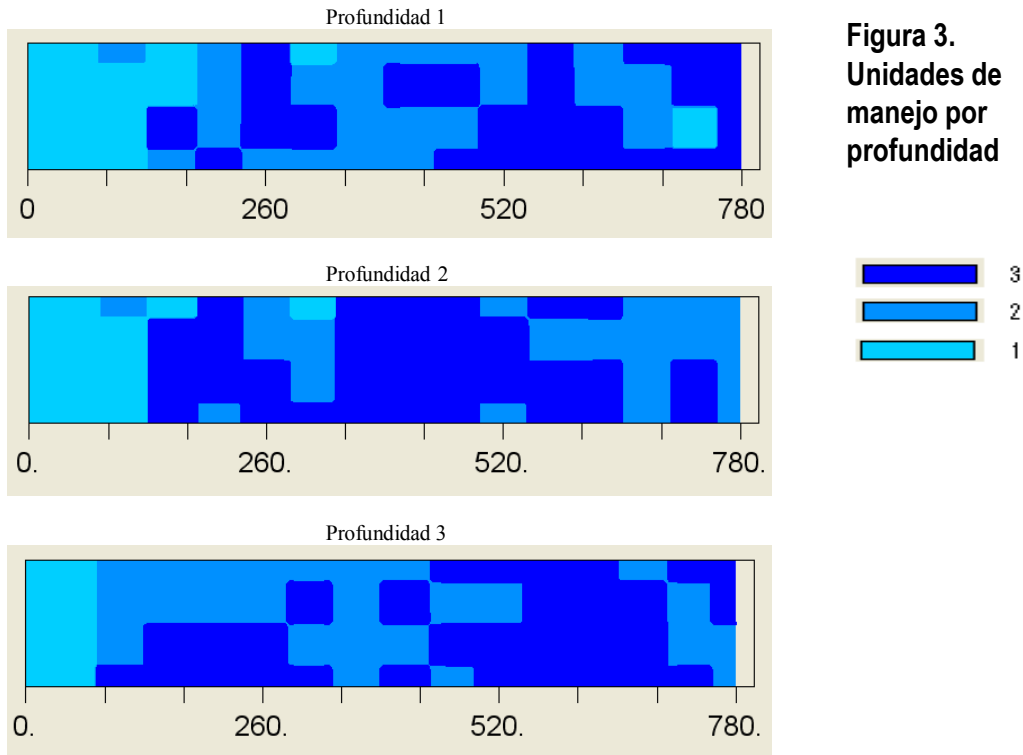


Figura 3. Unidades de manejo por profundidad

Figura 4. Unidades de manejo por sitio específico

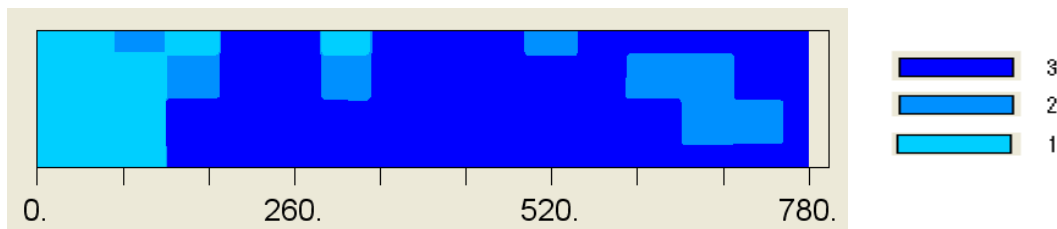




Tabla 3. Generación de las Unidades de Manejo del suelo mediante el uso de las unidades de manejo por profundidad

Prof 1	Cluster		Unidad Manejo
	Prof 2	Prof 3	
1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	2.00	1.00
1.00	1.00	3.00	1.00
1.00	3.00	2.00	1.00
2.00	2.00	2.00	2.00
2.00	2.00	3.00	2.00
2.00	3.00	2.00	2.00
2.00	3.00	3.00	2.00
3.00	2.00	2.00	3.00
3.00	2.00	3.00	3.00
3.00	3.00	2.00	3.00
3.00	3.00	3.00	3.00

BIBLIOGRAFÍA

Amézquita, E. 1998: propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. Memorias del encuentro nacional de labranza de conservación. 28-30 de abril de 1998, Villavicencio, Colombia.

Everitt, B.S. Cluster Analysis. John Willey & Sons, Inc., New York, 170 p

Herrera, A. 2000: La clasificación numérica y su aplicación en la ecología. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Santo Domingo, R.D. 88 p.

Jaramillo, D.J. 2003: La variabilidad de los procesos del suelo y su efecto sobre el manejo de la fertilidad. En: Curso teórico – práctico sobre interpretación de análisis de suelos. Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Lozano, J. 2004: Validación de índices para conductividad hidráulica y compactación en algunos suelos del Valle del Cauca. Tesis de Grado. Programa de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 124 p.

Peña, R.A. 2006: Caracterización de la Variabilidad espacial de los atributos del suelo como base para el manejo por sitio específico en el cultivo de piña Gold. Estudio de caso Tauramena-Llanos Orientales. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 127 p.

Phiri, S., E. Amézquita, I. Rao & B.R. Singh. 2001: Disc harrowing intensity and its impact on soil properties and plant growth of agropastoral systems in the Llanos of Colombia. Soil & Tillage Research 62 (2001) 131–143.

Rubiano, Y. 2005: Sistema georreferenciado de indicadores de calidad del suelo. Herramienta SIG para apoyo a la planificación, uso y manejo del suelo. Tesis de Grado. Programa de Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 111 p.



OPCIONES PARA EL MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO POR SITIO ESPECÍFICO EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

Franco Humberto Obando Moncayo¹, Mauricio Villegas Hincapié²

RESUMEN

Las tierras montañosas juegan un papel clave en los sistemas económicos y ambientales de muchos países tropicales. En América Latina y el Caribe ocupan más del 25% del área total de tierra, y en Colombia representan el 27% de la extensión del país (30.9 millones de hectáreas). Sin embargo, históricamente las tierras montañosas del país han sido excluidas de los programas nacionales de inventario de los suelos a escala detallada debido a las preconcepciones creadas por el Sistema de Clasificación por Capacidad de Uso que las considera “no cultivables”. En efecto, los levantamientos detallados de suelos se han dirigido exclusivamente a zonas planas o “tierras cultivables” con “alto potencial de desarrollo agropecuario”. Este modelo de clasificación de tierras, ha conducido no solo al rezago de la investigación sino también a procesos poco realistas en torno a opciones de manejo sostenible de las tierras y el ordenamiento de las tierras montañosas tropicales. De hecho, la zonificación agroecológica de Colombia indica que existen grandes extensiones de tierras forestales y agrícolas utilizadas en actividades pecuarias, lo cual es una consecuencia directa del proceso de degradación que soportan los suelos y los ecosistemas de bosques del país (IGAC, 1985; 2002). Sin duda, dicho juicio ha redundado en la obsolescencia conceptual respecto de la agenda en ciencia y tecnología en gestión del suelo y los recursos naturales asociados del país. Así, las nuevas tecnologías, tales como la agricultura de precisión y el manejo de suelos por sitio específico, apoyadas en los levantamientos detallados de suelos y la variabilidad espacial interna de los cuerpos edáficos, es inconcebible en las tierras montañosas. De hecho, la planeación de uso y manejo del suelo, tradicionalmente se ha realizado con base en la información puntual de los llamados perfiles modales considerados representativos de grandes unidades de suelos. A escala de finca, tradicionalmente, el manejo de la fertilidad del suelo se ha fundado en el promedio del contenido de nutrientes obtenido del análisis de muestras tomadas aleatoriamente en el predio, y finalmente mezcladas para obtener una muestra compuesta, dejando de lado la variación espacial de los factores edáficos. Es claro que la agricultura convencional en paisajes productivos en zonas montañosas presenta limitaciones para abordar y entender la variabilidad espacial del suelo; en consecuencia el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico (MFSSE) es una alternativa tecnológica que presenta desafíos para su avance e implementación. En este contexto, el grupo de investigación Producción Agrícola Sostenible en el Trópico Andino (SOSANDINOS) de la

¹ Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Sistemas de Producción, Calle 65 N0. 25-10, Manizales, Caldas. e-mail: francoh.obando@ucaldas.edu.co

² Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé. Disciplina de Mejoramiento genético. E-mail: andres.villegas@cafedeocolombia.com





Universidad de Caldas ha iniciado investigaciones tendientes a la evaluación y entendimiento de la variabilidad espacial del suelo referida específicamente a las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas mediante levantamientos convencionales de primer orden (ultradetallados) a escala de finca, el muestreo en retículas, la aplicación de la geoestadística y el desarrollo de funciones de edafotransferencia.

En cuatro fincas experimentales, que en conjunto ocupan un área aproximada de 176 hectáreas, se encontró un contenido pedológico significativamente variable, no solo en términos de cuerpos edáficos sino también por la heterogeneidad interna, particularmente de las propiedades químicas del suelo. La generación de mapas de contornos permitió la delimitación de dominios de manejo específico de la fertilidad del suelo. El modelo se aplicó finalmente en una finca productora de hortalizas afectada por un proceso severo de “entisolización” debida a erosión por labranza con resultados que revelan su viabilidad en zonas montañosas.

INTRODUCCIÓN

La planeación de uso y manejo del suelo en Colombia, tradicionalmente se ha realizado con base en la información de los levantamientos edafológicos normalmente referida a los llamados perfiles modales considerados representativos de extensos cuerpos edáficos (unidades cartográficas). En consecuencia, el manejo se realiza uniformemente, con recomendaciones generales y labores bastante similares aún en distintas regiones geográficas, sin tener en cuenta las especificidades propias del sitio (Leyva, 2006). A escala de finca, tradicionalmente, el manejo de la fertilidad del suelo se ha basado en el promedio del contenido de nutrientes medido por el análisis de suelos. Este método de diagnóstico trata de definir el manejo nutricional sobre la premisa que la variabilidad intrínseca del suelo está bien cubierta cuando se toman muestras para obtener una media de la fertilidad de un predio. Asimismo, la aplicación de fertilizantes se realiza con base en análisis de muestras tomadas aleatoriamente en el predio, finalmente mezcladas para obtener una muestra compuesta, dejando de lado la variación espacial de los factores edáficos. El suelo es un ente vivo dinámico, espacial y temporalmente variable, resultado de la interacción de factores y procesos pedogénicos y las intervenciones humanas. El factor natural más importante es la clase de suelo cuyas características están definidas por los factores y procesos pedogenéticos. La actividad humana promueve la variabilidad a través de la distribución de fertilizantes, la irrigación, la labranza, el manejo de residuos, la remoción de nutrientes causada por diferentes cultivos y rotaciones y el efecto significativo de la erosión. Es claro que la agricultura convencional presenta limitaciones para abordar y entender la variabilidad espacial del suelo y que el manejo basado en la media de la fertilidad ya no es suficiente para mantener rendimientos altos sostenibles en agricultura empresarial y aun en agricultura de menor intensidad (Espinosa, 2000). En consecuencia, el manejo de suelos por sitio específico, o más apropiadamente el manejo de la fertilidad del suelo por sitio





específico (MFSSE), se ha propuesto como una alternativa tecnológica innovadora que permite manejar la variabilidad espacial de los factores edáficos que influyen en los rendimientos, con el propósito de incrementar la rentabilidad, incrementar la productividad, optimizar insumos, y/o minimizar impactos ambientales perjudiciales. En tal sentido, se han propuesto las unidades de manejo de suelos por sitio específico (UMSSE) conformadas por dominios que pueden ser manejados similarmente.

MANEJO DE SUELOS EN ZONAS MONTAÑOSAS TROPICALES

Por su situación geográfica, su historia geológica, geomorfológica y climática, Colombia es uno de los países con mayor diversidad biológica a escala mundial, y en consecuencia con alta variabilidad de suelos, lo cual al es particularmente válido para la región andina; Sin embargo, históricamente las tierras montañosas del país han sido excluidas de los programas nacionales de inventario e investigación del suelo a escala detallada debido a las preconcepciones creadas por la aplicación tradicional del Sistema de Clasificación por Capacidad de Uso que las considera “no cultivables”. La interpretación simplista y aplicación equivocada de este sistema de clasificación de tierras en los trópicos, diseñado en la década de los años 30s del pasado siglo como una legislación para el control de erosión en los Estados Unidos de Norteamérica, ha conducido a la comunidad científica a ignorar la investigación de las tierras montañosas de alta pendiente (clase VIII) porque se han considerado no deseables para cultivarlas por la susceptibilidad a la degradación (Throw y Smith, citados por Obando, 2005). Asimismo, los levantamientos detallados de suelos se han dirigido prioritariamente a zonas planas o “tierras cultivables”. Este modelo de clasificación de tierras, aplicado a los países tropicales ha derivado en procesos de evaluación y planeación de uso de la tierra poco realistas. En efecto, la zonificación agroecológica de Colombia indica que existen grandes extensiones de tierras forestales y agrícolas utilizadas en actividades pecuarias, lo cual es una consecuencia directa del proceso de degradación que soportan los suelos y los ecosistemas de bosques del país (IGAC, 1985; 2002). Esta reciente afirmación demuestra claramente que en nuestro país la aplicación de los sistemas convencionales de clasificación de tierras por capacidad de uso para la toma de decisiones en torno a opciones de manejo sostenible de las tierras y el ordenamiento territorial aún persiste; hecho que ha redundado en la obsolescencia conceptual respecto de la agenda en ciencia y tecnología en gestión del suelo y los recursos naturales asociados (Obando, 2005). Así, las nuevas tecnologías basadas en los levantamientos detallados de suelos y la variabilidad espacial de los propiedades del suelo, tales como la agricultura de precisión y el manejo de suelos por sitio específico, para muchos investigadores es inconcebible en las tierras montañosas. No obstante, existe un gran potencial para su implementación mediante la investigación, la innovación y ajuste de tecnologías. En efecto, Obando et al (2004) mediante levantamientos convencionales de primer orden (ultradetallados), el muestreo en retículas, la aplicación de la geoestadística y el desarrollo de funciones de edafotransferencia (pedotransfer functions) entre propiedades





físicas, químicas y biológicas demostraron que la variabilidad espacial de los atributos del suelo en zonas montañosas de la región andina central, referida a las granjas experimentales Tesorito, Montelindo y La Cruz de la Universidad de Caldas es alta, no solo por la cantidad de cuerpos edáficos con contenido pedológico altamente contrastante en áreas relativamente pequeñas (17 unidades de suelo en un área aproximada de 170 hectáreas), sino también por la marcada variabilidad espacial de las propiedades del suelo. La generación de mapas de contornos o isolíneas de fertilidad (*isofertas*) ha permitido la visualización de dominios de manejo específico de la fertilidad del suelo y en consecuencia se ha demostrado que el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico (MFSSE) en zonas montañosas es una alternativa tecnológica viable. El modelo (MFSSE) se ha aplicado a escala de finca en sistemas productivos de hortalizas, con suelos afectados por procesos de “entisolización” debido a erosión por labranza, y en café en un lote experimental usado en estudios de mejoramiento genético en el cual la aplicación de fertilizantes a base de Nitrógeno y Potasio ha inducido desequilibrios nutricionales con efectos perjudiciales en progenies altamente productivas. A continuación se presenta los principios básicos de la geoestadística como herramienta fundamental para el desarrollo e implementación del modelo (MFSSE) y su aplicación se ilustra mediante los resultados de dos estudios de variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas de suelos y cultivos.

PRINCIPIOS DE LA GEOESTADÍSTICA

A comienzos de los años 1960, luego de muchos trabajos empíricos llevados a cabo por investigadores en Sudáfrica, Georges Matheron publicó sus tratados sobre la teoría de las variables regionalizadas (Clark, 1979). Una variable regionalizada, es una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido (Ovalles, 1991). La aplicación de la teoría de las variables regionalizadas para solucionar problemas en geología y minería dio origen a la Geoestadística (Clark, 1979). La Geoestadística, se define entonces, como una ciencia aplicada que estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio. Se basa en el hecho que los datos se correlacionan espacialmente, es decir, un dato se relaciona con otros cercanos, pero a medida que se alejan del mismo la dependencia espacial disminuye (González, 2003). La dependencia espacial ha sido reconocida desde hace dos décadas para muchas propiedades del suelo (Trangmar et al., 1985) y se manifiesta más fuertemente en las propiedades químicas (Webster, 1985, citado por Ponce de León et al., 1999). Otros autores sin embargo, atribuyen mayor variabilidad a las propiedades físicas (Nielsen et al., 1973). Mediante el uso de modelos que representan la relación entre la semivarianza y la distancia, denominados semivariogramas, es posible definir la estructura espacial de atributos del suelo (Obando, et al., 2006).

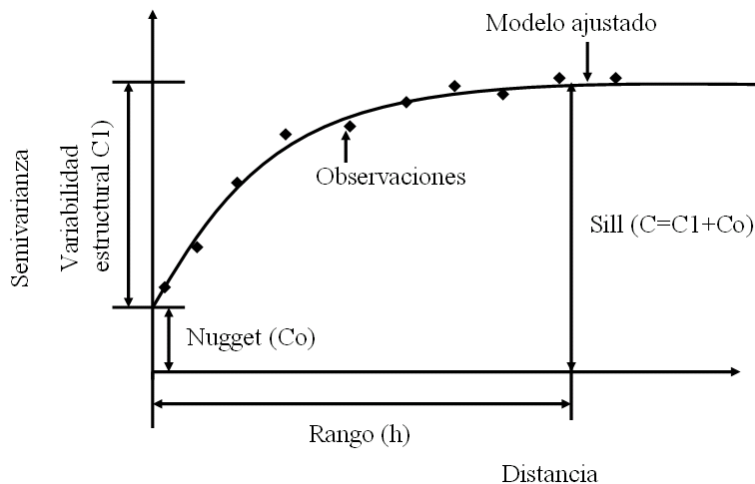
La semivarianza es una medida de la falta de similitud que existe entre observaciones situadas a una determinada distancia; mientras más similares sean las observaciones, menor la semivarianza (Ovalles, 1991). Su valor experimental se calcula mediante la siguiente ecuación:



$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^{2N} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

donde $\gamma(h)$ es el valor experimental de la semivarianza de datos separados por una distancia h , N es el número de pares de puntos de muestreo separados por la distancia h , $Z(x_i)$ es el valor de la variable Z en el punto muestreado x_i , y $Z(x_i + h)$ es el valor de la propiedad Z en el punto muestreado a una distancia $x_i + h$.

La semivarianza con frecuencia aumenta con la distancia hasta un valor máximo a partir del cual tiende a ser constante; el umbral de máxima semivarianza se conoce como meseta o sill (C) y está compuesto por la suma de la semivarianza estructural ($C1$) y la semivarianza aleatoria o nugget ($C0$). El efecto pepita o nugget ($C0$) representa una discontinuidad en el origen, que puede ser causada bien por errores experimentales, o por la presencia de variaciones espaciales a escalas menores que la mínima distancia de muestreo (Paz et al., 1996). La distancia desde el origen hasta donde se inicia el sill se denomina alcance o rango (h) e indica que muestras tomadas a distancias más cortas que su valor están relacionadas espacialmente, mientras que las que se toman a distancias mayores no están relacionadas espacialmente, debido a que la semivarianza se hace igual a la varianza de la muestra, lo que implica variación aleatoria (Trangmar et al., citados por Obando et al. 2006).



Por regla general el número mínimo de pares para representar un punto en el semivariograma debe ser superior a 30. Otra regla es que el número de puntos en el espacio objeto de estudio no debería ser inferior a 50. Estos criterios generales sirven de guía, pero no deben ser tomadas como un dogma infranqueable. Se encuentran trabajos publicados con menos de 50 puntos en el espacio (aunque no muchos menos), y con semivariogramas que recogen distancias que superan el 50% de la dimensión de la parcela sin mostrar comportamiento anómalo (Gallardo, 2006).





De acuerdo con la ecuación (1) todos los semivariogramas tienen un valor cero en el origen y se ajustan a diversos modelos teóricos siendo los más comúnmente usados el modelo esférico, el modelo exponencial, el modelo gaussiano y el modelo lineal. Existe un caso espacial denominado nugget puro porque su valor teórico es cero en el origen, sin embargo, para la primera distancia ($h=1$), $\gamma(h)$ es esencialmente constante e igual para el límite superior del valor de la varianza C de todas las observaciones para todas las distancias h (Nielsen y Wendroth, 2003). Estos modelos se pueden observar en la Figura 2. El ajuste de un semivariograma experimental a un modelo teórico permite extraer los de parámetros que definen el grado y escala de variación espacial útiles para la interpolación geostatística (*kriging*). Como se indicó antes, estos parámetros son el rango (h), el *nugget* (C_0), el *sill* ($C_1 + C_0$), y la proporción de la varianza explicada por el espacio ($C/(C_0 + C_1)$), a menudo expresada en porcentaje. El *nugget* (C_0) es la varianza no explicada por el modelo, y se calcula como la intercepción con el eje Y. Se conoce también como varianza error puesto que la varianza de dos puntos separados por 0 metros (la intercepción con el eje Y) debería ser cero. Es por ello que esta varianza está normalmente indicando variabilidad a una escala inferior a la muestreada. Además, los errores analíticos o de muestreo también contribuyen a la aparición de la varianza error. La máxima semivarianza encontrada entre pares de puntos se conoce como *sill* y debe coincidir con la varianza de la población. $C/(C_0 + C)$ nos da el grado de variación espacial, y por tanto el grado de incertidumbre a la hora de interpolar puntos en el espacio. Un alto cociente nos indica una variable espacialmente muy predecible. La tabla 1 ilustra el proceso mediante resultados de un estudio de variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en un predio experimental de 3.96 ha en la Granja Tesorito de la Universidad de Caldas. Se realizó un muestreo sistemático de 60 sitios en retícula de 30 m. El modelo digital de terreno (MDT) de la Granja Tesorito las curvas a nivel del área de trabajo y los sitios de muestreo se muestran en la figura 2. El análisis geoestadístico se realizó mediante el software GS+ versión 5.1. La tabla 1, presenta los modelos componentes de los semivariogramas modelos.

Tabla 1. Modelos teóricos ajustados a los semivariogramas experimentales para evaluar la variabilidad espacial.

Variable	Modelo	Sill	Nugget	Rango (m)	R ²	
pH	Esférico	0.1402	0.0001	73.6	0.77	0.07
ln Ca	Esférico	0.2982	0.0001	92.1	0.95	0.03
ln Mg	Esférico	0.4890	0.0010	57.8	0.64	0.20
ln K	Esférico	0.4310	0.0010	96.6	0.89	0.23
log Na	Exponencial	0.0722	0.0037	33.9	0.03	5.12
CIC	Esférico	18.9400	0.0100	99.90	0.71	0.05
ln BT	Esférico	0.2832	0.0001	79.5	0.94	0.04
√ SB	Esférico	1.7110	0.0010	101.3	0.90	0.06
Res. CO	Esférico	0.9700	0.1000	77.7	0.95	10.31
log P	Exponencial	0.2492	0.0001	479.4	0.95	0.04
Res. √arena	Exponencial	0.1800	0.0500	78.2	0.96	27.78
√limo	Esférico	0.0646	0.0310	147.9	0.62	47.99
Arcilla	Esférico	1.4360	0.0011	73.8	0.84	0.08
DPM	Lineal (Nugget puro)	0.1700	0.1700	308.5	0.27	100.00
ln Lapilli	Esférico	0.1170	0.0455	220.9	0.90	38.89



Los modelos esférico y exponencial fueron los de mejor ajuste a los modelos experimentales excepto para el DPM, que se ajustó a un modelo lineal (nugget puro). El alcance para las variables analizadas se encuentra dentro de la distancia máxima (350m) del área de muestreo considerada para el cálculo de los semivariogramas, excepto para el fósforo que presentó un alcance de 479.4 metros. El alcance fluctuó entre 33.9 para el Na y 308.5 para el DPM.

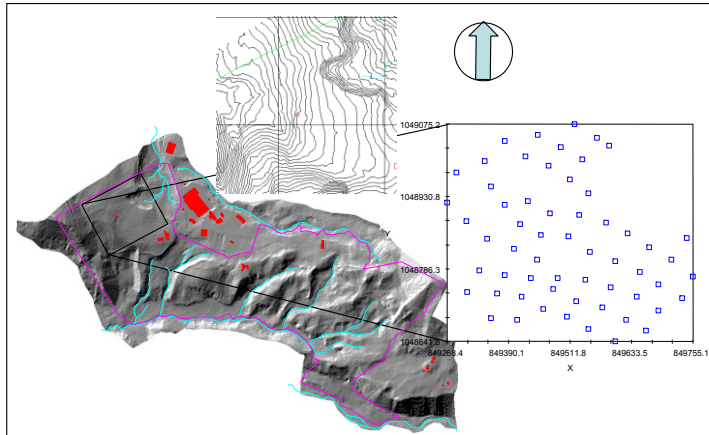


Figura 2. Modelo Digital de Terreno de la Granja Tesorito de la Universidad de Caldas ($5^{\circ} 01'47''$ N, $75^{\circ} 26' 03''$ W y 2280 m.s.n.m.). Los recuadros demarcan curvas a nivel y ubicación espacial de los sitios de muestreo en un área experimental localizado en un Piedemonte coluvial. El suelo corresponde a un *Typic Udivitrands arenoso*.

ESTACIONARIEDAD Y TENDENCIAS

La estacionariedad asume que existe un valor medio para cada conjunto de observaciones. En otras palabras, dondequiera que se obtengan observaciones dentro del transecto o dominio, se espera que exista el mismo valor de la media a través de la totalidad del área de muestreo (Nielsen y Wendroth, 2003). No obstante existen pruebas estadísticas para la existencia de este concepto conocido como estacionariedad, es difícil probar, nunca es realmente conocido, y a menudo ignorado (Nielsen y Wendroth, 2003). El empleo de técnicas geostatísticas requiere la asunción de estacionariedad de segundo orden, es decir, al menos la varianza debe ser igual en las diferentes zonas del área de estudio (Gallardo, 2006). La falta de estacionariedad puede deberse bien a la existencia de anomalías en el espacio, bien a la existencia de una tendencia o gradiente espacial cuya dimensión es mayor que el área de estudio. La estacionariedad puede ser un problema a la hora de la interpolación de puntos en sitios no muestreados porque los métodos más usados en geostatística como la interpolación por kriging es sensible a la falta de estacionariedad (Isaaks y Srivastava, citados por Gallardo, 2006). Existen varias formas de evitar que la no estacionariedad de los datos afecte la estimación de puntos no muestreados en la parcela. Es posible que la falta de estacionariedad se deba a la existencia detectable de dos poblaciones dentro del mismo espacio de muestreo. En este caso, lo más conveniente





es dividir el espacio en estas dos poblaciones, realizar semivariogramas e interpolaciones para cada una de ellas para después unir el resultado en un único mapa (Gallardo, 2006). Otra aproximación al problema es restringir el radio de búsqueda de vecinos que ayuden a interpolar un valor en una zona no muestreada. Esta aproximación se basa a que en la mayoría de los casos la estacionariedad es “global” pero no se encuentra estacionariedad “local” con lo que restringiendo el uso de vecinos a distancias convenientemente cortas puede llevar a estimaciones robustas de la variable en el espacio. Por último, si la estacionariedad está provocada por una tendencia espacial (*spatial trend*) más que por la existencia de dos poblaciones, se puede eliminar dicha tendencia (*detrending*) y realizar el semivariograma solo con los residuales. Hay que tener en cuenta que una tendencia espacial puede enmascarar la heterogeneidad local de nuestra área de estudio. Es esta heterogeneidad local en la que normalmente se centra nuestro interés. Si se conoce el origen de esta tendencia (por ejemplo una fuerte pendiente o un gradiente de inundación) se puede modelar (tendencia externa), tan solo hay que sustraer a los datos espaciales dicha tendencia, interpolar puntos usando el semivariograma de los residuales y añadir la tendencia al resultado final (Gallardo, 2006). También se puede explorar la tendencia a partir de los propios datos de la parcela (tendencia interna) mediante la sustracción de polinomios de primer y segundo grado, lo que realizan una buena parte del software geostatístico disponible. En la primera columna de la tabla 1 se puede observar que la mayor parte de los semivariogramas se construyeron con datos transformados debido a la falta de estacionariedad; para el caso particular de contenido arena se construyó con los residuales.

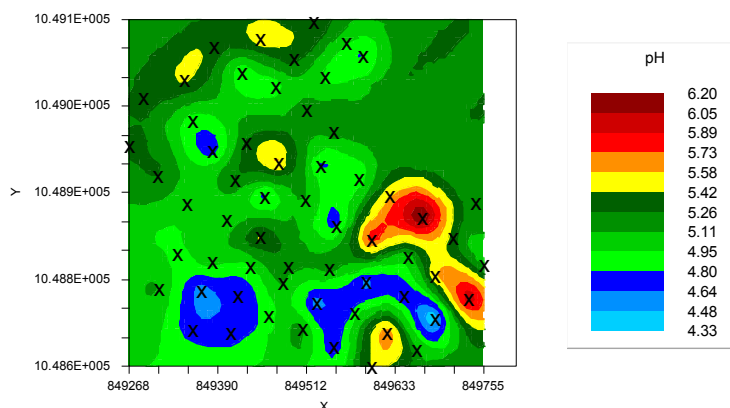
KRIGING

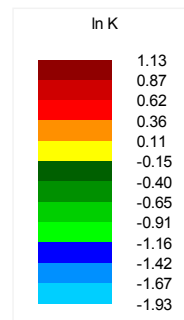
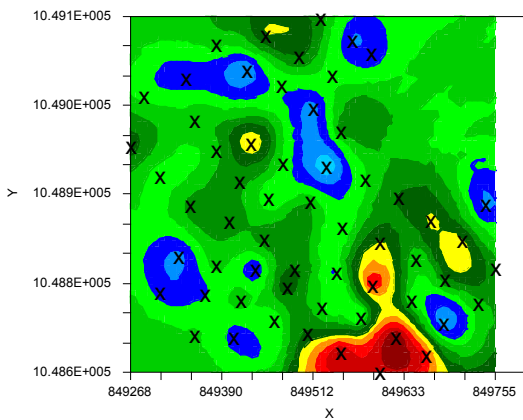
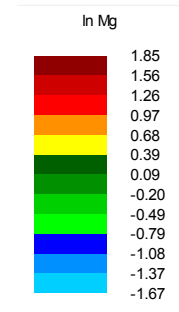
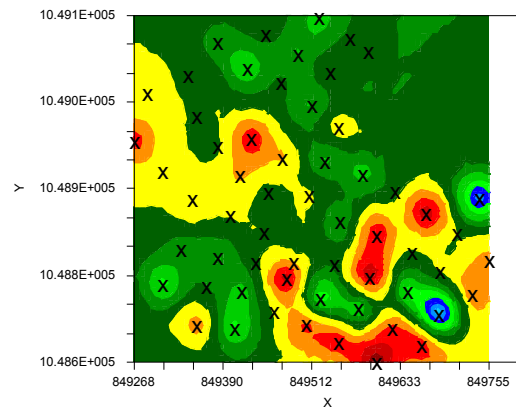
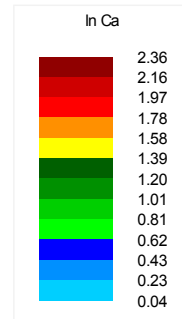
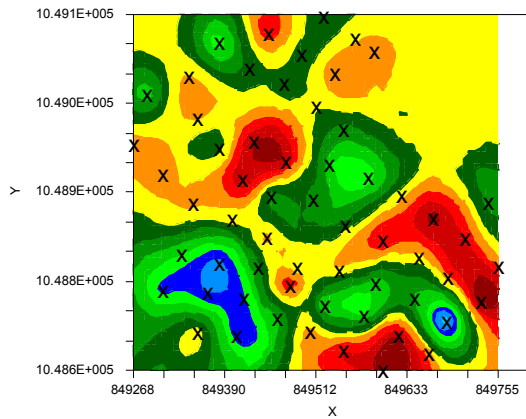
Kriging es un procedimiento estadístico para interpolar valores en sitios no muestreados entre sitios con valores medidos. Es uno de los muchos procedimientos disponibles para estimar valores no conocidos dentro de un dominio basado en algunos valores ya conocidos (Nielsen y Wendroth, 2003). Las interpolaciones usualmente se hacen determinísticamente o estocásticamente. Las interpolaciones determinísticas incluyen el trazado de líneas, polígonos o polinomios a través de valores medidos y asignando valores a sitios no medidos. No obstante estos métodos se han usado durante más de un siglo, estos no estiman el error probable de los valores interpolados. Hay muchos métodos de interpolación estocástica tales como el inverso de la distancia de valores vecinos, análisis de tendencias, promedios ponderados y muchas clases de funciones “*spline*” (Nielsen y Wendroth, 2003). Algunos métodos estocásticos estiman el error probable, algunos incorporan la asunción de correlación espacial mientras que otros requieren que los datos conocidos no sean correlacionados. En estas notas, se limitan solamente al método de interpolación por kriging que utiliza la estructura de varianza espacial disponible en un semivariograma. Este provee el mejor valor lineal estimado insesgado de un valor no medido calculado a partir de valores medidos ponderados en un “vecindario” local. Este también identifica la magnitud del error probable del valor estimado y provee un medio para



evaluar la selección del semivariograma teórico que describe la estructura espacial de la propiedad del suelo o cultivo dentro de un dominio experimental. El error probable depende de la calidad del semivariograma, el número y distribución de los valores conocidos y la posición y tamaño del sitio para el cual se hace la estimación (Nielsen y Wendroth, 2003). La fortaleza del procedimiento de interpolación por kriging estriba en el conocimiento del comportamiento espacial de la variable. Así, la forma del semivariograma nos indica la capacidad de predicción que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa de otro. Los puntos más allá del rango, es decir cuando el semivariograma se vuelve plano, tienen la mínima capacidad predictora.

Hay varias clases de interpolación por kriging, entre ellos, kriging puntual a lo largo de un transecto, kriging puntual a través de una red, kriging en bloques, kriging en bloques a lo largo de un transecto, kriging en bloques a través de un área, kriging indicador y kriging universal (Nielsen y Wendroth, 2003). Así, es necesario decidir sobre la clase de interpolación aplicar. En suelos, los métodos de kriging puntual y por bloques son bastante utilizados. Mientras que la interpolación puntual estima del valor de la variable en un punto del espacio, la interpolación por bloques estima la media de un área predeterminada que rodea a ese punto. En la mayoría de los casos la interpolación por bloques (que produce un “suavizado” de los valores estimados) correlaciona mejor con los valores verdaderos, siendo generalmente más exacta que la interpolación puntual (Isaaks y Srivastava, 1989). El resultado final del *kriging* es un mapa con los valores interpolados de la variable. Sin embargo, a diferencia de otras técnicas, la geostatística permite que cada interpolación lleve asociado un grado de incertidumbre que puede también ser representado en el espacio (en forma de varianza o desviación estándar). Por tanto a cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distribución teórica, lo que además permite la posibilidad de realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del *kriging* como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor (Gallardo, 2006). La figura 3 presenta mapas de contornos obtenidos por el método de interpolación kriging puntual a partir de los semivariogramas de la tabla 1.

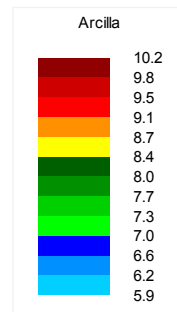
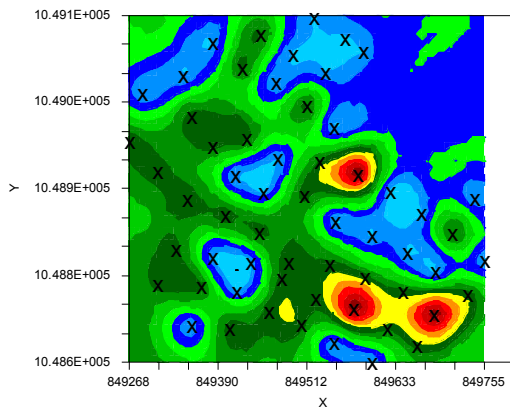
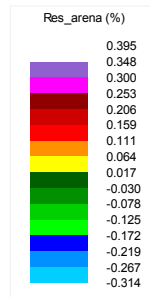
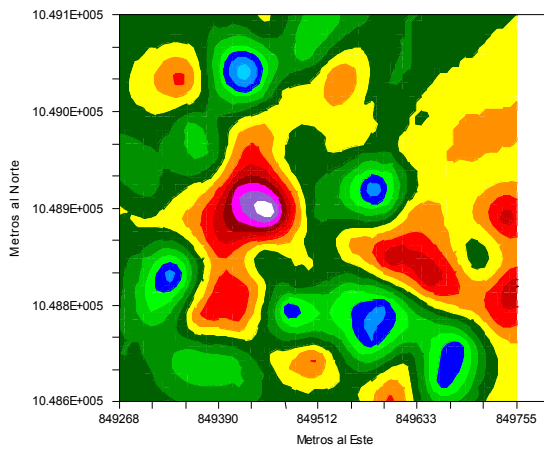
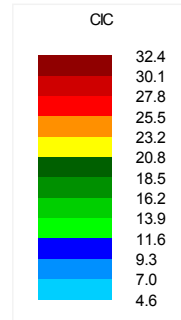
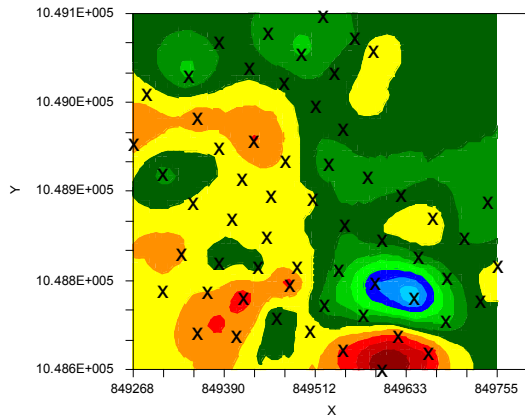


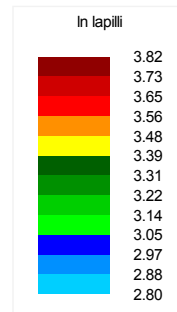
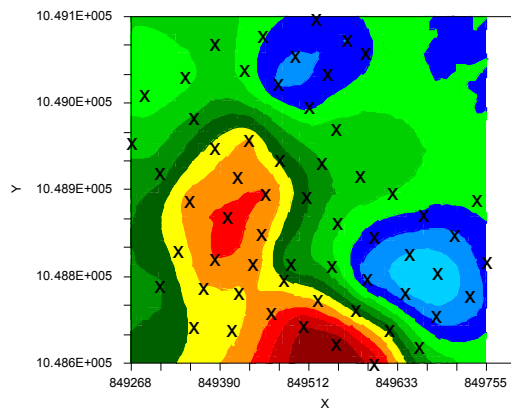
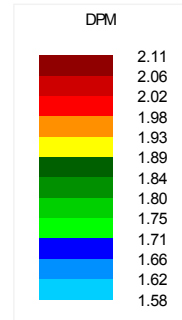
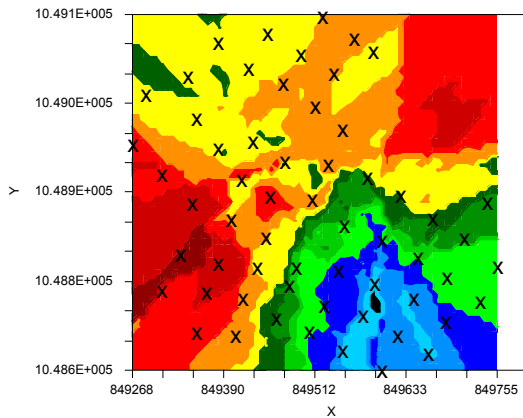


III Encuentro Nacional de AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Futuro agroempresarial de la agricultura tropical

6 al 8 de junio de 2007
Villavicencio, Meta, Colombia





Villegas y Alvarado (2006), utilizaron los conceptos de manejo específico de la fertilidad del suelo y cultivo para la explicación de la reducción en productividad de progenies avanzadas del programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, en una localidad de alta producción de la zona cafetera central colombiana (Estación Central Naranjal de Cenicafé, 4° 59' N, 75° 39' W y 1.400 m.s.n.m. con suelos clasificados como *Acrudoxic melanudands*).

Aplicaron un diseño experimental en látice de 6 x 7, con 3 repeticiones y se evaluaron 42 con progenies avanzadas de café del programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé. Las plantas fueron georreferenciadas individualmente y se realizó un muestreo de suelos anidado (50 m, 15 m, 5 m y 2 m.) para análisis geoestadístico de las variables de fertilidad pH, M.O, P, K, Ca, Mg y Al. Se generación de mapas de contornos o isolíneas de fertilidad (isofertas) mediante el método de interpolación de Kriging puntual. En la mapificación de la producción se utilizó el método del vecino más cercano, con un radio de interpolación de 1 metro.



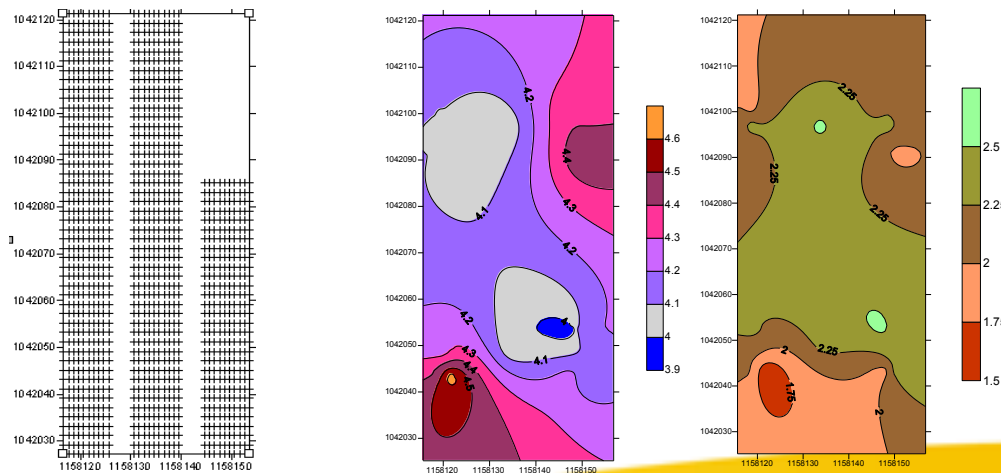
El análisis de varianza anidado mostró que en el nivel 1, el contenido de Fósforo presentó diferencias significativas; en el nivel 2, se hallaron diferencias altamente significativas para los atributos de fertilidad pH y M.O, y diferencias significativas para el contenido de P. En el nivel 3, no se encontraron diferencias estadísticas para ningún atributo de fertilidad. La explicación de la variabilidad total por los diferentes niveles de muestreo fueron de un 64.26%, 29.01%, 65.16%, 29.54%, 61.95%, 74.07 y 72.83% para los atributos pH, M.O, P, K, Ca, Mg y Al respectivamente. La tabla 2, muestra los resultados de la construcción de los semivariogramas.

Tabla 2 Resultados del análisis geoestadístico para los atributos de fertilidad.

Propiedad	Modelo	Nugget	Sill	Rango	RSS	Distribución	Nuget/Sill
pH	Esférico	0,00	1,43	25,60	0,72	Normal	Fuerte
MO	Exponencial	0,55	1,01	47,08	0,86	Normal	Moderada
P	Esférico	297,00	930,00	21,40	1831	Normal	Moderada
K	Esférico	0,00	0,02	3,80	0,00	Lognormal	Fuerte
Ca	Esférico	0,00	0,00	9,70	0,00	Normal	Fuerte
Mg	Esférico	0,00	0,01	3,20	0,00	Normal	Fuerte
Al	Esférico	0,00	0,07	7,00	0,00	Normal	Fuerte

Es de resaltar que los elementos K, Ca, Mg y Al presentaron variaciones espaciales a muy cortas distancias, lo que sugiere el estado de alteración de las bases intercambiables en el lote, como se muestra en la figura 3. Los resultados de análisis de varianza para la producción mostraron diferencias altamente significativas entre progenies en cuatro años de evaluación.

Las progenies sobresalientes por su producción en las condiciones imperantes en el lote, que poseen un potencial para estudios con adaptación específica a las condiciones del lote y seleccionados por la estabilidad fenotípica y producción son BI712, CATUSC, CX2567, CATUCC, CU1951, CX2188, CU1778, VARCOL, BH813, estas se caracterizaron por una producción en incremento a través del tiempo.



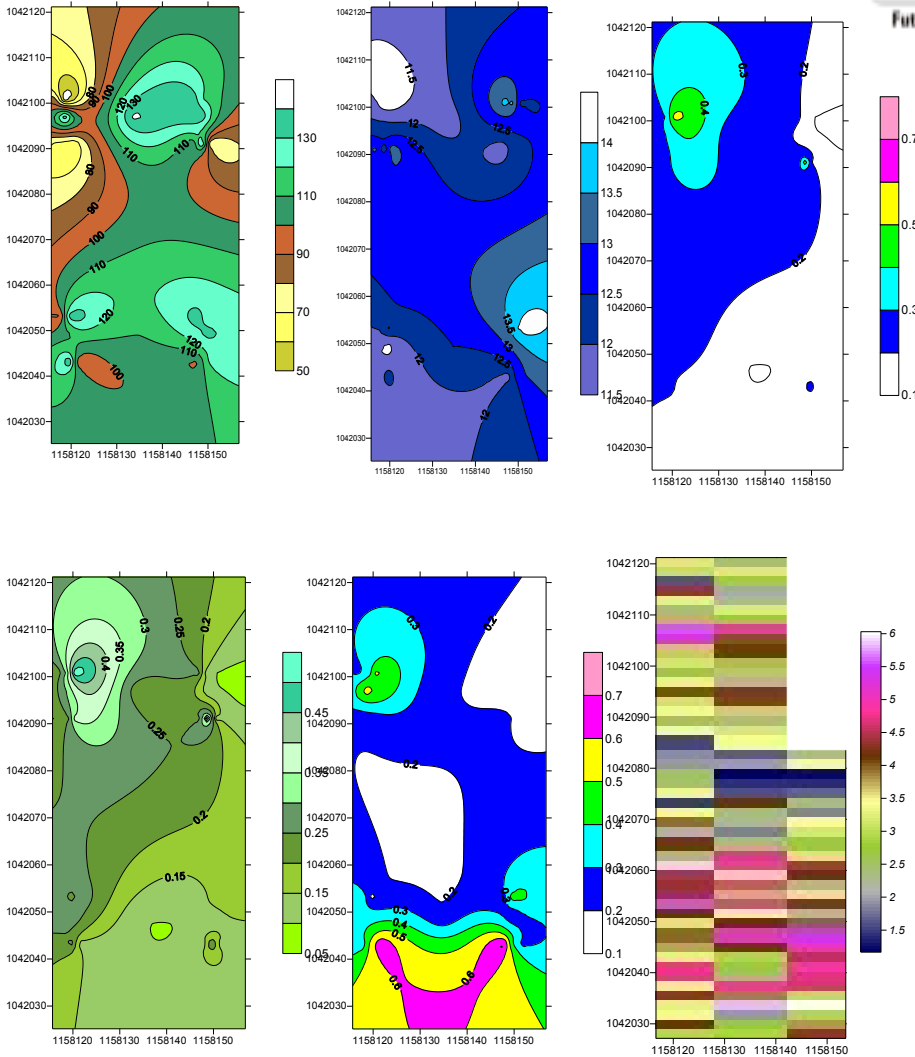


Figura 3. Mapas de contornos de fertilidad (isofertar), crecimiento y roya de las progenies evaluadas en el lote experimental.

La figura 3.i muestra que hay correlación directa con los mapas de fertilidad y la producción, lo cual indica que las progenies fueron afectadas por la variabilidad espacial de los desbalances nutricionales en el lote experimental.

CONCLUSIONES

Los resultados de los dos estudios presentados, ambos realizados en suelos de origen volcánicos del Departamento de Caldas, revelan la alta variabilidad de las propiedades del suelo a escala predial en elementos de paisaje de zonas montañosas.

La geostatística se constituye en una herramienta valiosa para dilucidar el comportamiento espacial de los nutrientes del suelo y en consecuencia permite concluir





que el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico en paisajes productivos en zonas montañosas puede ser una alternativa tecnológica viable económica y ambientalmente sostenible. Sin embargo, se requiere mayor investigación para su implementación y transferencia a los pequeños productores.

BIBLIOGRAFIA

CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. 1999. Spatial analysis of soil fertility parameters. Precision Agriculture (1), 3 - 14.

CLARK, I. 1979. Practical geostatistics. Applied Science Publishers Ltd, London. 129p. GALLARDO, A. 2006. Geoestadística. Ecosistemas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. Ecosistemas 2006/3. <http://www.revistaecosistemas.net>.

ESPINOSA, J. 2000. INFORMACIONES AGRONÓMICAS No. 39. INFOFOS.

GIRALDO H., R. 2003. Introducción a la Geoestadística. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 94 p.

GONZÁLEZ T., D. M. 2003. Módulo de geoestadística para Excel: aplicación a pesca. En: VI Congreso Gallego de Estadística e Investigación de Operaciones. <http://eioweb.uvigo.es/visgapeio/8> p.; consulta: septiembre 2004.

GS+ 5.3b: GEOSTATISTICS FOR THE ENVIRONMENTAL SCIENCES. 2000. Gamma Desing Software, Plainwell, Michigan USA.

LEYVA, F. 2006. Aproximación al manejo sitio-específico del suelo para una agricultura sostenible y competitiva en Colombia. Conferencia XIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Octubre 4-6 de 2006.

MORAL G., F. J. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/documentos/Revision3.doc>. 11p.; consulta: septiembre 2004.

NARANJO J. L. 2001. Modelo Digital de Terreno de la Granja Tesorito de la Universidad de Caldas. Proyecto: desarrollo de indicadores de Calidad del suelo de la región andina central. Referencia: Piso montano bajo y tropical del departamento de Caldas. COLCIENCIAS. Código 1127-13-10629.

NIELSEN, D. R.; J. W. BIGGAR; K. T. ERH. 1973. Spatial variability of field measured soil water properties. Hilgardia 42, 215 – 259.

NIELSEN, D. R.; WENDROTH, O. 2003. Spatial and temporal statistics. Sampling Field Soils and their Vegetation. Catena Verlag GMBH, Reiskirchen. 398 p.

OBANDO, F.H., VILLEGAS, M., BETANCUR, J., AND ECHEVERRY, L. 2006. Variabilidad espacial de propiedades químicas y físicas en un Typic Udivitrands arenoso de la región andina central colombiana. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional, Medellín, Vol. 59 (1):3217-3235.

OVALLES V., F. A. 1991. Evaluación de la variabilidad de suelos a nivel de parcela, para el establecimiento en lotes comerciales en el estado Cojedes. Agronomía Tropical 41 (1), 5 – 22.



PAZ, A.; GÓMEZ, M. J.; TABOADA, M. T. 1996. Análisis geoestadístico de las propiedades generales de un suelo de cultivo. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales* 11 (1), 133 – 160.

PONCE DE LEÓN, D.; PABLOS, P.; BALMASEDA, C.; HENRIQUEZ, M. 1999. Variabilidad espacial del pH, fósforo y potasio en muestreos de suelos con fines de fertilidad en plantaciones de caña de azúcar en Cuba. *Bioagro* 11 (1), 3 – 11.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; STORK, L.; FEIJÓ, S. 2003. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 27, 1013 – 1020.

VILLEGAS, M., ALVARADO, G. 2006. Variación espacial de roya (*Hemileia vastatrix*) en progenies con resistencia incompleta derivadas de caturraxhíbrido de timor. *Fitotencia colombiana* 6(1):33-46.



**ADECUACIÓN DE TIERRAS Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN
SISTEMA LÁSER EN EL DEPARTAMENTO DEL CASANARE.**

EXPOSITORES

ORLANDO JESUS RIOS MARTINEZ
Ingeniero agrónomo

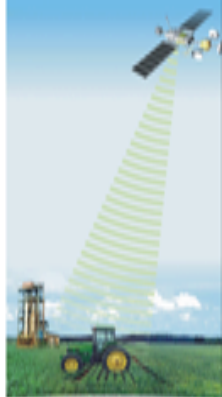
JAVIER E. FORERO LEON
Ingeniero Agrónomo

COSECHAR LTDA.

 **Dow AgroSciences**

Email: javiering412@hotmail.com
310 2519302

YOPAL – CASANARE
27 mayo de 2007.





Introducción

La agricultura en el llano tiene muchas variables y hace que el negocio agrícola sea de alto riesgo y de baja rentabilidad; contrario a las leyes del mercado, entre mas riesgoso el negocio mas rentable.

Con la agricultura de precisión y la nivelación láser se busca un negocio altamente rentable y seguro, encajando perfectamente con la agricultura ambiental.

Objetivo

Adequar y nivelar suelos para agricultura de precisión.

Justificación:

La agricultura en el llano y especialmente los cultivos de ciclo corto presentan muchos altibajos en cuanto a buenas producciones se refiere, algunas por condiciones climáticas otras por manejos inadecuados de los cultivos (mala administración).

En las condiciones actuales como se cultiva en el llano es muy difícil competir con países desarrollados y nuestros vecinos, si no adoptamos nuevas tecnologías como en el caso de la nivelación de los suelos y la agricultura de precisión, quien adopten las tecnologías de punta son los que prevalecerán en este mercado globalizado. Se necesita competir con costos bajos y altos rendimientos y eso solo se logra con tecnología de punta.

Marco teórico

La nivelación de tierra consiste en modificar el microrelieve natural o mecanizado, uniformizándolo a un plano horizontal con una pendiente natural o determinante, para facilitar el manejo del riego y el establecimiento del cultivo.

Ventajas de la nivelación láser.

- Ahorro de agua de hasta un 50%
- Menor cantidad de semilla por hectárea (120 – 150 Kg.). Arroz, maíz, soya, algodón, sorgo.
- Mayor eficiencia en el control de malezas, plagas y enfermedades.
- Mayor eficiencia en la fertilización.
- Reducción mano de obra.
- Eficiencia en la cosecha.
- Mayor productividad.
- Recuperación de lotes y valorización de la tierra.

Estimación del volumen (m³) y ahorro (%) de agua requerido para el llenado en una melga de una hectárea a diferentes profundidades de lámina de inundación.





SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO



Volumen de llenado (m ³ /ha)				
Profundidad de inundación (cm)	Suelo no nivelado (m ³)		Suelo Nivelado	Ahorro de agua (%)
	Relieve irregular plano	Muy irregular pendiente >2/00	Cero pendiente	
5	1.260	1.830	1.100	14.5-66.4
10	1.720	2.330	1.600	10.0-45.6
15	2.260	2.830	2.100	7.6-34.8
20	2.760	3.330	2.600	6.1-28.1

Materiales y métodos

Tractor mayor de 90 hp.

Equipo de rastra y pulidor.

Equipo de nivelación: Emisor, receptor, panel de control, pala de nivelación.

Software de topografía (AutoCAD).

Este trabajo se llevo a cabo en el departamento del casanare en el municipio de Yopal, vereda Manantiales y las Brisas. El suelo se debe acondicionar en una muy buena preparación y hacer una calicata para determinar el movimiento de tierra y el tamaño de la melga, conocer el perfil del suelo y la topografía del terreno se establece sobre plano el manejo del diseño de las melgas según su alturas y formas planimétricas para poder observar sus drenajes y luego iniciar el trabajo de nivelación.

1. Preparación del lote.

Dos pases de rastra

Un pase de pulidor

Un pase de palo.

2. Calicata.

3. Levantamiento altimétrico. (Curvas a nivel).

4. Diseño sobre plano de las melgas y de los drenes.

Trabajo en campo:

5. Diseño de los caballones con la taipa.

6. Nivelación con la pala.

7. Rectificación de caballones con taipa.



Seguimiento del trabajo en la finca la victoria:

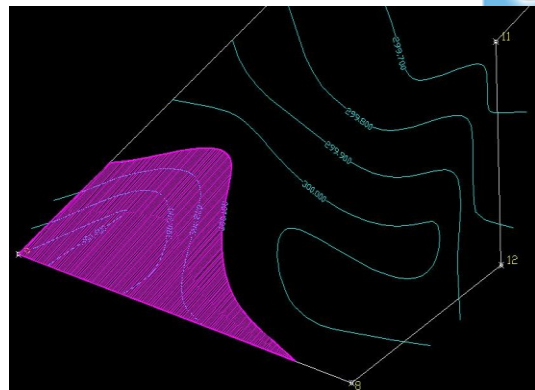
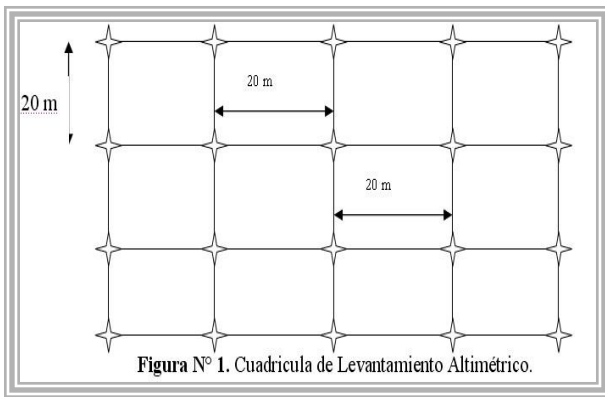


Figura 1. Lote Caballoniado.



Figura 2. Lote Nivelado.

Diseño de la cuadrícula para las curvas a nivel



Manejo de la taipa



Rectificación de los caballones con la taipa



FINCA LA VICTORIA.

- Propietario: Santiago Diaz
- Vereda: Manantial
- Area Nivelada: 7 Has.

Diseño de las Melgas con sus respectivos drenajes



COSTOS

Curvas a nivel

	CANTIDAD (Ha)	PRECIO (\$)	Detalle
CURVAS A NIVEL SIN TAIPA	1	30.000	con tractor
CURVAS A NIVEL CON TAIPA	1	55.000	con tractor
CURVAS A NIVEL SIN TAIPA	1	16.000	A pie
CURVAS A NIVEL CON TAIPA	1	25.000	A pie





Novelación

	CANTIDAD (Ha)	PRECIO (\$)	Detalle
NIVELACIÓN	1 hora	65.000	1) Tractor y operario. 2) Pala de nivelación. 3) Equipo láser 4) Plano topográfico.
ALQUILADA DEL EQUIPO	1 día	150.000	1) Pala de nivelación 2) Equipo Láser.
NIVELACION		900.000	

BIBLIOGRAFIA.

Nivelación de Suelos. <http://www.queretaro.gob.mx/sedea/PROGRAMAS/SUELOS.HTM>

Juan Castellanos.. Agro-Láser. <http://www.isa.edu.do/nivelacion.html>.

[Luís E. Lugo](#), [Luís E. Vivas](#) y [Huáscar López](#). La nivelación láser de tierra en el mejoramiento de prácticas agronómicas en la producción de arroz en el Sistema de Riego Río Guárico. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA-CENIAP).

http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n9/arti/lugo_l2/arti/lugo_l2.htm.



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO EN UN CULTIVO DE MANGO (*Mangifera indica* L.) LOCALIZADO EN LA MESA CUNDINAMARCA.

Cesar Augusto Valbuena Calderón¹, Luis Joel Martínez M², Ramón Giraldo H³.

RESUMEN

Se estudió la variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo en un cultivo de mango, localizado en la vereda Lagunas del municipio de la Mesa Cundinamarca a 4 ° 35 ' 41 " N y 74 ° 27' 50" W y 750 msnm. Se realizó un muestreo en red flexible en un área de aproximadamente 5 Ha, para un total de 31 sitios.

El objetivo de la investigación fue determinar la distribución de las variables edáficas y estudiar las variaciones espaciales de estas variables en el lote de estudio; generando como resultado mapas, los cuales presentaron una alta variación de las propiedades químicas del suelo influenciadas por factores como la pendiente del terreno.

También se busca proponer algunas alternativas y manejos agronómicos que contribuyan a mejorar la calidad y productividad de este frutal en la región.

El análisis geoestadístico se llevó a cabo en tres etapas: 1) análisis exploratorio de los datos utilizando el software SPSS 9.0. 2) análisis estructural. 3) interpolación por el método Kriging (residual, ordinario, logarítmico) utilizando el paquete geoestadístico R.

Además se realizaron análisis de correlación con el fin de definir relaciones entre las distintas variables en estudio, por medio de la cual se evidenció que existen muchas variables que presentan alta asociación con otras, lo que indica que la variación de estas se puede reducir a menos variables, para tal fin se llevó a cabo el análisis de componentes principales.

De los diferentes modelos probados el que dio los mejores resultados fue el modelo de covarianza "efecto hueco"; ya que fue el que mejor se adaptó a los semivariogramas experimentales.

Palabras claves: análisis geoestadístico, Kriging, SIG, interpolador, uso del suelo, distribución espacial, georeferenciación, nutrientes.

1 Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: cavalbuenac@unal.edu.co.

2 Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: ljmartinezm@unal.edu.co.

3 Profesor asistente, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: rgiraldoh@unal.edu.co.





INTRODUCCIÓN

La Geoestadística, se define como una ciencia aplicada que estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio. Se basa en el hecho que los datos se correlacionan espacialmente, es decir, un dato se relaciona con otros cercanos, pero a medida que se alejan del mismo la dependencia espacial disminuye (Cressie, 1991). La dependencia espacial ha sido reconocida desde hace algunas décadas para propiedades del suelo (Trangmar, Yost y Uehara 1985, Wilding y Dress, 1983). Mediante el uso de modelos que representan la relación entre la semivarianza y la distancia, denominados semivariogramas, es posible definir la estructura espacial de atributos del suelo.

Luego de las primeras aplicaciones de la geoestadística a datos de suelo en la década de los 1980s (Webster y Burges 1980); se popularizó el uso de los métodos geoestadísticos aplicados a las ciencias del suelo, como se ha evidenciado con el incremento de estudios reportados en la literatura (Goovaerts, 1998). Según Wilding y Drees (1983), los pedólogos deben estudiar la variabilidad espacial con el fin de determinar la composición edáfica, definir clases, cuantificar procesos y factores formadores, desarrollar sistemas de muestreo y determinar la distribución de los suelos. Entre las diversas las aplicaciones de la geoestadística para el estudio de la variabilidad espacial de los suelos se incluye el mejoramiento de los levantamientos de suelos permitiendo enfoques más cuantitativos (Webster, 1985); los estudios de génesis de suelos y de pureza de unidades de mapeo (Wilding y Drees, 1983), estudios de degradación de suelos (Martínez y Zinck, 1994; Martínez, y Zinck, 2004) todo lo cual corresponde a las actuales demandas de información de suelos.

En el caso de la agricultura, las propiedades del suelo que determinan su fertilidad, varían en el tiempo y el espacio, lo cual incide en la variabilidad de la producción de los cultivos dentro de los lotes. Por lo tanto el estudio de la variabilidad espacial de suelos y su relación con la producción es un tópico de interés en la agricultura actual ya que es la base del enfoque de agricultura de precisión que busca efectuar un manejo y una aplicación de insumos en forma específica con base en la variabilidad de los lotes en cambio de generalizar para toda una región o zona productiva (NRC, 1997). Además, es necesario conocer la variabilidad espacial con el fin de tomar decisiones en términos de muestreo y lograr caracterizar correctamente las variables.

Los objetivos del presente trabajo fueron caracterizar y estudiar la distribución espacial de las variables edáficas dentro de un lote y relacionar la incidencia de estas variables con la variación del rendimiento del cultivo de mango.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la vereda Lagunas del municipio de la Mesa Cundinamarca,





Colombia (latitud 4 ° 35 ' 41 "norte y 74° 27' 50" oeste y 750 msnm.), el área de estudio fue de 5 ha dedicadas al cultivo del mango (variedad *Fairchild*) de 8 años de edad. El suelo era un Typic Dystrudepts ubicado dentro de la unidad cartográfica *MWDD*. El relieve es rectilíneo, con pendientes alrededor del 25%. El clima de la zona presenta temperaturas, que varían entre 23 y 26 °C y precipitación promedio anual de 2500 mm. El muestreo se efectuó en red flexible en donde se ubico cada punto seleccionado utilizando un GPS, obteniendo diferentes datos como la altitud y muestras de suelo; se puede observar la distribución espacial de las 31 muestras de suelo (figura 1), en donde en cada punto se tomaron 5 submuestras de las cuáles 4 están separadas a 1m de la submuestra central, luego se mezclaron homogéneamente y se obtuvo una muestra compuesta que se analizo en el laboratorio. El rendimiento se midió contando el número total de frutos por árbol en cada punto de muestreo.

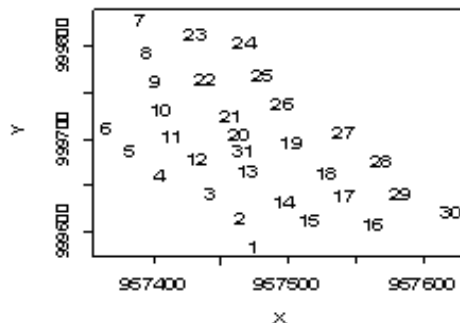


Figura 1. Distribución del muestreo en el lote.

Se realizo el análisis exploratorio para determinar las características generales del lote en estudio, conocer la distribución de los datos y su variación, se calculó la media de localización mas común y de variabilidad (coeficiente de variación) para efectos descriptivos. En el análisis estructural se involucró la correlación o dependencia espacial que se realizo para definir las relaciones entre variables. Además se examinó la tendencia espacial y el supuesto de normalidad (Shapiro Wilk) para luego realizar los semivariogramas experimentales y ajustarlos a los modelos teóricos; para evaluar la calidad de estos modelos se utilizo el criterio de selección dado por los estadístico de ajuste (*MAPE* y *CME*) provenientes de la validación cruzada. Los métodos de estimación seleccionados en los análisis fueron *WLS* Y *REML* (Diggle et al., 2003). Se realizo las predicciones espaciales al seleccionarse el modelo definitivo de semivarianza utilizando diferentes tipos de kriging (logarítmico, residual y ordinario). Los análisis se realizaron en el programa estadístico *R* (versión 3.2.1); en donde se elaboraron los semivariogramas y los mapas de contorno utilizando la librería *Geo R* (Ribeiro y Diggle, 2006). Además se realizo el análisis de componentes principales para determinar las variables de mayor influencia en la fertilidad del suelo en estudio, reduciendo las variables al seleccionarse las que presentaron el mayor numero de relaciones significativas y las mas importantes para el desarrollo y productividad del mango, establecidas mediante el coeficiente de correlación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados del análisis exploratorio de datos en donde algunas variables como la suma de bases totales presento un valor alto ($21.21 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), en relación a los requerimientos del cultivo (Avilan, 1983). El valor promedio para potasio se considera alto ($0.37 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), al igual que el magnesio ($3.91 \text{ cmol.Kg}^{-1}$) y calcio ($16.21 \text{ cmol.Kg}^{-1}$); lo que indico que el contenido de bases resulta adecuado para este cultivo (Avilan, 1983). La capacidad de intercambio catiónica fue alta ($20.89 \text{ cmol.Kg}^{-1}$), presentándose buenas condiciones para el intercambio de cationes. El valor promedio del pH fue de 5.5 que resulta medio y con una clasificación de extremadamente ácido. Según la literatura este valor de pH esta dentro de los requerimientos ideales para el mango (Regulo y Vega 2001). El promedio del carbono orgánico fue medio (2.23 %) lo que indico que este suelo presenta contenidos bajos de materia orgánica, debido talvez al aumento de los procesos de mineralización en el suelo activados por las altas temperatura presentes en la región de estudio (Avilan, 1983). Para las variables agronómicas como la altura de los árboles el promedio fue de 383.87 cm que corresponde con la edad del cultivo; para el caso del rendimiento el rango fue muy amplio con un promedio de 149 frutos/árbol.

Se comparo la dispersión entre las diferentes propiedades químicas utilizando el coeficiente de variación (Wilding y Drees 1973); para el pH, altura árbol y la CIC a diferencia de las demás variables se obtuvo coeficientes de variación bajos, indicándonos poca dispersión y variación espacial dentro del lote (tabla 1). Estos resultados concuerdan con las investigaciones realizadas por Wilding y Drees (1973) en donde algunas propiedades químicas como el Ca, Mg, K son extremadamente variables con un coeficiente de variación de 40 a 70% y rangos hasta de 160% (Wilding y Drees 1983).

Con la matriz de coeficientes de correlación (*coeficiente de pearson*) de las diferentes variables; se observo por ejemplo que el pH se relaciono en forma positiva y altamente significativa con el boro (0.77), calcio (0.77) y bases (0.79) en donde para estas dos ultimas variables con un pH bajo se encontraran valores bajos en la concentración de calcio y en la suma total de bases, lo cual concuerda con la literatura ya que la reacción del suelo presenta influencia en la disponibilidad de nutrientes, principalmente para los cationes básicos cuando el pH se hace menor (Muñoz, 2005). Se presento además una alta correlación positiva entre las variables agronómicas rendimiento y altura. Se determino utilizando el test Shapiro-Wilk que las variables (CIC, Mg, CO, Cu y K) presentaron distribución normal por no tener datos atípicos como las demás variables, con las cuales se utilizo otro método de análisis diferente al clásico, en donde el método kriging es generalmente muy sensible a este tipo de datos (Martín, 2002). Para obtener la normalidad de los datos y continuar con el análisis geostatístico se realizo



transformaciones de las variables fósforo y calcio (logaritmo natural), boro (Boxcox con $\lambda = 0$), pH y cobre (regresión lineal).



Estimación de parámetros geoestadísticos y ajuste de modelos

En esta etapa los parámetros de dependencia espacial fueron calculados por *REML* y *WLS*; en contraposición al procedimiento clásico basado en mínimos cuadrados aplicados sobre el semivariograma experimental. En la tabla 1 se presenta el resumen de las estadísticas de ajuste para los mejores modelos seleccionados; mostrándose los valores para las dos medidas estadísticas elegidas del error de predicción para cada modelo en el proceso de validación cruzada. El cuadrado medio del error (*CME*) y el porcentaje medio de error absoluto (*MAPE*) que son parámetros utilizados para medir la variabilidad; estas medidas dan un indicativo de la precisión de las estimaciones y se calcularon con base en los residuales obtenidos por validación cruzada. Se buscó el mejor modelo para las diferentes variables analizadas; sin embargo algunas no presentan las mejores estadísticas de ajuste como sucede con las variables fósforo, boro, potasio y magnesio en donde el porcentaje del *MAPE* fue superior al 38.71%. Pero por el contrario para las variables pH (11.68%) y CIC (9.05%) este valor del *MAPE* fue el apropiado (Tabla 1).

Tabla 1. Modelos y parámetros para cada una de las variables en estudio y estadísticas empleadas en el proceso de validación cruzada.

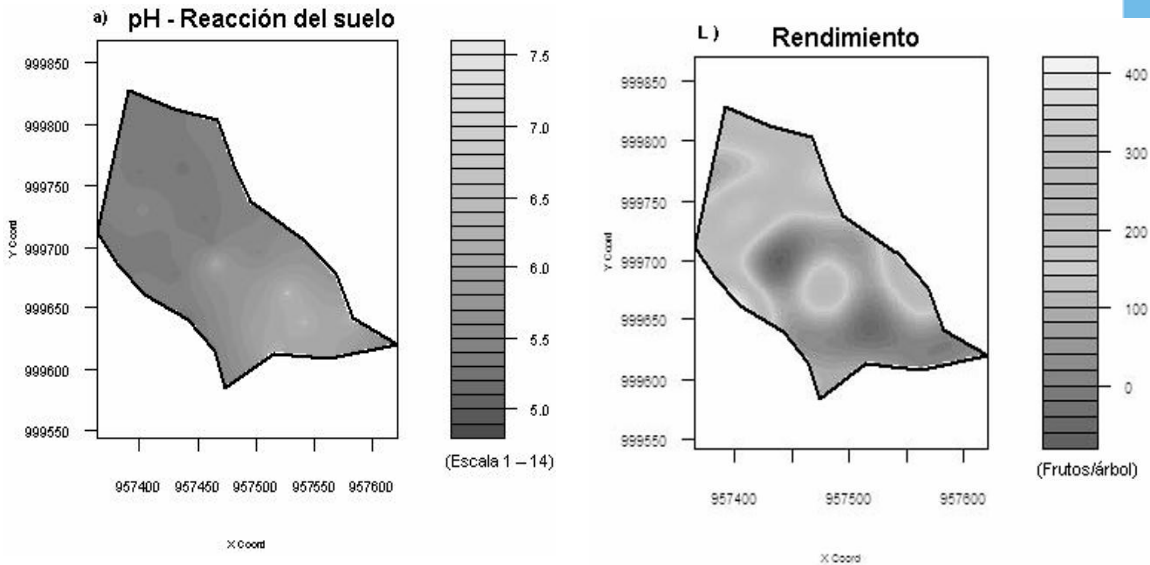
Variable	Modelo	Método de estimación	Tendencia	Trans-formación	Parámetros estimados			Estadísticas de ajuste.			
					Nugget τ^2	Silla σ^2	Rango ϕ	Error mínimo	Error máximo	MAPE (%)	CME
pH	Matern	WLS	Lineal	No	0.670	0	49.988	-1.866	2.163	11.686	0.74
K	Efecto hueco	REML	No presenta	No	0.036	0.013	9.479	-0.218	0.711	38.710	0.05
Ca	Efecto hueco	REML	No presenta	In	0.100	0.049	23.582	-9.360	25.930	25.930	47.09
Mg	Efecto hueco	REML	No presenta	No	0	2.877	5.103	-2.808	4.359	23.355	2.68
Bo	Efecto hueco	REML	lineal	In	0	0.204	11.041	-0.215	0.756	24.338	0.03
P	Efecto hueco	REML	No presenta	In	0.138	0.305	12.341	-16.855	31.715	29.70	39.23
CO	Efecto hueco	REML	No presenta	No	0	0.442	10.701	-1.146	0.872	22.906	0.28
Cu	Efecto hueco	WLS	Lineal	No	0.072	0.077	27.53	-0.803	0.821	22.6	0.12
CIC	Matern	REML	No presenta	No	0	6.305	11.303	-6.009	6.344	9.050	6.23
Bases	Efecto hueco	REML	No presenta	In	0	0.074	4.267	-6.589	23.289	21.817	38.27
Compo 1	Efecto hueco	REML	Lineal	No	0.071	1.460	10.991	-2.365	2.058	18.181	1.10
Compo 2	Efecto hueco	WLS	No presenta	No	0.749	0.732	5.117	-2.181	3.358	15.810	1.76
Altura árbol	Efecto hueco	REML	No presenta	No	0	7247.21	5.584	-133.637	212.125	19.122	7072.34
Rto	Matern	REML	No presenta	No	0	8433	37.38	-132.300	290.030	14.321	9284.17

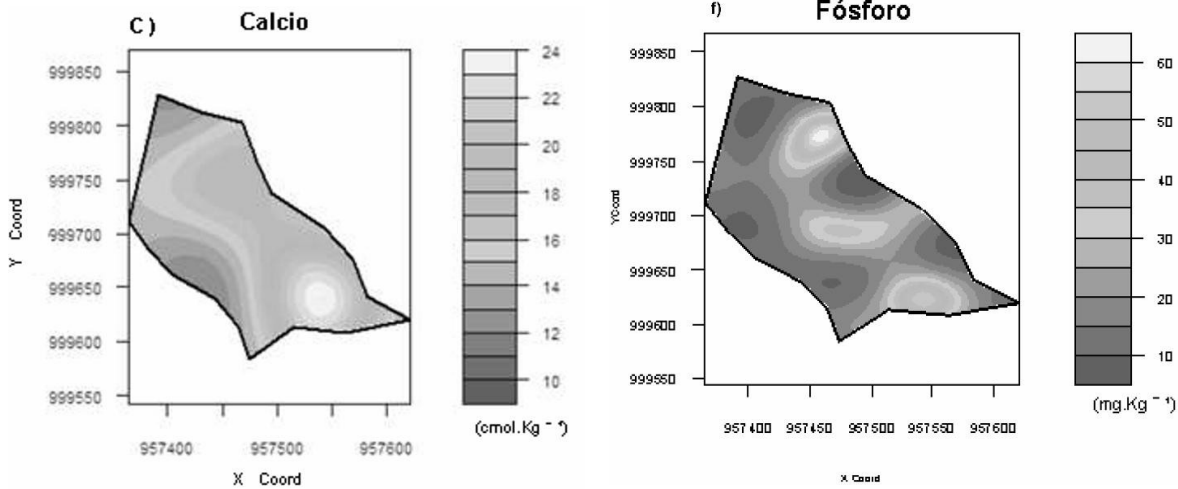
Meseta Parcial: Meseta – Efecto Pepita;
(MCP) WLS: Mínimos cuadrados ponderados;
REML: Máxima verosimilitud restringida;
MAPE: Porcentaje Medio del Error Absoluto;
ln: Logaritmo natural;
Compo: Componente;
CME: Cuadrado Medio del error.
Rto: Rendimiento; CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

Predicción kriging de variables y generación de mapas (predicción espacial)

Los mapas de distribución espacial para las variables CIC, K, Mg y CO, fueron obtenidos mediante interpolación utilizando el método kriging ordinario; el cual permite predecir valores de una variable en sitios no muestreados a partir de sitios muestreados. Para el pH, Cu, altura árbol y rendimiento se utilizó Kriging residual (figura 2), con el cual se observó los mejores resultados, a diferencia de las variables (Ca, Bo y P) en donde se usó kriging logaritmo.

Figura 2. Mapas de Distribución Espacial Para algunas de las Variables estudiadas.





En el mapa de distribución de calcio (figura 2) al igual que el pH en el lote se presentó tendencia en sentido norte-sur; este comportamiento espacial es debido a que la variable se ve afectada por algún tipo de proceso ya sea genético o morfológico como la pendiente del terreno en donde en las partes más bajas del lote se presentaron los valores más altos, el rango para el calcio va desde 10 hasta 24 cmol.Kg^{-1} . Para el pH (figura 2), además se observó cierta homogeneidad hacia la zona nor-oriental y el borde occidental del lote con valores alrededor de 5; mientras que en la parte inferior se encuentran valores que van desde 5.5 hasta 7; siendo el pH más ácido en la parte norte y central del lote la cual corresponde a el área de mayor pendiente y más básico hacia la parte baja del lote; esto puede ser debido a que factores como la pendiente y las constantes lluvias ocasionan que las bases se desplacen hacia estas partes acumulándose y aumentando el nivel de basicidad del suelo.

Para las variables agronómicas en estudio se encontró que el rendimiento presentó valores altos hacia la zona norte y parte del centro del lote lo que correspondió con los árboles que presentaron mayor altura, con un rango muy amplio entre 250 a 600 cm.

Análisis de componentes principales para las variables edáficas

Se observó que con 2 componentes se explica un 67.67% de la variabilidad total, siendo además el valor propio asociado a la matriz de correlaciones mayor a 1 (Peña, 2002). En la tabla 2 se presenta cada variable de interés con cada una de las componentes en donde la primer componente solo el cobre presenta pesos negativos; en cambio para la segunda componente resultó que más del 50% son pesos negativos y el resto valores positivos y bajos como por ejemplo las bases (0.41), fósforo (0.19) y el pH (0.07).





Tabla 2. Ponderaciones de las variables edáficas en estudio para las dos componentes en los que se presentó la mayor variación.

Tipo variable de	componente 1	Componente 2
pH	0.90	0.07
CO	0.68	-0.60
Mg	0.13	-0.87
P	0.60	0.19
Cu	-0.67	-0.58
Bo	0.89	-0.23
Bases	0.36	0.41

En la primera componente se encontró relación visual con el mapa de rendimiento, lo que podría explicarse por la alta participación de esta componente en la variación total de los datos (43.12%), y por los niveles de nutrientes presentes en el suelo de estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio permite concluir que la variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo en el lote de mango es alta, debido posiblemente a efectos del manejo, la geomorfología del terreno y a diferentes factores formadores de suelo como la pendiente y procesos de erosión y acumulación.

En los mapas de distribución espacial se identificaron zonas con mayor variación de las propiedades químicas del suelo asociadas a pendientes fuertes y bajas producciones de los árboles de mango. En cambio en las partes del terreno con pendientes moderadas estas propiedades tienden a ser homogéneas y con valores mayores en la producción y contenidos de nutrientes. Con el análisis exploratorio de los datos, el cumplimiento de los supuestos básicos del análisis geoestadístico y el ajuste de semivariogramas experimentales a modelos teóricos fue posible generar mapas utilizando métodos de interpolación por kriging (ordinario, residual y logarítmico). Con este tipo de investigaciones se busca mejorar el sistema tradicional de aplicación de insumos, considerando la variabilidad interna de los lotes de manera que se logre mayor eficiencia en el uso de insumos.

BIBLIOGRAFIA

Avilan, L. 1983. La fertilización del mango (*Mangifera indica* L.) en Venezuela. *Fruits* 38(3):183-188.



- Burrough, P., A. 1993. Soil variability: a late 20th century view. *Soil and fertilizers* 56, 529-562.
- Cressie, N. 1991. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 900p.
- Diggle P, P.J. Ribeiro Jr, y O.F. Christensen. 2003. An introduction to model-based geostatistics. In J. Muller, editor, *Spatial Statistics and Computational Methods*, volume 173 of *Lecture Notes in Statistics*, pages 43–86.
- Galán, S. 1999. El cultivo de mango. Mundi-prensa México. Pág. 20-38.
- Giraldo, H. R. 2002. Introducción a la Geoestadística, Teoría y Aplicación. Simposio de Estadística 2002, Estadística aplicada a las ciencias ambientales. Bogotá D.C., Colombia.
- Goovaerts P. 1998. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, Nueva York.
- Martínez, L.J, Zinck, A. 1994. Modelling spatial variations of soil compaction in the Guaviare colonization area, Colombian Amazonian. *ITC J.* (3), 252–262.
- Martínez, L.J., Zinck, A. 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil Till. Res.* 75, 3–17.
- Muñoz J, D, Martínez, L.J; R.Giraldo. 2006. Variabilidad espacial de propiedades edáficas y su relación con el rendimiento en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Colombiana*, v. XXIV, 2:355-366
- Moncayo Franco H., Villegas Hincapié A. Mauricio; Betancur Jorge H., Tafur Leyder Echeverri. 2006. Variabilidad Espacial de Propiedades Químicas y Físicas en un Typic Udivitrands, arenoso de la Región Andina central Colombiana. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* Vol.59, No.1. p.3217-3235.
- Peña Daniel. 2002. *Análisis de Datos Multivariantes*, Mc Graw Hill. Madrid España.
- Perdomo Clemente Hernández. 1993. Evaluación de efecto del Boro en algunos caracteres fisiológicos del mango. Facultad de Agronomía Universidad Nacional, Bogotá.
- Wilding, L.P., y Drees, L.R. (1983) Spatial variability and pedology. In "Pedogenesis and soil taxonomy: Concepts and interactions", Vol. 1, pp. 83-113. Oxford University press, Amsterdam, Netherlands.



EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

César A. Cortés¹, Wilson D. Gamboa², Fabio R. Leiva³, Jesús H. Camacho⁴

RESUMEN

Se adelantó una investigación con el objetivo de evaluar la variabilidad espacial y temporal de la resistencia a la penetración (RP) y su correlación con las propiedades físicas densidad aparente (DA), textura (TX) y contenido de humedad (CH) del suelo, para dos periodos, en el municipio de Mosquera, Sabana de Bogotá, 4°42'N y 74°14'W. Para el muestreo se usó una cuadrícula regular georreferenciada con 32 puntos, distanciados 25 m. x 25 m. De acuerdo con los resultados existe gran variabilidad de RP especialmente en las primeras capas y comportamiento anisotrópico. La mayoría de las variables se ajustaron a modelos exponenciales y la distancia de muestreo utilizada fue siempre menor a la recomendada por los variogramas obtenidos, indicando que la distancia de muestreo se puede aumentar. RP sólo evidenció correlación con CH y DA en el segundo grupo de datos.

Palabras clave: agricultura de precisión, geoestadística, compactación

INTRODUCCIÓN

Actualmente se pretende mejorar la sostenibilidad y la competitividad de las agroempresas, en el marco de la globalización. Así, la agricultura moderna se plantea mejorar la eficiencia productiva y conservar los recursos naturales (Gho, 2004). En este contexto, los suelos revisten importancia puesto que son el soporte físico para las raíces y contienen los nutrientes, el agua y el oxígeno para las plantas. Esas relaciones suelo-planta son afectadas por la estructura del suelo, dado que de ésta depende el espacio poroso y el movimiento de los fluidos en el mismo. La estructura del suelo presenta relativamente alta variabilidad espacial debido a eventos antrópicos y naturales. Particularmente, en cultivos transitorios, la variabilidad temporal de la estructura es tal que un solo evento puede modificarla drásticamente en muy corto tiempo.

1 Ing. Agrícola, Estudiante Maestría Ingeniería – Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
cacortesb@unal.edu.co

2 Ing. Agrícola, Estudiante Maestría Ingeniería – Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá
wdegamboa@unal.edu.co

3 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co

4 Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. jhcamachot@unal.edu.co.
Cra 30 No. 45A-30





La compactación es un problema serio en la agricultura y conlleva el aumento de la densidad aparente, con reducción de la porosidad e incremento de la resistencia mecánica ([Soane and Ouwerkerk, 1994](#)). Con la compactación, se disminuye la capacidad de infiltración y el drenaje ([Hillel, 1998](#)) y se restringe la tasa de crecimiento y distribución de las raíces ([To and Kay, 2004](#)). Con estos cambios, se afecta el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Lipiec and Hatano, 2003). El fenómeno físico-mecánico de la compactación ocurre cuando las fuerzas externas aplicadas en el suelo exceden su resistencia (Lipiec et al., 2003) y depende del tipo y tiempo de carga, así como de factores del suelo y del clima. La maquinaria agrícola y los animales, según su peso, área de contacto con el suelo y velocidad de operación, son causa importante de compactación; pero, ésta también acontece por asentamiento natural del suelo ([Bowen, 1981](#)). Además, en la compactación inciden factores del suelo como contenido de humedad, densidad aparente y textura ([Brye et al., 2005](#)).

La resistencia mecánica del suelo es un indicador de su compactación y para su medición, se usan comúnmente penetrómetros y penetrógrafos (Utset and Cid, 2001). La resistencia a la penetración (RP), determinada de esta manera, es una medida indirecta de la fuerza que ejercen las raíces para penetrar y avanzar en el medio poroso del suelo. Sin embargo, existe gran variación espacial de la RP, tanto horizontal, como verticalmente, en un mismo lote, debido a su manejo y a procesos naturales. Por lo tanto, se requiere un importante número de mediciones, en diferentes puntos y profundidades, para estimarla con cierta precisión. Para el análisis de datos así generados, se recomienda la geoestadística que permite evaluar la variabilidad (Castrignano, et al., 2002), conocer su comportamiento espacial, estimar el valor de una propiedad en sitios no muestreados y proponer manejos por sitio específico de acuerdo con la variabilidad y los requerimientos del cultivo (Boruvka, 2002).

En este contexto, se propuso una investigación con el objetivo de evaluar la variabilidad espacial y temporal de la (RP) y su correlación con las propiedades físicas (DA), (CH) y (TX), en un lote dedicado a cultivos transitorios (maíz y arveja) en la Sabana de Bogotá. El estudio hace parte del proyecto de investigación “Manejo sostenible de suelos en sistemas de cultivos transitorios bajo la concepción de agricultura de precisión”, cofinanciado por Colciencias.

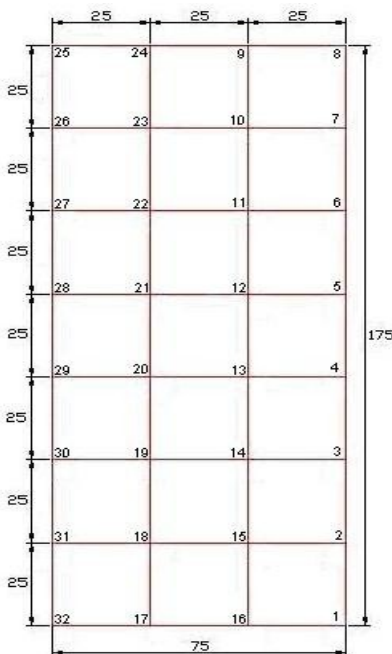
MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en el municipio de Mosquera, Sabana de Bogotá, a 2.550 msnm. El lote del ensayo de 20000 m² se localiza en 4° 42'N y 74° 14'W, que pertenece al Centro Agropecuario Marengo (CAM), de la Universidad Nacional de Colombia. El lote está dedicado a cultivos transitorios, manejados con labranza convencional. El suelo corresponde a las unidades cartográficas Fluventic Humic Dystrudepts y Fluvaquentic Dystrudepts.



El muestreo de RP, DA, CH y TX se realizó por sitio, mediante una cuadrícula regular de 25 m. X 25 m., con un total de 32 puntos (Figura 1 y Tabla 1). Para obtener los valores de RP se utilizó un penetrógrafo, marca Eijkelkamp, cono estándar de 30° y 12.83 mm de diámetro (ASAE). Las lecturas del gráfico de resistencia se tomaron cada 0.05 m. hasta una profundidad de 0.6 m. La primera recopilación de datos se realizó en abril de 2006 antes de la preparación del suelo; la segunda se realizó en el mes de enero del 2007, después de la cosecha del cultivo.

El análisis para todas las variables se realizó mediante estadística descriptiva (análisis exploratorio y correlaciones Pearson) y geoestadística. Para la primera, se utilizó el software SPSS. Cuando no existió normalidad, se realizaron transformaciones (Ln y raíz cuadrada), debido a que kriging sugiere normalidad, pero no es restrictiva para la aplicación de métodos geoestadísticos (Kerry and Oliver, 2004). Para el análisis geoestadístico de todas las variables en estudio se usó GS+ Gamma Design Software (Brye et al., 2005), considerando existencia o no de anisotropía (Goovaerts, 1999; Giraldo, 2002). Cuando se encontró ésta, el semivariograma se ajustó al mejor azimut. Por su parte, el semivariograma experimental se ajustó a modelos teóricos, teniendo en cuenta la suma residual de los cuadrados (RSS), el r^2 de ajuste y la estructura espacial, $C/(C+Co)$, Cerri et al. (2004). Posteriormente, se realizó el semivariograma, interpolación por kriging ordinario (Brye et al., 2005), se verificó el ajuste de la interpolación mediante validación cruzada (Abreu et al., 2003), generando mapas de contorno y por último, se usó cokriging, que permite estimar valores espaciales de una variable a partir de una segunda variable conocida.

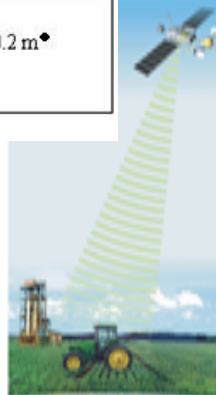


NOMBRE	MÉTODOS DE OBTENCIÓN	PROFUNDIDAD DE TRABAJO (m)
Resistencia a la penetración (RP) MPa	Penetrógrafo de campo	0 - 0.6*
Densidad aparente (DA) $g \cdot cm^{-3}$	Método del cilindro (5 cm. de diámetro por 5 cm. de altura)	0 - 0.2 m 0.2 - 0.4 m
Contenido de humedad (CH) %	Método de la estufa, secar por 24 horas a 105 °C	0 - 0.2 m* 0.2 - 0.4 m
Textura (%): Arcilla (Ar) Limo (L) Arena (A)	Método de Bouyoucos, previa dispersión con hexametáfosfato de sodio	0 - 0.2 m*

* Profundidades realizadas para el primer muestreo

Tabla 1: Métodos de obtención y profundidad de trabajo para las variables en estudio

Figura 1: Grilla del estudio, del CAM, Lote 8





ANÁLISIS Y RESULTADOS

Primer grupo de datos (antes de siembra). Los valores medios de RP son inferiores a 2 MPa, lo cual indica que no son restrictivos para el crecimiento de las raíces. (Soane et al. 1982, Castrignano, et al., 2002, Junior et al., 2006). La variabilidad de RP para las profundidades trabajadas es considerablemente alta, con valores de coeficiente de variación (CV) superiores al 30%. Además se observa que el valor de CV decrece desde 0.01m hasta 0.35m, y posteriormente es casi constante. Este comportamiento probablemente, se debe al efecto de los implementos de preparación en los primeros 0.35 m de profundidad (Freddi, 2006). Además, RP en la mayoría de las profundidades analizadas difiere significativamente de una distribución normal (Tabla 2).

Las transformaciones a las variables que no presentaron normalidad condujeron a mejorar la significancia de la prueba de Shapiro – Wilk (Tabla 2), con algunas variables, por lo cual se continuó el trabajo con esa transformación; pero otras difirieron del comportamiento normal (RP 0.01 m., RP 0.30 m. y RP 0.35m.) y se siguió trabajando con los datos originales. En contraste, TX y CH presentan variabilidad baja y tendencia a la normalidad. De otro lado, los resultados de Pearson (no presentados), indican que existe correlación inversa entre CH y RP, lo cual concuerda con la teoría y con otros autores (Brye, et al., 2005).

El análisis geoestadístico univariado (Tabla 3), RP presentó comportamiento anisotrópico en la mayoría de las profundidades; caso contrario ocurrió con CH, A, AR, y L. Así los semivariogramas experimentales se ajustaron a modelos teóricos, considerando la

	ESTADÍSTICOS							PRUEBA DE NORMALIDAD (Después de transformar)
	Media	Mediana	Des. Estándar	Varianza	Asimetría	Curtosis	Coef. Variación	Shapiro-Wilk Sig.
RP 0.01 m (Mpa)	0.65	0.60	0.58	0.33	0.71	0.01	88.25	0.019
RP 0.05 m (Mpa)	1.05	0.90	0.67	0.45	0.77	0.08	64.18	0.061
RP 0.1 m (Mpa)	1.53	1.40	0.71	0.50	0.48	-0.20	46.28	0.475
RP 0.15 m (Mpa)	1.73	1.60	0.76	0.58	1.00	1.97	44.00	0.107
RP 0.20 m (Mpa)	1.78	1.70	0.72	0.52	0.99	1.72	40.57	0.105
RP 0.25 m (Mpa)	1.73	1.60	0.57	0.32	1.12	0.82	32.71	0.007 (0.481)
RP 0.30 m (Mpa)	1.74	1.50	0.54	0.29	1.25	0.78	31.02	0.001
RP 0.35 m (Mpa)	1.74	1.50	0.55	0.30	1.15	0.26	31.68	0.000
RP 0.40 m (Mpa)	1.78	1.60	0.67	0.45	1.06	0.76	37.89	0.008 (0.413)
RP 0.45 m (Mpa)	1.78	1.60	0.72	0.52	0.96	0.41	40.58	0.014 (0.601)
RP 0.50 m (Mpa)	1.76	1.55	0.76	0.59	1.10	0.83	43.40	0.008 (0.850)
RP 0.55 m (Mpa)	1.71	1.60	0.75	0.57	1.25	1.79	44.09	0.005 (0.703)
RP 0.60 m (Mpa)	1.68	1.50	0.76	0.58	1.38	1.86	45.58	0.000 (0.084)
CH 0-0.2 m (%)	36.04	35.94	4.30	18.48	0.46	0.65	11.93	0.555
AR 0-0.2 m (%)	40.02	39.70	4.04	16.31	-0.20	0.24	10.09	0.914
L 0-0.2 m (%)	28.76	28.70	3.15	9.92	-0.09	-0.26	10.95	0.842
A 0-0.2 m (%)	31.22	31.50	3.63	13.19	0.27	0.50	11.64	0.772

Tabla 2: Estadísticos y pruebas de normalidad para lote 8, CAM, 12 de abril 2006



anisotropía o isotropía de las respectivas variables (Tabla 3), encontrándose buen ajuste de los modelos para la mayoría de las variables, ya que C_0 (pepita) es menor al 50% de C (meseta), según el criterio de Giraldo (2002). Considerando lo propuesto por Kerry and Oliver (2004) de trabajar con intervalos de muestreo iguales a la mitad del rango de dependencia espacial, se infiere que la distancia máxima de muestreo de AR, L y A para profundidades de 0 – 0.2 m es de 66 m.; para RP de 0 m. - 0.6 m. de 99 m, mientras que para CH 0 – 0.20 m. de 49 m.

Tabla 3 Geoestadística univariada para lote 8, CAM, 12 de abril 2006

	MODELO	Co	Co + C	A	A_max	A_min	RSS	ρ^2	C/(Co+C)	Tipo	Azimut
RP-0,01m(Mpa)	Exponencial	0.1450	1.2810	1066.8000			0.43199	0.816	0.887	Isotrópico	170
RP-0,05m(Mpa)	Exponencial	0.2730	1.1832	887.1000			0.75161	0.606	0.769	Isotrópico	135
RP-0,1m(Mpa)	Lineal	0.2730	0.8589	887.1000			1.74000	0.554	0.682	Isotrópico	135
RP-0,15m(Mpa)	Lineal	0.4350	1.7247		1260.0000	198.0000	1.19040	0.671	0.748	Anisotrópico	92
RP-0,20m(Mpa)	Exponencial	0.4020	1.6780		2778.6000	1028.1000	1.33270	0.710	0.760	Anisotrópico	97
LN-RP-0,25m(Mpa)	Exponencial	0.0850	0.3269		9727.0000	2676.0000	0.05066	0.520	0.740	Anisotrópico	96
RP-0,30m(Mpa)	Lineal	0.2230	0.9790		1317.0000	289.0000	0.56070	0.760	0.772	Anisotrópico	97
RP-0,35 m(Mpa)	Exponencial	0.2070	1.1780		2042.7000	2042.7000	0.97754	0.789	0.824	Anisotrópico	97
LN-RP-0,40m(Mpa)	Exponencial	0.1140	0.3747		7656.0000	1326.0000	0.04562	0.473	0.696	Anisotrópico	97
LN-RP-0,45m(Mpa)	Exponencial	0.1380	0.4097		7767.0000	1437.0000	0.04337	0.364	0.663	Anisotrópico	98
LN-RP-0,50m(Mpa)	Exponencial	0.1510	0.4385		4884.0000	1628.0000	0.07613	0.552	0.656	Anisotrópico	97
LN-RP-0,55m(Mpa)	Lineal	0.1610	0.4825		2256.0000	402.0000	0.11763	0.701	0.666	Anisotrópico	96
LN-RP-0,60m(Mpa)	Lineal	0.1620	0.4766		2327.0000	214.0000	0.05450	0.530	0.666	Anisotrópico	95
CH-0-0.2m(%)	Esferico	5.4400	21.7200	99.1000			32.60000	0.686	0.750	Isotrópico	
AR-0-0.2m(%)	Esferico	6.7700	20.2600	132.0000			20.30000	0.766	0.666	Isotrópico	
L-0-0.2m(%)	Exponencial	7.7400	18.9300	1232.7000			2.58000	0.671	0.591	Isotrópico	
A-0-0.2m(%)	Lineal	12.7884	13.5004	155.0175			29.30000	0.008	0.053	Isotrópico	

Co = pepita; Co +C = meseta; A, A_max y A_min = Rango, Rango máximo y Rango mínimo

Segundo grupo de datos (después de cosecha). La mayoría de valores de RP presentaron una distribución normal, excepto a las profundidades 0.01 m. y desde 0.15 m. a 0.25 m. Siguiendo la tendencia del análisis del primera grupo de datos, los CV disminuyeron con la profundidad (hasta 0.35 m.). Por otro lado, las variables TX y CH de 0 a 0.20 m presentaron distribución normal. Las transformaciones Ln para las variables que no ajustaron a normalidad, mejoraron la significancia de RP a profundidades de 0.20 m. y 0.25 m. (Tabla 4). El valor medio de RP para este periodo fue superior a 2 MPa, a partir de 0.05 m. de profundidad (Tabla 4), valor restrictivo para el crecimiento de las raíces (Soane et al., 1982, Castrignano, et al., 2002, Junior et al., 2006); esto indica que en el tiempo transcurrido entre el primer y el segundo periodo evaluado hubo un aumento considerable de RP, por tráfico de maquinaria y asentamiento natural. Además, los comportamientos de DA y RP fueron similares, según correlación Pearson, lo cual está acorde con la teoría (Brye, et al., 2005). Además, se confirma la tendencia del periodo anterior, en el que a menor CH mayor RP.



Tabla 4 Estadísticos y pruebas de normalidad para lote 8, CAM, 23 enero 2007

PROPIEDAD	ESTADÍSTICOS							PRUEBA NORMALIDAD
	Media	Mediana	Des. Estándar.	Varianza	Asimetría	Coef. variación	Curtosis	Shapiro-Wilk Sig. (después de transformar)
RP 0.01 m (Mpa)	0,69	0,05	0,98	0,97	1,84	143,13	4,17	0,000
RP 0.05 m (Mpa)	2,14	2,00	0,97	0,93	0,48	45,18	-0,32	0,330
RP 0.1 m (Mpa)	2,72	2,70	1,05	1,11	0,12	38,64	-1,12	0,210
RP 0.15 m (Mpa)	2,96	2,70	1,09	1,20	0,08	36,97	-1,44	0,026
RP 0.20 m (Mpa)	2,96	2,80	1,00	0,99	0,25	33,67	-1,25	0,039 (0.109)
RP 0.25 m (Mpa)	2,90	2,75	1,03	1,06	0,21	35,50	-1,22	0,030 (0.059)
RP 0.30 m (Mpa)	2,77	2,55	0,95	0,91	0,17	34,49	-1,07	0,060
RP 0.35 m (Mpa)	2,66	2,50	0,82	0,68	0,24	30,98	-0,47	0,325
RP 0.40 m (Mpa)	2,72	2,65	0,75	0,57	0,15	27,66	-0,23	0,789
RP 0.45 m (Mpa)	2,70	2,75	0,71	0,51	0,36	26,34	-0,21	0,555
RP 0.50 m (Mpa)	2,75	2,75	0,73	0,53	0,27	26,46	-0,66	0,382
RP 0.55 m (Mpa)	2,77	2,65	0,70	0,49	0,52	25,28	-0,16	0,319
RP 0.60 m (Mpa)	2,70	2,60	0,69	0,48	0,43	25,72	-0,16	0,391
CH 0-0.2 m (%)	36,43	36,78	6,28	39,39	0,48	17,23	-0,55	0,217
CH 0.2-0.4 m (%)	41,49	40,08	12,39	153,50	2,73	29,86	8,71	0,000
DA 0-0.2 g*cm-3	1,08	1,09	0,09	0,01	-0,21	8,15	-0,81	0,463
DA 0.2-0.4 g*cm-3	1,13	1,17	0,09	0,01	-1,02	8,37	1,25	0,035
AR 0-0.2 m (%)	40,02	39,70	4,04	16,31	-0,20	10,09	0,24	0,914
L 0-0.2 m (%)	28,76	28,70	3,15	9,92	-0,09	10,95	-0,26	0,842
A 0-0.2 m (%)	31,22	31,50	3,63	13,19	0,27	11,64	0,50	0,772

En el análisis geoestadístico univariado (Tabla 5), RP presentó comportamiento anisotrópico en la mayoría de las profundidades; en contraste, CH, A, AR, y L fueron isotropitos. Se encontró buen ajuste de los modelos para la mayoría de las variables, ya que C_0 (pepita) es menor al 50% de C (meseta), siguiendo la tendencia del primer grupo de datos. De otro lado, siguiendo a Kerry and Oliver (2004), las distancias de muestreo máximas son: RP, 86 m.; CH, 123 m.; DA 205 m. (profundidad de 0.2 m a 0.4 m.). En el caso de DA (profundidad 0.1 m. a 0.2 m.) se encontró efecto pepita puro (EPP), por lo cual se recomiendan evaluaciones adicionales.

En el análisis de geoestadística multivariada (Tabla 6), en contraste con el primer grupo de datos, RP y CH presentaron correlación significativa y en su mayoría modelos exponenciales con anisotropía para el ajuste de cokriging. Esto indica que es posible una adecuada estimación de una de estas variables, a partir de la otra.



Tabla 5 Geoestadística univariada para lote 8, CAM, 23 enero 2007

	MODELO	Co	Co + C	A	A_max	A_min	RSS	r ²	C/(Co+C)	Tipo	Azimet
RP0,01m(Mpa)	Exponencial	0.7880	3.2630		8484.0000	2163.0000	4.55710	0.451	0.759	Anisotrópico	170
RP0,05m(Mpa)	Exponencial	0.7470	1495.0000	1232.7000			0.03540	0.318	0.500	Isotrópico	
RP0,1m(Mpa)	Exponencial	0.7860	2.5180	1217.7000			0.07070	0.646	0.688	Isotrópico	
RP0,15m(Mpa)	Exponencial	0.5130	3.5321		907.8000	533.1000	4.29450	0.763	0.855	Anisotrópico	96
LNRPO,20	Exponencial	0.0590	0.3642		991.2000	609.6000	0.03980	0.767	0.838	Anisotrópico	96
LNRPO,25	Exponencial	0.0590	0.3642		991.2000	609.6000	0.03980	0.767	0.838	Anisotrópico	96
RP0,20m(Mpa)	Exponencial	0.5280	3.1007		547.7000	432.8000	3.72000	0.709	0.836	Anisotrópico	96
RP0,25m(Mpa)	Exponencial	0.3600	3.0774		832.5000	603.6000	5.22000	0.842	0.883	Anisotrópico	97
RP0,30m(Mpa)	Exponencial	0.4230	2.4640		10128.0000	490.5000	2.40000	0.766	0.828	Anisotrópico	95
RP0,35m(Mpa)	Exponencial	0.3500	1.8981		1079.7000	648.3000	1.30000	0.706	0.816	Anisotrópico	96
RP0,40m(Mpa)	Lineal	0.3560	1.6411		509.7000	260.7000	0.83200	0.530	0.783	Anisotrópico	90
RP0,45m(Mpa)	Lineal	0.4000	1.7203		882.5000	493.2000	0.82400	0.462	0.767	Anisotrópico	96
RP0,50m(Mpa)	Lineal	0.3630	1.6923		614.9000	341.2000	0.65500	0.543	0.785	Anisotrópico	96
RP0,55m(Mpa)	Lineal	0.1620	1.6523		395.4000	173.8000	0.97000	0.593	0.902	Anisotrópico	90
RP0,60m(Mpa)	Lineal	0.2720	1.5270		513.5000	224.1000	0.66500	0.464	0.822	Anisotrópico	90
CH0-0,2m(%)	Esferico	7.8000	76.5800	247.4000			24.50000	0.982	0.898	Isotrópico	
CH0,2-0,4m(%)	Esferico	26.0000	462.9000	383.9000			9672.00000	0.760	0.944	Isotrópico	
DAD-0,2g*cm-3	Pepita Puro	0.0077	0.0077	155.0175			0.00002	0.015	0.000	Isotrópico	
DAD,2-0,4g*cm-3	Esferico	0.0053	0.0188	410.9000			0.00002	0.590	0.717	Isotrópico	
ARD-0,2m(%)	Esferico	6.7700	20.2600	132.0000			20.30000	0.766	0.666	Isotrópico	
LD-0,2m(%)	Exponencial	7.7400	18.9300	1232.7000			2.58000	0.671	0.591	Isotrópico	
AD-0,2m(%)	Lineal	12.7884	13.5004	155.0175			29.30000	0.008	0.053	Isotrópico	

Co = pepita; Co +C = meseta; A, A_max y A_min = Rango, Rango máximo y Rango mínimo

Tabla 6 Geoestadística multivariada para lote 8, CAM, 23 enero 2007

	MODELO	Co	Co + C	A	A_Máx	A_Mín	RSS	r ²	C/(Co+C)	Tipo	Azimet
RP 0.10 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Esférico	-2.62	-10.249	350.1			0.359	0.966	0.744	Isotrópico	
RP 0.15 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Exponencial	-1.36	-36.23		1894.2	1266.9	246.74	0.788	0.962	Anisotrópico	96°
RP 0.20 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Exponencial	-0.249	-7.31529		1050.9	765.0	21.303	0.807	0.966	Anisotrópico	96°
RP 0.25 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Exponencial	-0.045	-8.03416		970.5	722.4	33.490	0.819	0.994	Anisotrópico	96°
RP 0.30 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Exponencial	-1.55	-33.86521		2383.5	1756.8	218.91	0.764	0.954	Anisotrópico	95°
RP 0.35 m (Mpa) - CH 0-0.2 m (%)	Exponencial	-1.29	-33.668		2718.6	1965.9	159.2	0.789	0.961	Anisotrópico	96°

Co = pepita; Co +C = meseta; A, A_max y A_min = Rango, Rango máximo y Rango mínimo

CONCLUSIONES

La metodología empleada, basada en herramientas estadísticas y geoestadísticas, es adecuada para estudios de variabilidad espacial como el presente, proporcionando información para la toma de decisiones en torno al manejo físico-mecánico del suelo por sitio específico.

A partir de prueba Pearson, se sugiere evaluar únicamente los valores de RP a profundidades de 0.10 m., 0.30 m. y 0.60 m, en suelos de características similares.

El presente estudio corrobora que RP es proporcional directamente a DA e inversamente a CH, lo cual concuerda con la teoría.



Los mejores ajustes de semivariogramas fueron para valores de azimut entre 90° y 97° y ajuste a modelos exponenciales, particularmente para RP. Así mismo los valores de estructura espacial, r^2 y RSS, indican buenos ajustes y adecuadas descripciones de la dependencia espacial en la mayoría de variables.

Agradecimientos: Se agradece a COLCIENCIAS y a la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del presente proyecto de investigación.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, S.; REICHERT, J.; da SILVA, V.; REINERT, D. e BLUME E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e a qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. En: Ciência Rural, Santa Maria, v.33, n.2, mar-abr, 2003; p.275-282

BORUVKA, L.; DONÁTOVÁ, H. and NEMECEK, K. Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a casa study. En: ROSTLINNÁ VÝROBA, 48, 2002 (10): 425-432; p. 1.

BOWEN, H. Alleviating mechanical impedance. Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 1981; p 25.

BRYE, K.; SLATON, N. and NORMAN, R. Penetration resistance as affected by shallow-cut land leveling and cropping. En: Soil & Tillage Research 81 (2005) 1–13; p 2.

CASTRIGNANO, A.; MAIORANA, M.; FORNARO, F. and LOPEZ, N. 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy, En: Soil & Tillage Research 65 (2002) 95 – 108; p 2.

CERRI, C., BERNOUXB, M, CHAPLOTB, V., VOLKOFFB, B., VICTORIAA, R.L., MELILLOC, J.M., PAUSTIAND, K. , CERRI, C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. En: Geoderma 123 (2004) 51–68.

FREDDI, O.; CARVALHO, M.; VERONENSE, V.; GUILHERME, J. e CARVALHO, J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. En: BNG. Agric., Jabotí cabal, v.26, n.1, p.113-121, Gan./abr. 2006; p 7

GHO, C. Variabilidad espacial de las propiedades químicas del suelo y su relación con los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*). Santiago de Chile, 2004, 3 p. Pontificia universidad católica de chile facultad de agronomía e ingeniería forestal departamento de ciencias vegetales. Chile

GIRALDO, R. Introducción a la geoestadística. Teoría y aplicación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, facultad de ciencias, departamento de estadística. 2002; p. 8.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. En: Geoderma 89 1999 1–45; p 1.

HILLEL, D. Introduction to soil physics: chapter 10, Soil Compaction and consolidation. edición, San Diego, California, 1998.

JUNIOR, V.; CARVALHO, M.; DAFONTE, J.; FREDDI, O.; VÁSQUEZ, V. and INGARAMO, O. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferrasol. En: Soil & Tillage Research 85 (2006) 166–177; p 2.



KERRY, R and OLIVER, M. Average variograms to guide soil sampling. En: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 5 (2004) 307–325; p1.

LIPIEC, J. and HATANO, H. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. En: Geoderma 116 (2003) 107– 136; p 2.

-----; ARVIDSSON, J. and MURER, E. Review of modelling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. En: Soil & Tillage Research 73 (2003) 15–29; p 2.

SOANE, B.; BLACKWELL, P.; DICKSON, J. and PAINTER, D. Compaction by agricultural vehicles. en: a review 1. Soil and wheel characteristics. Soil & Tillage Research, 1 (1980/1981) 207 – 237, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam – Printed in Belgium; p 215, 208

-----; DICKSON, J. and CAMBELL, D. Compaction by agricultural vehicles. en: a review 3. Incidence and control of compaction in crop production. Soil & Tillage Research, 2 (1982) 3 – 36, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam – Printed in Belgium; p 16.

-----, and OUWERKERK, C. Chapter 1: Soil compaction problems in world agriculture. En: Elsevier Science B.V. 1994; p 2,

TO, J. and KAY, B. Variation in penetrometer resistance with soil properties: the contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. En: Geoderma 126 (2005) 261–276; p 262.

UTSET, A. and CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferrasol at several soil moisture conditions. En: Soil & Tillage Research 61 (2001) 193–202, Received 15 March 1999; p 1.



MANEJO DE LA FERTILIDAD POR SITIO ESPECÍFICO EN UN CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays*) EN LA SABANA DE BOGOTA

Javier Rodríguez¹, Aura González, Fabio R Leiva², Laureano Guerrero³

Resumen

Se presentan avances de una investigación cuyo objetivo fue evaluar el manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de maíz, como aporte a la producción sostenible y competitiva en Colombia. El ensayo se llevó a cabo en el Centro Agropecuario Marengo (CAM), Mosquera (4°42' latitud norte y 74°14' longitud oeste), a 2.543 m.s.n.m., en un lote de 2 hás, en un suelo correspondiente a las unidades cartográficas Fluventic Humic Dystrudepts y Fluvaquentic Dystrudepts. Previo al presente estudio, se establecieron dos zonas de manejo de la fertilidad, a partir de análisis completos de suelos y de rendimientos de maíz, usando geoestadística. En cada zona se aplicaron dos tratamientos, uno a partir de la variabilidad específica y otro con fertilización comercial (testigo), con manejo agronómico posterior homogéneo para todo el cultivo. Antes de la siembra, se instaló una cuadrícula regular de 32 puntos de muestreo, distanciados 25 m X 25 m, para hacer seguimiento a variables de suelo, de desarrollo y rendimiento del cultivo. Se encontró mejor respuesta del cultivo en áreas de manejo específico. En el artículo se recomiendan distancias de muestreo para esos suelos.

Palabras clave: agricultura de precisión, fertilización, variabilidad, geoestadística, suelos

Introducción: Debido a factores geológicos y pedogenéticos (Burrough, 1993) y a la acción antrópica (Castrignanò et al., 2000), las propiedades del suelo pueden ser considerablemente heterogéneas. El conocimiento de esa variabilidad permite el manejo por sitio-específico del suelo (Leiva, 2003), que se constituye en una alternativa para incrementar la productividad y reducir la degradación ambiental (Bouma et al, 1999). En el caso de la fertilización se aplican de manera diferenciada los fertilizantes de acuerdo al nivel de nutrientes de cada zona homogénea dentro del lote, resultando tantas dosis como áreas significativamente homogéneas existan en éste (Ortega et al., 1997). En este concepción, se usa la geoestadística para cuantificar la variabilidad, estimar valores de una variable en sitios no muestreados, determinar correlaciones espaciales y hacer mapas de atributos; así mismo, para estimar distancias de muestreo e identificar zonas homogéneas de manejo específico en campo (Goovaerts, 1999).

1 Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Cra 30 No. 45A-03. jrodriguez@unal.edu.co, amgonzalez@unal.edu.co

2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. frleivab@unal.edu.co

3 Profesor Asistente, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. lguerreroj@unal.edu.co





A pesar de sus ventajas, en el país se han reportado pocos estudios usando esta concepción en cultivos transitorios. Así, se planteó una investigación con el objetivo de evaluar la aplicación del manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de maíz (*Zea mays*), como aporte a la producción sostenible y competitiva en Colombia. Se seleccionó maíz por ser un producto base de la alimentación y un renglón importante de la economía nacional, con un área sembrada de 614.510 hectáreas y una producción de 1.398.723 toneladas (Espinal, Martínez & Acevedo, 2005.). El estudio hace parte del proyecto de investigación “Manejo sostenible de suelos en sistemas de cultivos transitorios bajo la concepción de agricultura de precisión”, cofinanciado por Colciencias.

Materiales y métodos.

El ensayo se realizó en el semestre B de 2006, en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia, Mosquera, Cundinamarca, 4°42' latitud norte y 74°14' longitud oeste, a 2.543 m.s.n.m., en un lote de 2 há, con un suelo de las unidades cartográficas Fluventic Humic Dystrudepts y Fluvaquentic Dystrudepts. Previo a la siembra del cultivo de maíz se realizó un muestreo de suelo para análisis completo en cada sitio, usando una cuadrícula regular georreferenciada con 32 puntos de muestreo, distanciados 25 m. x 25 m. A éstos datos y a los de rendimientos de maíz, obtenidos en ensayos precedentes en el mismo lote, se les aplicó geoestadística, incluyendo análisis de componentes principales (Boruvka et al, 2007), lo cual condujo a establecer dos zonas de manejo de la fertilidad: zona 1, formada por las subzonas AP1 - CAM1, y zona 2, por las subzonas AP2 - CAM2 (Figura 1). En cada zona se aplicaron dos tratamientos de fertilización, uno a partir de la variabilidad específica del suelo (AP) y el otro con la fertilización que se usa comúnmente para maíz en ese lote (testigo CAM) (Tabla 1).

Para la fertilización, la urea se fraccionó, usando el 50% a los 23 días después de la siembra (dds) y el resto a los 53 dds. Los otros fertilizantes se aplicaron en una dosis con la primera aplicación de urea. El manejo agronómico posterior fue homogéneo para todo el cultivo. La semilla utilizada fue ICA V-508 tipo sogamoseño y la siembra fue mecanizada, con distancias entre plantas de 0.25 m y entre surcos de 0.83 m. Durante el ensayo se mantuvo como referente, la cuadrícula regular de 32 puntos, para hacer seguimiento de las características físicas del suelo y de las variables de desarrollo y rendimiento del cultivo. El semestre fue atípicamente lluvioso y el exceso de humedad afectó el cultivo en las partes bajas del lote.

Para el suelo, con base en la cuadrícula, se evaluaron las variables físicas, contenido de humedad gravimétrica (CH) para 2 rangos de profundidad (0-0.20 m y 0.20-0.40 m) y densidad aparente (DA) para esos mismos rangos a los 110 dds. Los métodos de laboratorio utilizados fueron: Bouyoucos para arcilla (Ar), limo (L) y arena (A) y determinación de la textura con el triángulo de clasificación del USDA; CH por el método de la estufa; y, DA mediante cápsula con volumen conocido.



Para el cultivo se evaluaron, alrededor de cada punto de la cuadrícula, las variables que se mencionan a continuación. Altura de plantas (ALP), en 3 estados de desarrollo, a los 55, 90 y 140 dds, midiendo desde el suelo hasta la hoja superior. Índice foliar (IF), a los 140 dds, mediante el método de Montgomery (1911), con tres replicaciones por sitio. Análisis foliar a los 150 dds, determinando: N total por el método micro-Kjeldahl y valoración volumétrica; P por calcinación y valoración colorimétrica; Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn mediante calcinación y valoración por espectrofotometría de absorción atómica; y, B mediante calcinación y valoración colorimétrica. Variables de rendimiento incluyendo número de mazorcas cosechadas (MC), número de granos por hilera (GHM) y peso con amero (PA), a los 160 dds. Las tres primeras se determinaron por conteo directo; para los pesos se empleó una balanza de precisión.

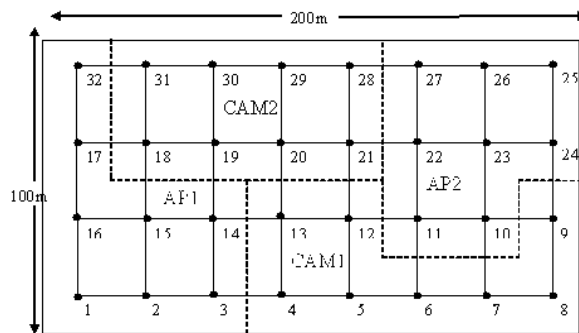


Figura 1: Distribución de zonas de manejo de la fertilidad en lote de maíz en el Centro Agropecuario Marengo (CAM).

Tabla 1. Dosis de fertilizantes aplicados por zona y subzonas en lote de maíz en el Centro Agropecuario Marengo (CAM)

Insumo	Zonas para manejo específico por sitio		Zonas de manejo convencional
	Sub-zona 1 (AP1)	Sub-zona 2 (AP2)	Sub-zona 1 y Sub-zona 2 (CAM1 y CAM2)
Urea (Kg/Ha)	239.9	217.9	130.0
Super Fosfato Triple (SPT) (Kg/Ha)	132.6	132.6	109.0
Sulfato de Potasio (Kg/Ha)	56.0	112.0	170.0
Agrimins (Kg/Ha)	46.0	46.0	46.0

Para el análisis estadístico descriptivo se usó SPSS. Luego se realizó el análisis estructural con GS+ y ajustando el semivariograma experimental al modelo teórico con mejor R^2 y mayor estructura espacial $C/(Co+C)$ (donde C es la meseta y Co la pepita) (Cerri et al., 2004). Posteriormente, se utilizó validación cruzada para evaluar el grado de bondad del modelo teórico de semivariograma seleccionado. Con las variables que presentaron consistencia en la distribución espacial, se aplicó kriging para generar mapas de contorno, empleando ARCGIS.



Resultados y discusión

Los resultados para las variables de suelo muestran que CH a las dos profundidades evaluadas presentó mayor variación que DA, con coeficientes de variación (CV) superiores al 15%, particularmente a la segunda profundidad (Tabla 2), indicando que a mayor humedad, mayor fue el CV. Con respecto a las variables de desarrollo del cultivo y de rendimiento se encontró alta variación para ALPI, ALPII, IF, MC, GHM y PA., reflejando el efecto diferencial del exceso de humedad sobre el desarrollo del mismo. Frente a los resultados del análisis foliar, las mayores variaciones ocurrieron con N, P, Cu, Fe, Mn, Zn y B. La baja variación del número de granos por hilera de mazorca indica que es una característica genética de la variedad (FAO, 1993).

Según Shapiro-Wilk, las variables ALP1, ALP2, CH2, DA2, Mg, Fe, MC y GHM no presentaron distribución normal. Con la transformación Ln y raíz cuadrada, sólo se pudieron ajustar ALP1, Mg y Fe, por lo cual se continuó trabajando con los datos transformados de estas variables. Con aquellas que no se ajustaron, se continuó usando los datos originales.

Tabla 2. Análisis estadístico descriptivo de variables de suelo, desarrollo y rendimiento del cultivo

Variable	Media	Mediana	Asimetría	Curtosis	Mínimo	Máximo	Varianza	Coef Var (CV) (%)
Variables de suelo								
Contenido de humedad 1 (CH1)	36.430	36.78	0.485	-0.551	26.71	50.31	39.389	17.22
Contenido de humedad 2 (CH2)	41.490	40.07	2.732	8.714	30.83	90.61	153.509	29.90
Densidad aparente 1 (DA1)	1.080	1.09	-0.214	-0.811	0.89	1.22	0.008	8.09
Densidad aparente 2 (DA2)	1.130	1.17	-1.017	1.249	0.86	1.30	0.009	8.31
Altura planta-I (ALPI)	32.552	31.00	1.509	4.726	23.00	57.70	46.506	20.95
Altura planta-II (ALPII)	64.480	65.33	0.139	-1.319	42.30	93.30	253.362	24.68
Altura planta-III (ALPIII)	180.18	180.33	0.356	0.059	137.00	235.00	501.061	12.42
Índice foliar (IF) (cm ²)	1625.13	1485.43	0.546	-0.420	839.00	2786.60	251422.980	30.85
Elementos Análisis foliar								
Nitrógeno (N)	2.800	2.89	-0.425	-0.945	1.53	3.78	0.367	21.42
Fósforo (P)	0.282	0.28	0.416	-0.542	0.19	0.43	0.004	21.42
Calcio (Ca)	0.386	0.39	-0.356	-0.307	0.28	0.48	0.002	12.60
Potasio (K)	2.100	2.11	-0.412	-0.383	1.54	2.49	0.059	11.57
Magnesio (Mg)	0.128	0.12	0.646	-0.638	0.09	0.18	0.001	17.96
Cobre (Cu)	6.350	6.25	0.170	-0.450	3.70	10.00	2.655	25.51
Hierro (Fe)	173.9	160.00	1.014	0.740	114.00	302.00	2087.05	26.26
Manganeso (Mn)	49.960	48.00	0.359	-0.861	26.00	79.00	209.960	29.00
Zinc (Zn)	38.550	36.15	0.918	0.681	22.90	66.50	97.291	25.57
Boro (B)	12.030	11.95	0.445	-0.260	6.90	18.20	8.310	23.94
Variables de desarrollo y rendimiento del cultivo								
#plantas/m ² (PLA)	3.790	3.80	-0.274	-0.726	0.70	6.20	1.917	36.52
#mazorcas cosechadas/m ² (MC)	1.500	1.10	1.086	0.935	0.00	5.10	1.966	93.47
# de granos por hilera de mazorca (GHM)	5.860	6.30	-0.678	-0.600	3.80	7.30	0.966	16.75
Peso con amero (PA) (g)	85.720	85.60	0.089	-1.068	51.50	115.10	339.534	21.49



SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO



1, 2: a profundidad de 0 a 0.20 m y de 0.20 a 0.40 m, respectivamente

Las pruebas de Pearson mostraron correlación positiva del IF con ALPIII, corroborando que en esta etapa la planta ha alcanzado su máximo tamaño (Tabla 3). De otro lado, CH1 correlacionó negativamente con IF evidenciando el efecto negativo del exceso de humedad sobre el desarrollo del cultivo. Por su parte, las tres ALP correlacionaron positivamente con PLA, indicando que el mejor desarrollo vegetativo condujo a mayores rendimientos. El rol importante de los nutrientes N y P se deduce de la correlación positiva de éstos con las ALP y con PLA y del primero con PA.

Tabla 3. Pruebas de correlación Pearson para ciertas variables (coeficientes de correlación > 0.45)

Variable	Ln (ALPI)	ALPII	ALPIII	CH1	CH2	DA2	IF	N	P	K	MC	GHM	PA
Ln (ALPI)	1							0.515	0.609		0.401		
ALPII		1						0.661	0.688		0.482		
ALPIII			1				0.454	0.512	0.605		0.409		
CH1				1			-0.389						
CH2					1								
DA2					-0.784	1							
IF(cm ²)			0.454	-0.389			1						
N	0.515	0.661	0.512					1			0.363		0.482
P	0.609	0.688	0.605						1		0.416		
K										1		-0.462	
MC	0.401	0.482	0.409					0.363	0.416		1		
GHM										-0.462		1	
PA (g)							0.482						1

Con relación al análisis estructural, se pudieron ajustar semivariogramas a la mayoría de variables, excepto para Ca y Mg que no presentaron dependencia espacial (Tabla 4). Según Kerry & Oliver (2007) las distancias de muestreo deben ser equivalentes a la mitad del rango de dependencia espacial. Según este criterio y exceptuando DA1, GHM y PA, las demás variables se pueden muestrear a distancias mayores a la empleada en el ensayo (25 m).

Tabla 4. Análisis geoestadístico de variables de suelo, desarrollo y rendimiento del cultivo





Variable	Modelo	Co	Co+C	Rango efectivo	Ra ²	Rb ²	C/(C+Co)
CH1	Esférico	6.700	73.400	227.2	0.944	0.326	0.909
CH2	Exponencial	62.500	324.900	600.0	0.709	0.041	0.808
DA1	Esférico	0.00007	0.0076	34.2	0.099	0.032	0.991
DA2	Exponencial	0.002	0.009	49.5	0.164	0.049	0.817
Ln(ALPI)	Esférico	0.009	0.0434	83.3	0.495	0.148	0.793
ALPII	Esférico	16.000	393.000	168.0	0.960	0.488	0.959
ALPIII	Gaussiano	274.000	593.000	176.0	0.767	0.201	0.538
IF	Exponencial	58200.000	278300.000	91.8	0.665	0.164	0.791
N	Esférico	0.088	0.401	72.8	0.972	0.401	0.780
P	Esférico	0.001	0.005	161.7	0.998	0.383	0.802
Ca	EPP	0.002	0.002	-----	0.000	-----	0.000
K	Exponencial	0.018	0.064	100.8	0.987	0.069	0.719
Ln(Mg)	EPP	0.033	0.033	-----	0.710	-----	0.000
Cu	Esférico	0.562	2.721	46.4	0.757	0.118	0.747
Ln(Fe)	Exponencial	0.011	0.068	64.2	0.247	0.092	0.844
Mn	Esférico	92.000	2042.000	242.9	0.878	0.282	0.688
Zn	Exponencial	61.000	169.0000	693.0	0.418	0.107	0.639
B	Exponencial	0.010	14.580	143.7	0.900	0.447	0.999
PLA	Esférico	0.432	2.396	77.6	1.000	0.290	0.820
MC	Exponencial	1.072	3.079	301.8	0.949	0.050	0.652
GHM	Esférico	0.037	1.236	33.7	0.059	0.089	0.970
PA	Esférico	38.000	374.400	34.6	0.162	0.163	0.900

EPP = Efecto Pepita Puro; Ra²=R² de variograma; Rb²=R² de validación cruzada

El mapa de MC muestra que la subzona AP1 presentó los mayores rendimientos, seguida por la zona CAM2 (Figura 2). Las otras subzonas presentaron bajos rendimientos, probablemente debido al exceso de humedad. Este resultado confirma las ventajas del manejo por sitio específico de la fertilización, siempre y cuando se controlen otros factores que afectan el desarrollo del cultivo. El efecto del N se evidencia al comparar las Figuras .3a, 3b y 2a.

Figura 2. Comparación mapas MC y CH1 en lote de maíz en el Centro Agropecuario Marengo (CAM)

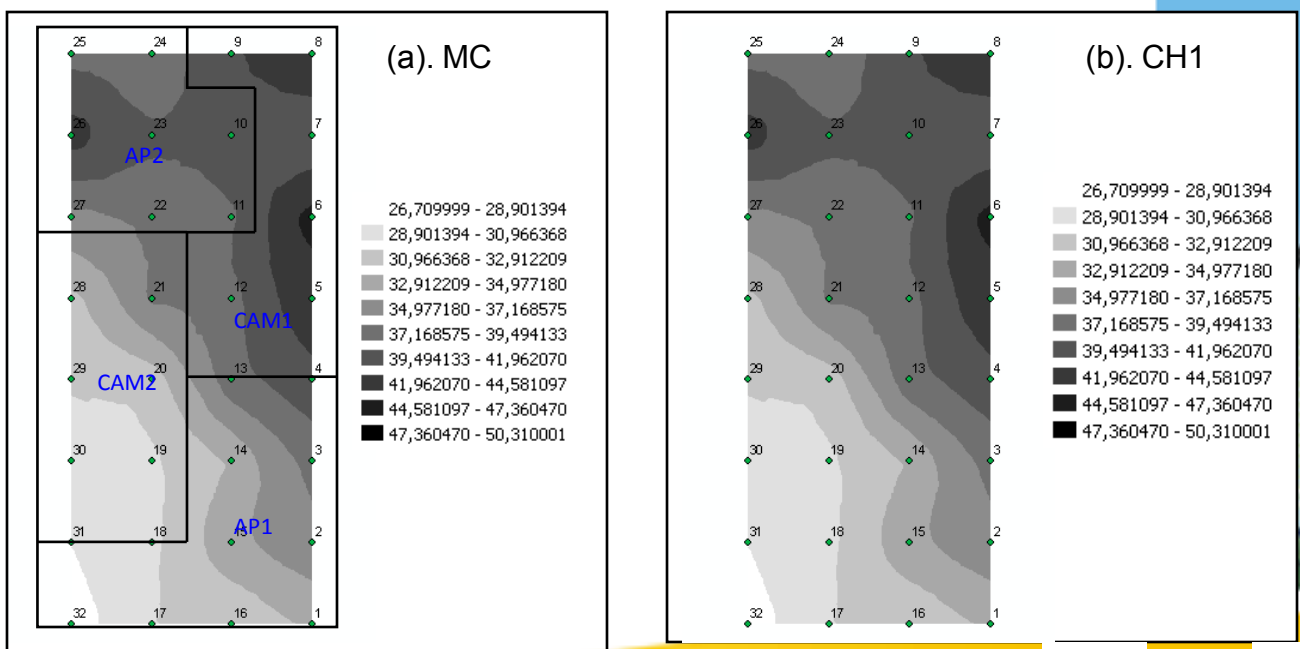




Figura 3. Mapas de ALPIII y N en lote de maíz en el Centro Agropecuario Marengo (CAM)

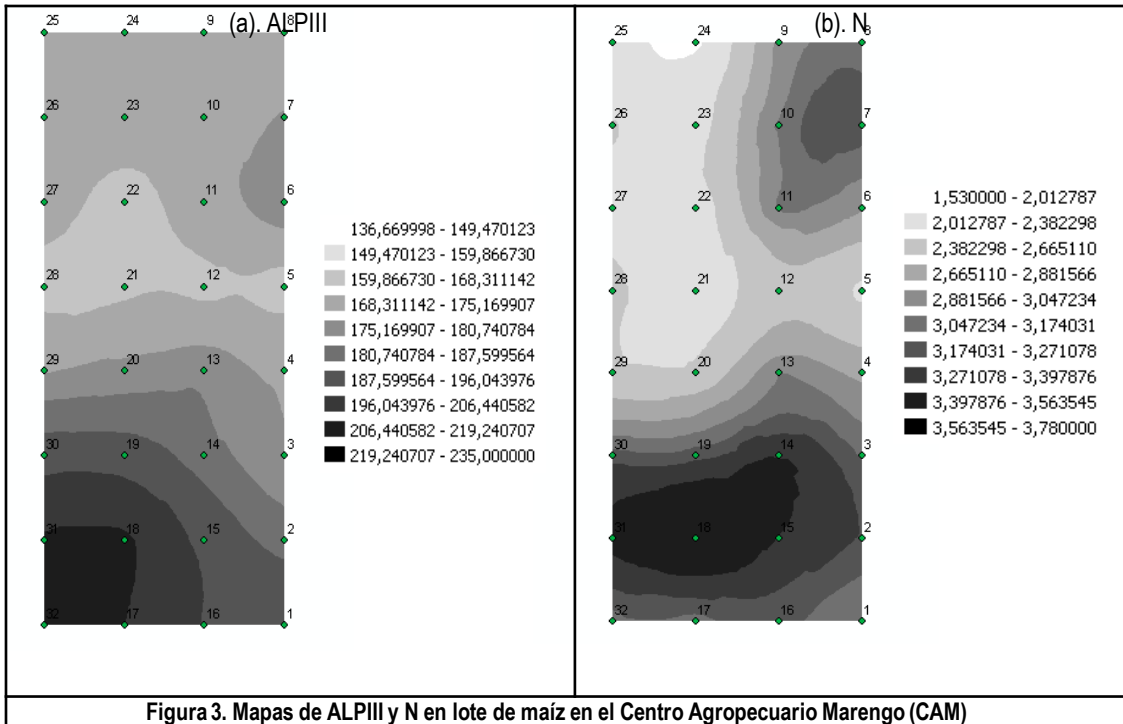


Figura 3. Mapas de ALPIII y N en lote de maíz en el Centro Agropecuario Marengo (CAM)

Conclusiones

El manejo por sitio específico permitió precisar la dosis de fertilizantes y esto conllevó a incrementos en el rendimiento. Pero se deben controlar otros factores de producción, tal y como se evidenció en este estudio con el exceso de humedad.

La metodología usada, con base en estadística descriptiva y geoestadística, mostró ser adecuada para la gestión de los datos y la toma de decisiones sobre fertilización.

El estudio condujo a recomendar distancias de muestreo con fines de manejo específico por sitio para los suelos analizados. Sin embargo, se requiere mayor investigación en el tema.

Agradecimientos: Se agradece a COLCIENCIAS y a la Universidad Nacional de Colombia por la financiación del presente proyecto de investigación.

Referencias bibliográficas

Alvarez, C. R., Steinbach, S. 2000. Fertilización de trigo y maíz. Ed. Hemisferio Sur. 95 p.

Boruvka, L., Lenka, M., Penizek, V, Drabek, O., Vasat, R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. Geoderma xx (2007) xxx-xxx.

Bouma, J., Stoorvogel, J., Van Alphen, B. J., Booltink, H. W. G., 1999. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. Soil Science Society of American Journal. 63: 1763-1768.

- Burrough, P. A., 1993. Soil variability: a late 20th century view. *Soils and Fertilizers* 56: 529–562.
- Castrignanó, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma* 97: 39-60.
- Cerri, C.E.P, Bernouxb, M, Chaplotb, V., Volkoffb, B., Victoriaa, R.L., Melilloc, J.M., Paustiand, K. , Cerri, C.C. 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. *Geoderma* 123: 51–68.
- Espinal, F, Martínez, H, Acevedo, X. 2005. La cadena de cereales, alimentos balanceados para animales, avicultura y porcicultura en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005. <http://www.agrocadenas.gov.co/> (mayo 2007).
- FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25.
- Goovaerts, P. 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and Perspectives. *Geoderma* 89: 1–45.
- Kerry, R., Oliver, M. 2007. The analysis of ranked observations of soil structure using indicator geostatistics. *Geoderma* xx (2007) xxx–xxx.
- Leiva, F. 2003, La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista. En: Memorias VIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y Producción de Cultivos, Bogotá.
- Montgomery, E. G. 1911. Correlation studies of corn Nebraska Agricultural Station Annual Report, Lincoln, v. 24, p.108-159.
- Ortega, R. A., Westfall, D. G. and Peterson, G. A.. 1997. Spatial variability of soil P and its impact on dry land winter wheat. *Agron. Abstracts* p. 231.



CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agricultura de Precisión

HACIENDO REALIDAD LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Egbert Spaans, David González y Griselda Cortés
ALIA2 Asesores Líderes Integrales para la Agricultura y el Desarrollo S.A.
espaans@alia2xti.com; dgonzalez@alia2xti.com; gcortes@alia2xti.com

PRESENTADO EN EL III ENCUENTRO NACIONAL DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN, VILLAVICENCIO, 6-9 JUNIO, 2007

1. INTRODUCCIÓN

Investigaciones e innovaciones en la tecnología de agricultura han resultado en enormes incrementos en productividad agrícola. El mejoramiento genético, conocimientos sobre la nutrición de la planta, la mecanización de labores agrícolas y el entendimiento del ciclo de vida de las plagas para manejarlos de manera efectiva, todos han contribuido para poder alimentar una población mundial creciente. Los avances tecnológicos han sido utilizados para elaborar paquetes tecnológicos para los diferentes cultivos. Un paquete tecnológico es un cronograma de actividades que el productor tiene que llevar a cabo para llegar a una cosecha exitosa.

En general, estos paquetes tecnológicos no siempre consideran las diferentes condiciones de crecimiento que el cultivo puede encontrar en el campo. Hay diferentes tipos de suelo, el nivel freático varía, infestaciones de plagas pueden presentarse en focos localizados, temperaturas cambian con altura y estación, así que un mismo cultivo puede encontrar diferentes condiciones de crecimiento, inclusive a pequeña escala. Si el manejo no considera esas diferencias y toma una sola decisión (regar, aplicar una dosis de fertilizante, etc.) sobre un campo heterogéneo, no podemos esperar que el cultivo responda de manera uniforme, ni que los recursos fueron asignados de manera óptima; haciendo lo que el promedio requiere siempre resulta en excesos en unos lugares, y deficiencias en otros.

La Agricultura de Precisión nació como una respuesta a esa limitante. Es un concepto de administrar los recursos en un sistema productivo que responde a las condiciones de crecimiento, que varían tanto en espacio como en tiempo. Así, la Agricultura de Precisión puede ser considerada como el próximo nivel tecnológico en la agricultura, buscando



optimizar la eficiencia en el uso de los recursos y así maximizar la utilidad que genera la actividad agrícola y minimizar su impacto ambiental.

2. LA IMPLEMENTACIÓN DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

2.1. Marco conceptual

El concepto de Agricultura de Precisión que ALIA2 ha venido desarrollando e implementando, es de carácter práctico y enfatiza aplicar la ciencia para sistemáticamente optimizar sistemas productivos.

La implementación de este concepto consiste de dos pasos importantes. Primero, hay que desarrollar una estrategia para manejar la variabilidad espacial en condiciones de crecimiento en el campo. El segundo paso consiste de un diagnóstico integral del sistema productivo, que incluye el proceso de toma de decisiones y los flujos de información que preceden ese proceso, la veracidad y la efectividad de las decisiones y su ejecución. Con base en este diagnóstico, se desarrollan recomendaciones técnicas, capacitaciones, en ocasiones estructuras administrativas alternativas, nuevos proyectos de investigación, todo ello en función del sistema para manejar la variabilidad, de tal manera que las decisiones son las más acertadas posibles para el sitio específico (= manejo diferenciado en lugar de manejo uniforme) y el momento adecuado (=manejo dinámico en lugar de manejo estático).

2.2 . Primer paso: Estrategia para manejar variabilidad en campo

La geo-estadística nos enseña que la variabilidad espacial aumenta con distancia (o en efecto área); eso quiere decir que la probabilidad que dos puntos en el campo sean iguales (parecidos) en cuanto a un cierto parámetro, es alta cuando los puntos están cercanos, pero disminuye conforme la distancia entre los puntos aumenta (Figura 1).

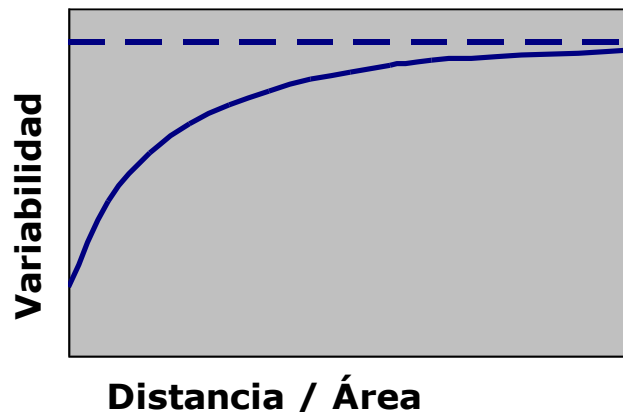


Figura 1. Un semi-variograma que demuestra como la variabilidad aumenta con la distancia entre dos puntos, o en efecto con el tamaño del área de una unidad de manejo.

Con base en este criterio científico, la unidad de manejo debería ser lo más pequeña posible, para maximizar la probabilidad que las condiciones de crecimiento dentro de esa unidad sean homogéneas (vale aclarar que nosotros utilizamos el término unidad de manejo para indicar el lote, o suerte en caña de azúcar, o parcela, sobre lo cual se toma decisiones uniformes de manejo; también se utiliza el término zona de manejo). Sin embargo, las labores mecanizadas y el riego por gravedad se hacen más eficientes en lotes grandes. Entonces, el ejercicio para decidir el tamaño promedio de las unidades de manejo y definir los límites de cada lote debe de balancear ambos argumentos. La esencia es que la implementación de Agricultura de Precisión comienza con una subdivisión de la finca, para crear unidades de manejo (mini-fincas) que son homogéneas en cultivo (uso) y el tipo suelo, la hidrología, la topografía, el microclima, y otros parámetros que determinan las condiciones de crecimiento del cultivo. Es importante no exagerar la división porque puede generar un sistema tan complejo que complica la logística en campo y obstruye la comunicación. En la práctica, la subdivisión es un trabajo en equipo con el productor y se puede realizar con base en el conocimiento y la experiencia del productor, un estudio de suelos y un levantamiento topográfico.

2.3. Segundo paso: Diagnóstico e implementación

Una vez dividida la finca, comienza la captura de información sobre el sistema productivo en cada unidad de manejo; monitoreo de cosecha (cantidad y calidad), análisis de suelo y foliar, labores de campo, costos de producción, densidad de siembra, cantidad y composición de malezas, entre otros parámetros que afectan la producción y la utilidad económica de la actividad. Estas informaciones ayudan a conocer más al detalle el sistema productivo y permiten tomar mejores decisiones. La adquisición de información es un principio de la Agricultura de Precisión, porque se supone que no se puede mejorar lo que no se sabe, y no se sabe lo que no se mide. Obviamente que esto tiene un costo, pero el aumento en eficiencia que se puede lograr con esa información genera ingresos muy superiores a este costo.

El diagnóstico se enfoca a evaluar la eficiencia del uso de recursos naturales, humanos y económicos. Luego se proponen alternativas de manejo para mejorar las condiciones de crecimiento para el cultivo, individualmente por cada unidad de manejo. Si hay incertidumbres sobre el manejo óptimo, se realizan ensayos para investigar la respuesta del cultivo a diferentes tratamientos. La búsqueda de nuevos conocimientos es una parte integral de la Agricultura de Precisión⁵, y la adquisición continua de información del campo por unidad de manejo permite oportunamente evaluar la efectividad de las decisiones



tomadas. Este proceso da paso a un manejo diferenciado (por sitio específico) y dinámico, porque continuamente responde a las condiciones que en este momento prevalecen en el campo.

3. CASO BANANO

En la Empresa AgroComercial de la Universidad EARTH en Costa Rica se produce banano en cuatro plantaciones. En el año 2002 iniciamos un proyecto de Agricultura de Precisión en una de las plantaciones de aproximadamente 100 ha, que se manejaba de manera uniforme¹. Fue una plantación de más de 40 años de edad, que en algunos sectores se había renovado, y la productividad era baja y los costos elevados. El primer paso fue una división de la plantación. No hubo mapa de suelo ni de la topografía, y por la urgencia del proyecto se decidió utilizar la red de cable vías para crear lotes rectangulares de 4 ha cada uno. Se recolectaron datos por lote de cosecha, de análisis foliar y de suelo y de raíces funcionales como índice de la infestación de nemátodos.

La productividad de la plantación variaba de 943 a 3040 cajas/ha, una variabilidad de más de 300%, que genera una variabilidad en utilidad económica enorme, porque los costos de producción eran en su mayoría costos fijos (x ha, independiente de la productividad). La interpretación de los datos de los análisis de suelo, foliar y raíces funcionales no reveló ninguna correlación con la productividad. Eso quiere decir que la variabilidad de la cosecha dentro de la plantación no fue debido a nutrición ni a la infestación de nemátodos. Esto en sí fue novedoso, porque el administrador manifestaba que su estrategia para mejorar la plantación consistía en mayores aplicaciones de fertilizante y nematicida; ambos no hubieran tenido el efecto deseado, más bien hubieran incrementado el gasto innecesariamente y con eso disminuido las utilidades.

La razón verdadera de la baja productividad era la edad de la plantación (Figura 2). Los 5 lotes que tenían productividades encima del punto equilibrio (=cero utilidad, cuando los ingresos cubren los gastos) representaban los sectores donde se había renovado la plantación. La decisión más acertada entonces para mejorar esta plantación, fue renovar. El mismo monitoreo de cosecha indicaba el orden en el cual se debían renovar los lotes, empezando con el de menor producción.

5 Spaans, E. and L. Quiros. 2002. Precision agriculture as a basis for better management decisions and on-farm research. Proceedings of the Second International Workshop on Mycosphaerella Leaf Spot Diseases of Bananas, CORBANA-EARTH-INIBAP-CATIE, San José, Costa Rica, 20-23 of May, 2002. Disponible en <http://www.inibap.org/pdf/IN030306en.pdf>



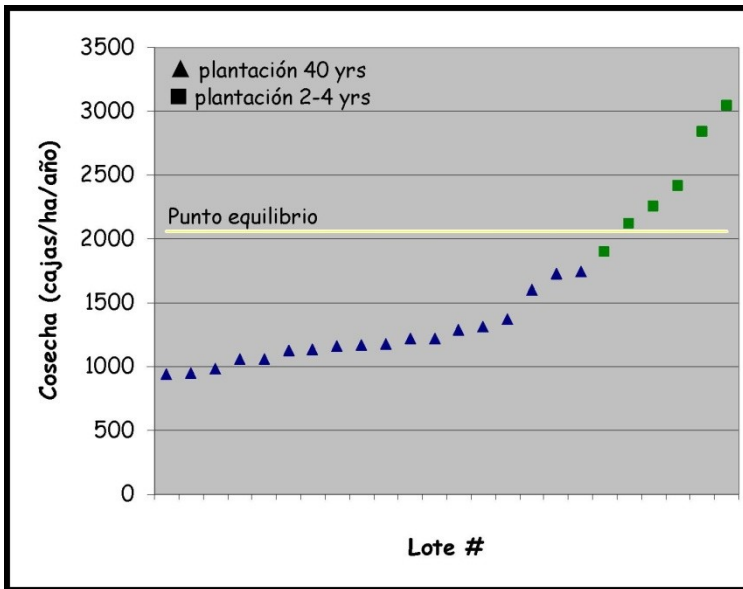


Figura 2. Productividad de 24 lotes de la plantación de banano, en orden de productividad.

4. CASO CAÑA DE AZÚCAR

Con el Ingenio San Carlos, cerca de Guayaquil, Ecuador, empezamos con la implementación de Agricultura de Precisión en sus plantaciones de 17,000 ha, en el año 2003. La unidad de manejo fue el cantero, con un tamaño promedio de 47 ha. En un estudio piloto se midió la cosecha en parcelas dentro de los canteros y se encontró que el 71% de los canteros tenía más de 10% variabilidad y que el 41% tenía más de 30% de variabilidad en producción. Esto indicaba que los canteros no podían ser considerados unidades de manejo homogéneas, y se decidió subdividir los 350 canteros en 1310 lotes de 12.6 ha promedio. De allí en adelante todos los datos provenientes de campo se recolectaron por lote. Después de este proceso se realizó un levantamiento planimétrico del Ingenio para determinar con exactitud el área y la ubicación de cada lote, utilizando K-GPS (cinemática con posprocesamiento)⁶.

Para la subdivisión se utilizaron caminos internos, canales de riego y drenaje y otra infraestructura existente, porque no había información disponible sobre la distribución de los suelos. Recién concluimos el levantamiento de suelos, y hemos encontrado que todavía hay una cantidad de lotes con dos o más diferentes tipos de suelo, por lo tanto estamos evaluando si se puede redefinir los límites de dichos lotes para crear condiciones de suelo más homogéneas. Obviamente, esto no es lo ideal pero sí es la realidad en la práctica. En este caso se prefiere sacrificar el historial de 3 años de estos lotes, pero con el beneficio de ganar homogeneidad y por tanto respuestas más uniformes del cultivo dentro de cada lote en el futuro.

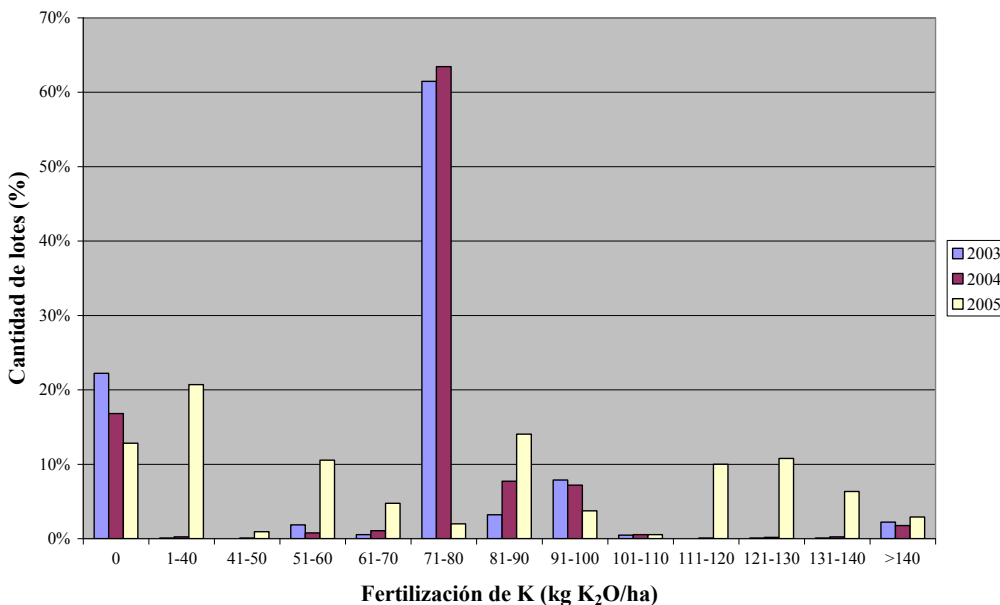
6 Spaans, E. and L. Estrada. 2004. Sense and non-sense of satellite navigation for precision agriculture in the tropics. European Journal of Navigation 2(3): 71-76. Copia digital disponible del autor.





En el diagnóstico encontramos que se utilizaron tres planes principales de fertilización para las 17,000 ha de caña de azúcar. Los análisis de suelo demostraron una gran diversidad de niveles de fertilidad. Además, encontramos que las diferentes variedades de caña azúcar extraen diferentes cantidades de nutrientes del suelo. Se diseñó un plan de fertilización para cada lote en función de la fertilidad del suelo, la textura, la variedad de caña, y la producción proyectada. En la Figura 3 se puede apreciar el manejo diferenciado con la Agricultura de Precisión (año 2005) en comparación con el manejo anterior (años 2003 y 2004). En el 2005 se aplicó la misma cantidad de fertilizante potásico que en los años 2003 y 2004, sin embargo, esa misma cantidad de fertilizante estuvo mucho más distribuida para darle el K en la cantidad que realmente se requiere en cada lote. En este caso, el manejo diferenciado no genera ahorro, sino un uso más racional del fertilizante para optimizar la nutrición del cultivo en toda la plantación⁷.

Figura 3. La distribución de frecuencia de la cantidad de lotes que reciben una cierta cantidad de fertilizante potásico al suelo, para los años 2003, 2004 y 2005.



En la preparación de los suelos se ha podido reducir drásticamente el uso del subsolador porque las mediciones de densidad aparente en el subsuelo indicaban que solamente en pocas ocasiones hubo compactación. Eso es de esperar porque la cosecha se realiza en época seca cuando los suelos tienen alta resistencia. En los años 2002 y 2003 se subsolaba el 83% del área de siembra, mientras que en los años 2004 y 2005 se subsoló solamente el 20% del área de siembra como consecuencia de la implementación del sistema de monitoreo de la densidad aparente previo a la siembra⁸. Esto no solamente

7 Egbert Spaans y Oscar Nuñez. 2006. Haciendo realidad la Agricultura de Precisión en el Ingenio San Carlos. VI Congreso de ATALAC, Guayaquil, 11-15 septiembre, 2006. Copia digital disponible del autor.





ahorra dinero, sino también preserva la estructura y el nivel de materia orgánica del suelo por la fuerza física y la inyección de oxígeno que causa el subsolador. El seguimiento de los lotes subsolados y no subsolados hasta la fecha indica que no hay diferencias significativas en producción, lo cual es prometedor.

5. CASO PALMITO

En Costa Rica existe un paquete de fertilización generalmente recomendado y usado por la mayoría de los productores de palmito. Cálculos preliminares de extracción por el cultivo indicaban que este paquete es muy generoso en las tasas de fertilizantes aplicadas al suelo.

Con el Sr. Carlos Pereira hicimos un proyecto de Investigación Participativa para desarrollar una fertilización dinámica que respondiera a las necesidades reales del cultivo. Con base en análisis de suelo y foliar, datos de producción y la extracción de nutrientes del cultivo, desarrollamos un modelo que anualmente calculaba el plan de fertilización para una parcela de 1 ha. Como testigo, se estableció un lote adyacente de 1 ha que mantuvo el plan de fertilización convencional. En la Figura 4 se demuestran los planes de fertilización anuales para el experimento. Debido a que la diferencia entre el plan convencional y el plan calculado era tan grande, decidimos paulatinamente reducir las dosis de fertilización en los primeros dos años y no aplicar las dosis calculadas por el modelo, para no comprometer la producción. Sin embargo, basado en la buena respuesta del cultivo en los años 2002 y 2003, en el último año de esta investigación se redujo la cantidad de fertilizante al nivel que el modelo inicialmente calculaba. En los tres años del experimento, la producción en ambas parcelas se mantuvo en 13,000 candelas por ha. Esto demostró que logramos bajar el costo de fertilizante de \$240 a \$141/ha sin reducir la producción de palmito, haciendo así más eficiente el sistema de producción.

Figura 4. Plan de fertilización convencional (Paq. Tec.) del testigo comparado con los planes de fertilización calculados con el modelo para los años 2002, 2003 y 2004. El costo corresponde únicamente a los precios de los fertilizantes.

	Paq. Tec.	2002	2003	2004
N	250	155	99	76
P	9	40	20	19
K	166	72	74	96
Ca	--	128	168	270
Mg	--		84	7
S	--			9
Costo	\$240	\$184	\$183	\$141

8 Egbert Spaans y Oscar Nuñez. 2006. Manejo de la estructura del suelo con precisión. X Congreso de la Sociedad Ecuatoriana de Ciencias de Suelo, nov 22-24, 2006, Guayaquil, Ecuador. Copia digital disponible del autor.



CONCLUSIONES

El enfoque de Agricultura de Precisión presentado en este artículo es práctico y basado en ciencia aplicada. Es un concepto para optimizar el uso de los recursos naturales, humanos y económicos, que tiene como resultado una mayor utilidad económica de la actividad productiva y un menor impacto al medio ambiente. Más que un producto final, la Agricultura de Precisión es un proceso que primero busca una estrategia para manejar la variabilidad en el campo, y luego diseña un manejo agronómico específico considerando las condiciones actuales y el potencial de cada área.



SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO



CONFERENCIAS TEMÁTICAS

Agricultura de Conservación

SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO

MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES¹

I.A. MsC. Hugo E. Castro Franco²I.A. Oscar E. Munévar García³

RESUMEN

Debido a la gran extensión y presencia de diferentes tipos de suelos ácidos en Boyacá, el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales (GISSAT 2006) definió un modelo para determinar los requerimientos de neutralización de acidez mediante curvas de encalamiento a partir de pruebas de incubación (Castro *et al.*, 2006), teniendo en cuenta el equivalente químico de CaCO_3 calculado, en combinación de diferentes materiales encalantes comerciales como: cal viva, dolomita y abono paz del río, utilizando una relación porcentual 5:4:1 respectivamente. Luego de estimar las diferentes dosis de CaCO_3 reactivo puro, se evaluó el efecto correctivo de la combinación de los materiales encalantes en dos suelos con diferentes procesos de acidificación: un SSA improductivo ubicado en el Distrito de riego del alto Chicamocha, donde se utilizaron dosis de 2, 4, 8 y 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 y el horizonte oxico de un suelo rojo de la ciudad de Tunja con dosis de 0.5, 1, 2 y 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 , donde se evaluaron parámetros químicos del suelo como pH, Al, Ca, Mg y P. Los resultados muestran que para determinar adecuadamente los requerimientos de las enmiendas se deben tener en cuenta los procesos químicos que caracterizan la acidez del suelo, la neutralización del aluminio de cambio hasta niveles tolerantes a la acidez, para adaptar especies vegetales donde se logran obtener pH's entre 4.5 y 5.5, la mezcla con materiales orgánicos y el tiempo de reacción de los materiales. En SSA improductivos el mejor efecto lo presentan la dosis de 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 y para el horizonte oxico la dosis de 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CaCO_3 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza presenta la mejor alternativa para el manejo de la acidez.. Este modelo propuesto se considera novedoso dentro de la concepción integral del control de la acidez por medio

1 Este trabajo hace parte de las investigaciones que realiza el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos GISSAT. e-mail: gissat@tunja.uptc.edu.co

2 Profesor asociado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC. Tunja-mail: hcastrofranco@yahoo.com.mx.

3 Ingeniero Agrónomo, Investigador GISSAT y UPTC. Tunja. e-mail: osmunev@hotmail.com.





del cálculo y balance a través de la equivalencia química de combinaciones de materiales encalantes comerciales, donde, se permite conseguir en la práctica además de la corrección de la acidez, balances proporcionales de Ca^{+2} , Mg^{+2} y aportes considerables de P, factores que se deben tener en cuenta para la posterior implementación de un cultivo y programas de fertilización encaminados al uso eficiente de nutrientes a través del manejo integrado del suelo de una manera mas sostenible.

Palabras Claves: Equivalente químico, incubación, acidez, materiales encalantes.

INTRODUCCION

Una de las principales limitaciones edáficas mas comunes en los suelos colombianos son las relacionadas a los fenómenos ocurridos por la acidez, la cual es consecuencia de la toxicidad generada por el aluminio de cambio, y en muchos casos como en los Suelos Sulfatados Acidos(SSA) por la demanda de ácido sulfúrico y hierro que alteran el equilibrio iónico del suelo, inhibiendo la absorción de Ca^{+2} , Mg^{+2} y P, afectando directamente la fertilidad del suelo, nutrición de las plantas y por ende la producción agrícola (GISSAT 2007).

En Boyacá la gran extensión y presencia de diferentes tipos de suelos acidos obedece a los estados y procesos de degradación química característicos de cada suelo en particular. Para los SSA ubicados en el valle alto del río Chicamocha estos procesos son producto de la oxidación primaria de sulfuros de hierro y la generación de ácido sulfúrico con la consecuente destrucción de minerales primarios e hidrólisis secundaria del aluminio (proceso de sulfatación) (Gómez 2006), evidenciada en campo por la presencia de horizontes sulfúricos y la acumulación de sales sulfatadas metálicas que originan áreas escaldadas improductivas (GISSAT 2006). Por otro lado la presencia de horizontes minerales oxicos (suelos rojos) característicos de algunas zonas agrícolas de la ciudad de Tunja evidencian suelos altamente meteorizados, con la consecuente perdida y lavado de bases, que explican los excesos de aluminio, acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro y bajos contenidos de materia orgánica, reflejando un pobre nivel de fertilidad comparado con otros suelos de la región.

Las prácticas de manejo y recuperación de estos suelos deben contemplar la situación cuantitativa de acidificación de tal manera que el uso de materiales encalantes no conlleve a generar desbalances nutricionales por exceso de enmiendas, causando un mal desarrollo de las especies vegetales. La elaboración de curvas de enclamiento enfrentadas a parámetros químicos que interfieren en el manejo de la acidez, permiten definir dosis optimas de neutralización mostrando las necesidades de cal expresadas en términos de





equivalencia química de CaCO_3 asegurando la sostenibilidad de la corrección y logrando balancear las bases de suelo a través de la combinación de materiales encalantes portadores de calcio, magnesio y fósforo. Este método a partir de pruebas de incubación en laboratorio viene siendo validado y extrapolado a campo en cultivos tolerantes y comerciales, por parte del GISSAT, donde se ha dado un nuevo enfoque en términos de sostenibilidad, al manejo de suelos ácidos.

MATERIALES Y METODOS

Con el fin de evaluar la neutralización de acidez por efecto del encalamiento se seleccionaron muestras de suelos a nivel de capa arable (0 – 25 cm.) de un Suelo Sulfatado Ácido Improductivo (SSAI) del Distrito de Riego del Alto Chicamocha caracterizado como *Tipyc sulfaquept* y el horizonte oxico de un suelo rojo de la ciudad de Tunja. Mediante un diseño completamente aleatorio se definieron 10 tratamientos expresados en dosis de CaCO_3 puro EQ=100, combinación de materiales encalantes comerciales como cal viva (CaO) (75% CaO), Dolomita (55% CaCO_3 +33% MgCO_3) y Abono Paz del Río (48% CaO 1.2% MgO +10% P_2O_5), mediante una relación porcentual 50:40:10(5:4:1) respectivamente, y un tratamiento satélite definido por la relación 5:4:1 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza.

Las dosis correspondientes para el horizonte oxico fueron de 0, 0,5, 1, 2 y 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 puro EQ=100; la combinación de materiales encalantes dosis de 0,5, 1, 2 y 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 en relación porcentual 5:4:1 y para un tratamiento satélite dosis de 2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 relación 5:4:1 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza.

Para los Suelos Sulfatados Ácidos(SSA) las dosis corresponden a: 0, 2, 4, 8, y 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 puro EQ=100; combinación de materiales encalantes 2, 4, 8 y 16 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 en relación porcentual 5:4:1 y un tratamiento satélite de 4 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ CaCO_3 relación 5:4:1 + 1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de gallinaza.

Cada unidad experimental representada por 200 g de suelo a capacidad de campo, se sometió a pruebas de incubación en laboratorio una vez adicionada las dosis de cal expresadas en EQ CaCO_3 correspondientes a cada tratamiento. El proceso de incubación se llevo a cabo a temperaturas de 25 ° C, manteniendo el suelo a capacidad de campo durante 45 días en recipientes plásticos heréticamente sellados. Para monitorear los cambios inducidos al suelo por efecto del encalamiento, se realizaron evaluaciones de los parámetros químicos como pH (Método potenciométrico, relación suelo – agua 1:1), acidez intercambiable (Método de Yuang, KCl 1 N), Ca, y Mg, (Método del acetato de amonio 1N,





pH 7, absorción atómica; USDA, 1990), P (Metodo bray II y medición colorimétrica) con el fin de comparar esta información con las condiciones originales del suelo. Teniendo como referente las curvas de enclamiento obtenidas a partir de pruebas de incubación, se extrapolaron los resultados a campo en un SSAI donde se exploraron dosis y relaciones de materiales enclantes como CaO, Dolomita y Roca fosfórica, mediante la técnica de microparcels (1 mt²) y utilizando como cultivo indicador *Avena Sativa* evaluando variables biológicas como biomasa fresca, altura de plantas y volumen de raíces. Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron sometidos a análisis estadístico (ANOVA) y pruebas de significancia (Tukey).

RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 1. Condiciones iniciales de los suelos en estudio.

SUELO	pH	% MO	Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹					mg.kg ⁻¹						dS.m ⁻¹ CE		
			Al	Ca	Mg	K	Na	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn		B	
<i>Horizonte oxico</i>	4,3	0,22	4,2	1,8	0,9	0,3	0,06	3,37	17	30	0,9	0,0	1	0,9	0,04	0,08
SSA	3,3	16	8,5	11	2,8	0,5	7	12	386	94	9,2	0,0	1	3,4	1	7,4

Fuente: Laboratorio de suelos y aguas UPTC.

Las condiciones iniciales de los suelos en estudio (tabla. 1), demuestran que el pH y el aluminio de cambio (Al⁺³), son indicadores importantes en el diagnóstico de la acidez, encontrándose que para los suelos rojos en su horizonte oxico, existen reacciones fuertemente acidas (pH 4,2) y concentraciones de Al de 6 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹, además de estos parámetros es evidente que los contenidos de hierro aunque en el análisis aparecen bajos (Fe:30 ppm) estos se encuentran en formas de óxidos e hidróxidos de hierro, lo cual hace referencia clara al proceso de acidificación en estos suelos. Los SSA se caracterizan por presentar reacción extremadamente acida (pH: 3,3) y concentraciones de Al de 8,5 cmol. ⁽⁺⁾ kg⁻¹, donde los estados de sulfatación se relacionan con los altos contenidos de S(400 ppm) siendo estos los factores principales que limitan la producción agrícola.

Interacción del pH y el Al⁺⁺⁺ en la incubación con CaCO₃

(Ver gráficas página siguiente)



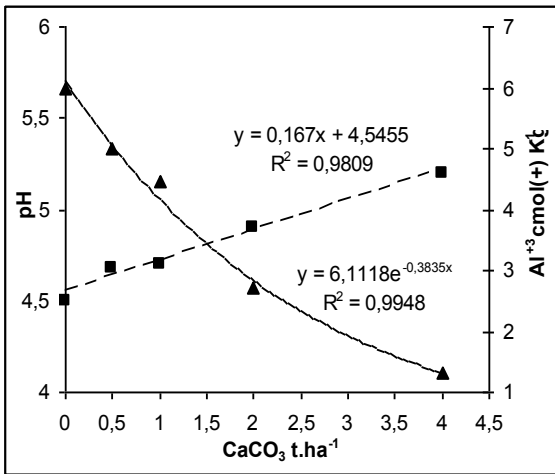


Figura.1. Horizonte oxico (suelo rojo)

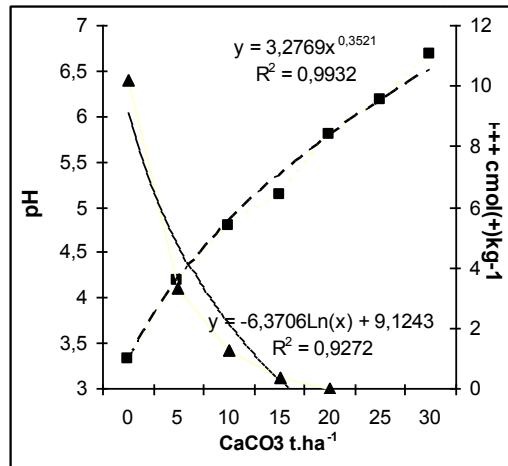


Figura.2. Suelo Sulfatado Acido

Las curvas de neutralización de acidez elaboradas a partir de la interacción pH y Al⁺⁺⁺ respecto a las dosis crecientes de CaCO₃ presentan una diferencia estadística altamente significativa demostrando que para obtener pH mayores a 5,5 se requieren dosis de 4 t.ha⁻¹ de CaCO₃ puro, donde el Al⁺⁺⁺ de cambio disminuye significativamente en su concentración hasta valores de 1 cmol. (+) kg⁻¹ para el horizonte oxico (figura.1), analizando el caso de los SSA para obtener pH's mayores a 5, considerados después de la corrección como suelos mejorados, se requieren aplicaciones del orden de 15 t.ha⁻¹ de CaCO₃ (figura 2). En aquellos suelos con menor contenido de arcilla y materia orgánica existe un mayor ascenso en pH, por ello las dosis de cal, que en aquellos que tienen un mayor contenido de estos componentes.

Interacción del pH y el Al⁺⁺⁺ a la incubación con combinación de materiales encalantes.

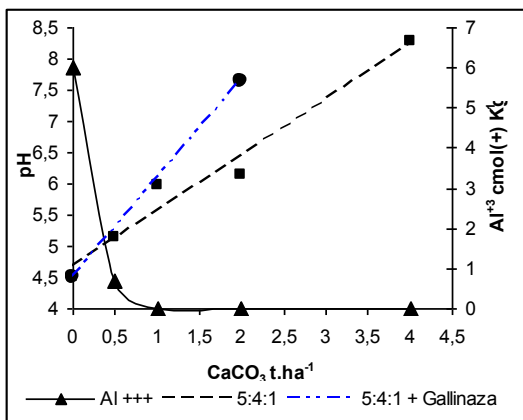


Figura.3. Horizonte oxico (suelo rojo)

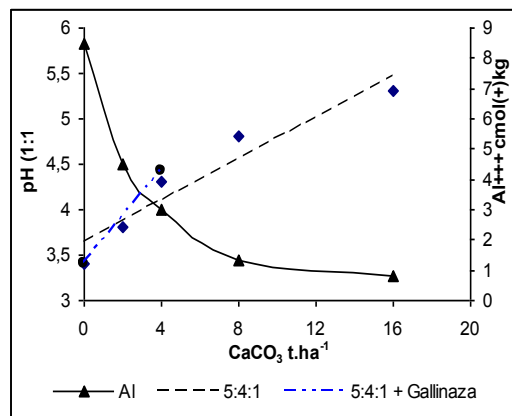


Figura.4. Suelo Sulfatado Acido Improductivo.





Si se comparan las muestras incubadas con CaCO_3 y las incubadas con la combinación de materiales encalantes comerciales mediante la relación 5:4:1, se encuentran diferencias altamente significativas. Las cantidades de cal necesarias para neutralizar el aluminio intercambiable con la relación 5:4:1 son mucho mas bajas donde a partir de 1 t ha^{-1} de CaCO_3 se neutraliza la concentración de este elemento encontrándose valores de pH de 5,5, Si tomamos como base en las muestras incubadas llevar a un pH de 5,5 en vez de pH 6,2 (Figura.3), en las muestras de muy bajo contenido de aluminio intercambiable los requerimientos de cal bajan notablemente siendo este el punto de amortiguación para el horizonte oxico. Con dosis de 2 t ha^{-1} de CaCO_3 se obtienen pH's agrícolas de 6,2, sin embargo se debe resaltar que el objetivo principal del encalado no es elevar el pH sino conseguir la mayor disminución de la concentración del aluminio toxico a niveles tolerantes. Según Espinosa 2003, aunque el pH es un excelente indicador de acidez este no determina el requerimiento o cantidad de enmienda ya que este parámetro determina la acidez activa y hay que considerar la acidez potencial en los coloides minerales y orgánicos del suelo. Un factor muy importante y a tener en cuenta es la asociación de materiales orgánicos a la combinación de los materiales encalantes, nótese que la relación 5:4:1 + 1 t ha^{-1} de gallinaza aumenta los rangos del pH hasta 6.2 con solo 1 t ha^{-1} de CaCO_3 manteniendo el aluminio en la neutralidad presentando efectos muy benéficos a dosis bajas.

El Al^{+++} para los SSA (Figura 4) presento diferencias altamente significativas respecto a las dosis de CaCO_3 , estos suelos oxidados en su estado natural presentan concentraciones de Al intercambiable de $8,5 \text{ cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$, al incrementar las dosis de CaCO_3 en combinación de materiales encalantes y la relación 5:4:1, las concentraciones disminuyen hasta $0,83 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ con dosis altas de 16 t ha^{-1} de CaCO_3 , es importante resaltar anotar que para llegar a estos niveles los rangos del pH se encuentran entre 5,0 y 5,3. Este aspecto se debe tener en cuenta en la toma de decisiones futuras para el manejo de la acidez, además se debe resaltar que las dosis bajas de 4 t ha^{-1} de CaCO_3 aunque demuestran un inicio en los cambios químicos del suelo no son suficientes para contrarrestar las condiciones de acidez por efecto del aluminio. De esta manera los suelos rojos minerales por presentar contenidos mas bajos de M.O presentan mayor respuesta a la aplicación de dosis bajas de enmiendas de origen calcáreo y orgánico contrastando con los SSA que requieren altas dosis consecuencia de alta capacidad buffer ocasionada por el tipo de material constitutivo y los procesos de sulfatación.

Comportamiento de S a la incubación con combinación de materiales encalantes en un SSA. (Ver gráfica página siguiente)



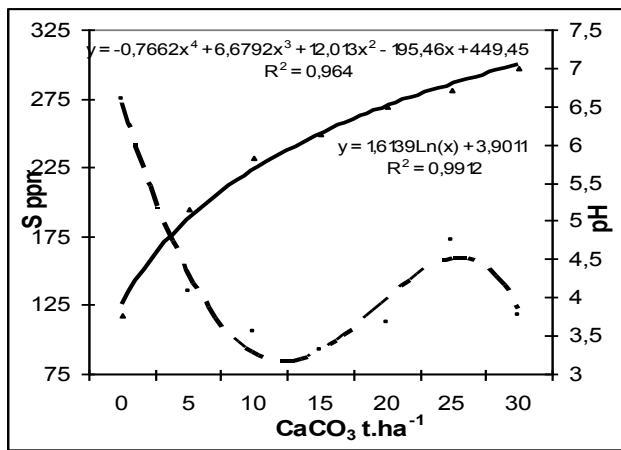


Figura.5. Tendencia del azufre como producto de los correctivos.

La tendencia a disminuir las concentraciones de S en la solución debe entenderse como un aporte sustancial a la investigación puesto que valora aun mas el significado del encalamiento como una practica que responde de manera integral al control de la acidez ya que se mitiga el efecto toxico del S como consecuencia de la neutralización de las formas solubles del S por parte del Ca (GISSAT 2006), producto de la de la disolución de carbonatos suministrados por la combinación de las enmiendas calcáreas y orgánicas a dosis entre 10 y 15 t ha⁻¹ de CaCO₃ (Figura 5).

Comportamiento del P a la incubación con combinación de materiales encalantes.

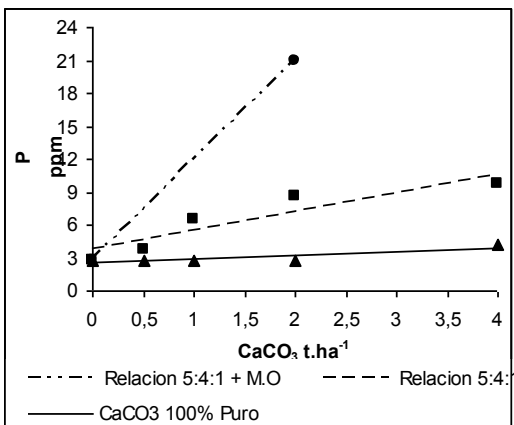


Figura.6. Horizonte oxico (suelo rojo)

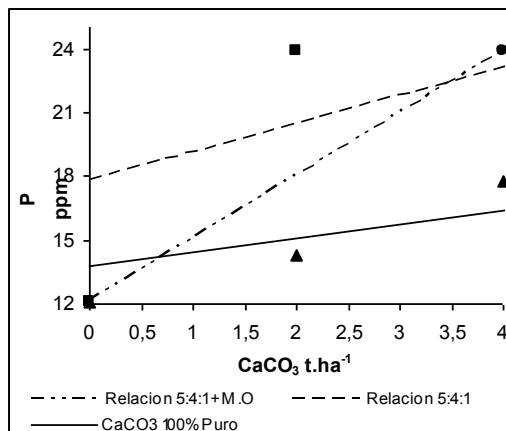


Figura 7. Suelo Sulfatado Acido Improductivo.

En los suelos rojos con altos contenidos de oxidos e hidróxidos de hierro y aluminio a la deficiencia de P se le suma su alto poder de fijación que presenta este elemento en el suelo. (Leon 1989). Analizando la Figura 6 se demuestra que los contenidos de fósforo aumentan con respecto a los estados iniciales (3,3 ppm), a medida que sube el pH con el uso de materiales encalantes en combinación, contrastando con los tratamientos donde no se aplicaron fosfosilicatos de calcio, donde el P se mantiene constante, para

este caso existe una mayor respuesta cuando se asocian los materiales orgánicos a la combinación de los materiales encalantes incrementando los contenidos hasta 21 ppm de P a una dosis de 2 t ha⁻¹ de CaCO₃. En los SSA se presenta esta misma dinámica donde se pasa de concentraciones iniciales de 12ppm a 23 ppm de este elemento a dosis altas de 16 t ha⁻¹ de CaCO₃ donde el aluminio se encuentra neutralizado. Esta dinámica se presenta ya que a medida que se incrementa el calcio intercambiable el aluminio toxico del suelo disminuye, los fosfosilicatos de calcio responden favorablemente bajo medios ácidos y la transformación de una forma de fosfato a otra esta controlada por el pH del suelo, el cual influye sobre la predominancia de uno u otro catión acompañante (Ca, Al y Fe), donde los niveles bajos de pH aumentan la actividad del Fe y el Al por lo que los fosfatos de calcio solubles se convierten en menos solubles como fosfatos de aluminio y de hierro (Bertsh 1998).

Corrección química de acidez del suelo utilizando avena sativa como cultivo indicador de recuperación en un SSAI.

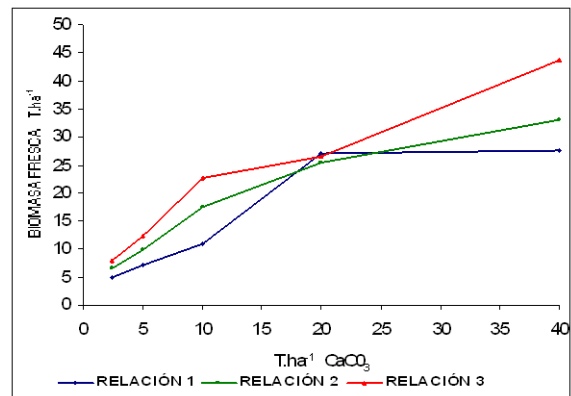
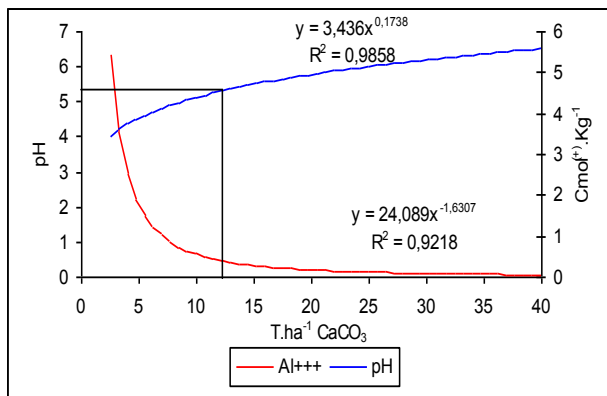


Figura 8. Dosis óptimas de neutralización

Figura 9. Producción de biomasa.

Basados en los resultados encontrados en laboratorio y extrapolados a campo, se realizó un montaje de microparcels (1 mt²) donde se exploraron dosis y relaciones porcentuales de los materiales encalantes comerciales como CaO, Dolomita y Roca fosfórica, en relaciones 5:4:1, 6:3:1 y 7:2:1 + 1 t ha⁻¹ de gallinaza, utilizando como cultivo indicador de la recuperación *Avena sativa* en un SSAI, la Figura 8 representa las dosis óptimas de neutralización del aluminio encontrando que entre 12 y 15 t ha⁻¹ de CaCO₃ en equivalente químico, los rangos de pH están entre 5,5 y el Al se encuentra en concentraciones menores a 1 cmol.(+) kg⁻¹, lo que indica un efecto correctivo a las condiciones adversas de acidez donde se logran adaptar especies vegetales, como lo referencia la Figura 9 donde los contenidos de biomasa fresca aumentan a medida que se incrementan las dosis, la relación 7:2:1+1 t ha⁻¹ de gallinaza sobresale ante las demás relaciones y se obtienen promedios de 25 t ha⁻¹ de biomasa fresca, es importante resaltar que a partir de este punto se aumenta la producción en las relaciones porcentuales que presentan mayor poder de neutralización.





La tendencia en el comportamiento de la relación calcio/magnesio confirma que las aplicaciones de enmiendas es justificable en suelos con alta capacidad buffer como los orgánicos, contrario a los suelos con predominio de materiales minerales, porque requieren de menores cantidades para corregir las condiciones de extrema acidez y llevar los niveles de calcio y magnesio a una condición de equilibrio, que favorezca la disponibilidad de estos y otros elementos nutritivos.

CONCLUSIONES

Para lograr un grado de recuperación química del suelo (pH, entre 5,0 y 5,5 y concentraciones de Al^{+++} menores a $1 \text{ cmol. } (+) \text{ kg }^{-1}$) en un horizonte oxico las dosis están alrededor de 1 t ha^{-1} de $CaCO_3$ en combinación de materiales encalantes mediante la relación 5:4:1 + 1 t ha^{-1} de gallinaza, contrastando con los SSA donde las dosis están alrededor de 16 t ha^{-1} de $CaCO_3$ en combinación de enmiendas calcáreas y orgánicas.

Las necesidades de encalamiento expresadas por el método de calculo y balance a través de la equivalencia química, contribuyen a interpretar y proponer un manejo integral para el control de la acidez, donde es factible a partir de dosis en términos de $CaCO_3$, combinar materiales encalantes de alta reactividad y en asocio a la materia orgánica, para controlar acidez y garantizar un balance adecuado de bases y fósforo, este último principalmente cuando se emplea Abono Paz del Río o Roca fosfórica. De esta manera se logra pasar de áreas totalmente improductivas a áreas recuperadas donde a futuro se puedan establecer especies vegetales implementando programas de fertilización encaminados al uso eficiente de nutrientes a través del manejo integrado del suelo de una manera más sostenible.

BIBLIOGRAFIA

- DENT, D. 1986. Acid sulphate soils: a baseline for research and development. International institute of land reclamation and improvement, Publication 39. Wageningen. 204pp.
- ESPINOSA, J. y MOLINA, E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Quito. 37 p.
- GRUPO INTERINSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS TROPICALES, GISSAT. 2004. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Proyecto UPTC, COLCIENCIAS USOCHICAMOCHA. Tunja. 23 p.
- GÓMEZ, M. y CASTRO H, 2004. Parámetros de formación e identificación in situ de suelos sulfatados ácidos (SSA) continentales en el distrito de riego del Alto Chicamocha, Informe técnico. Proyecto Colciencias, UPTC – GISSAT. Tunja. 24 p.
- GÓMEZ, M. 2006. Génesis de suelos sulfatados ácidos y su relación con el manejo agrícola. Distrito de riego del Alto chicamocha Departamento de Boyacá. Tesis de grado. Maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 211p.



GÓMEZ, M.; CASTRO, H. y PACHECO, W. 2005. Recover and management of actual acid sulphate soil in Boyacá (Colombia). En: Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 23(1) 128-135.

GÓMEZ, M.; CASTRO, H. MUNEVAR, O. y HERNANDEZ, D. Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos mediante pruebas de incubación. En: Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 24(1)123-130

MUNEVAR, O. y PÉREZ, C. 2006. Exploración por la técnica de microparcelas de la corrección química de los suelos sulfatados ácidos improductivos en el Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá). Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC.



PRODUCTIVIDAD DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ – PASTOS, EN SUELOS ÁCIDOS DEL PIEDEMONTE LLANERO COLOMBIANO

A.C. Rincon¹ y G.A. Ligarreto²

Las praderas introducidas en los Llanos están constituidas principalmente por la gramínea *Brachiaria decumbens*, especie de buena adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad (Miles *et al.*, 2004) que ha sido base para el desarrollo de una ganadería más productiva en los últimos 30 años, generando productos que benefician a la población humana de esta región y a grandes ciudades como la capital de la República a donde anualmente son transportados 250.000 novillos para su sacrificio, no obstante, en la actualidad la productividad animal es baja, como consecuencia de la degradación de praderas ocasionada por varios factores como, falta de fertilización en el establecimiento y mantenimiento de las praderas, presencia de plagas como el mión de los pastos (*Aeneolamia* spp.) y hormigas (*Atta* sp. y *Acromirmex* sp.) y sobrepastoreo, lo cual ha hecho que la carga animal sea de solo 0,7 animales por hectárea y la productividad animal de 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Rincón, 1999).

El uso de pastos en la producción de ganado bovino, es la forma más económica de alimentación, cuando son bien manejados y utilizados respetando las características fisiológicas y exigencias de clima y de fertilidad del suelo. Sin embargo el escenario de las pasturas en el mundo es diferente, porque gran parte de estas áreas se encuentran degradadas. (Menezes y Silveira, 2004). La problemática de la degradación de praderas esta generalizada en las sabanas de América tropical que tienen una extensión de 250 millones de Hectáreas incluyendo a los Llanos de Colombia y Venezuela y los Cerrados del Brasil (Kerridge, 2001, Rippstein *et al.*, 2001); este proceso de deterioro ya supera el 60% de esta área. En los Llanos Colombianos se estima que de las 1.800.000 ha en pastos introducidos, 1.000.000 ha se encuentran en proceso de degradación; en donde se están dejando de producir 154.000 toneladas de carne al año, que equivale a 342.000 novillos con un peso de 450 kg animal⁻¹. Se han desarrollado tecnologías para dar solución a esta problemática como son la labranza, fertilización, asociación con leguminosas y recientemente la integración de cultivos con pastos, demostrando el beneficio ambiental y económico. Los cultivos como el maíz, arroz y soya, se presentan como una alternativa de alta viabilidad para recuperar praderas, en la Orinoquia Colombiana dado el gran número de hectáreas en proceso de degradación. Este sistema trae beneficios al suelo porque se mejora su fertilidad, a los bovinos, porque disponen de mayores producciones de forraje de mejor calidad que contribuye a mayor productividad animal en un tiempo más corto y al productor porque con

1 Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal., Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigaciones La Libertad, A. A. 3119, Villavicencio, Meta, Colombia.

2 Profesor Asociado de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.



a cosecha del cultivo cubre en gran medida los costos de la renovación de la pradera (Valencia *et al* 2006; Vilela *et al.*, 2004). Sin embargo, ante los aumentos de los costos de producción de los cultivos, que difícilmente son cubiertos con las cosechas obtenidas, y teniendo en cuenta el potencial que tiene la región para la producción de carne bovina, se considera que mediante la integración de los cultivos como el maíz y los pastos, puede desarrollarse una actividad agropecuaria competitiva con grandes beneficios para la región. Para confirmar la viabilidad productiva y económica de la asociación maíz pastos, se desarrollo este trabajo con el fin de contribuir a la solución de la degradación de praderas, principal problemática que tiene la actividad ganadera en el Piedemonte llanero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un Oxisol de terraza media del Centro de Investigaciones Corpoica La Libertad, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta, Colombia). En una pradera degradada se estableció en forma simultanea, el cultivo de maíz híbrido 'Master' en asociación con los pastos híbrido de *Brachiaria* cv. "Mulato", *Brachiaria brizantha* cv. "Toledo", y *Brachiaria decumbens*. Para determinar el efecto del N en el desarrollo y producción de grano de maíz y biomasa de pasto, se evaluaron las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ aplicados en forma fraccionada al surco del maíz, a los 15 y 35 días después de la siembra de la asociación. Los tratamientos que se evaluaron fueron:

- Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el híbrido de *Brachiaria* cv. Mulato +200 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv. Toledo + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria brizantha* cv. Toledo + 200 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 100 kg de N
- Maíz en asocio con el *Brachiaria decumbens* + 200 kg de N

Estos tratamientos se distribuyeron en bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, donde la parcela principal fue la gramínea forrajera (área de 3 ha) y la subparcela fue los niveles de nitrógeno (área de 1 ha).

La labranza se inició con un pase de rastra con el fin de reducir la cobertura de pasto y brindar mejores condiciones para la acción del cincel rígido, que trabajó a una profundidad entre 20 y 25 cm. Posteriormente se aplicó, una mezcla de cal dolomítica, roca fosfórica y yeso agrícola por medio de una encaladora y luego se incorporó con un pase de rastra, para reducir la saturación de aluminio y para corregir las deficiencias de calcio, fósforo, magnesio y azufre de estos suelos. Las cantidades de enmiendas estuvieron de acuerdo al análisis de suelos y a los requerimientos de saturación de bases del maíz (50%) para obtener un buen desarrollo y producción de grano. La única fuente de variación en fertilidad fue el nivel de nitrógeno aplicado (100 y 200 kg N ha⁻¹). La fertilización nitrogenada se aplicó en forma fraccionada a los 15 y 35 días después de la siembra, en partes iguales. En el momento de la siembra se aplicó a todos los tratamientos 27 kg N ha⁻¹ contenidos en los 150 kg ha⁻¹ de DAP aplicados.





El maíz se estableció con una densidad de siembra de 22 kg ha⁻¹ en surcos separados a 80 cm con 5 a 6 plantas por metro lineal. Las gramíneas forrajeras se sembraron inmediatamente después de realizada la siembra del maíz, con otra sembradora en surcos separados a 50 cm con una densidad de siembra de 4 kg ha⁻¹, en sentido perpendicular a la siembra del maíz. Durante el ciclo del cultivo se realizaron los controles necesarios de plagas, mediante control biológico e inhibidores de quitina.

Evaluaciones

Producción de biomasa de maíz y pastos a los 50, 75, 90 y 140 días después de la siembra (dds) de la asociación. Producción de grano de maíz a los 140 dds. Para evaluar la producción de forraje bajo pastoreo antes de iniciar el pastoreo definitivo, se determinó la disponibilidad inicial de forraje para calcular la carga animal en cada tratamiento. Durante la fase del pastoreo, en la época lluviosa y en la época seca, se midió el forraje disponible al iniciar el periodo de ocupación, después de 28 días de descanso de los potreros. Terminados los 14 días de ocupación o pastoreo por los animales, se evaluó el forraje residual que dejaron los animales. La calidad nutritiva del forraje se midió al finalizar los 28 días del periodo de descanso y antes de entrar los animales a pastoreo. Se evaluó la calidad nutritiva del forraje mediante fraccionamiento de la proteína cruda, fraccionamiento de los carbohidratos estructurales y solubles (Cornell Net carbohydrate and protein system), digestibilidad, FDN, FDA y lignina (Van Soest y Wine, 1967), P, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu (espectrofotometría). La producción de carne bovina se evaluó en bovinos machos cebú comercial, los cuales iniciaron el pastoreo del experimento con un peso promedio de 242 kg animal⁻¹ (edad entre 1 y 1,5 años). Se estableció un sistema de pastoreo rotacional en las tres replicaciones de cada tratamiento, con 14 días de ocupación y 28 de descanso. El número de animales por cada tratamiento o carga animal se calculó de acuerdo a la disponibilidad de forraje. Los grupos integrados por 10 a 12 animales, fueron distribuidos al azar en cada tratamiento con una carga inicial que fluctuó entre 1,8 y 2,5 u.a ha⁻¹, considerando a 400 kg de peso vivo como una unidad animal. Se evaluó las ganancias diarias de peso y producción de carne por ha durante un período de un año.

Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System). Se realizaron los análisis de varianza respectivos y para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de biomasa de maíz y de pasto





La producción de biomasa del maíz (hojas y tallos) en asociación con los pastos fue de 6.828, 9.800 y 11.800 kg MS ha⁻¹ a los 50, 75 y 90 dds respectivamente. A los 140 dds en el momento de la cosecha del maíz, La biomasa de maíz fue igual a la de los 90 dds, en tanto la biomasa de los pastos en promedio fue de 4.200 kg MS ha⁻¹.

A los 50 dds la biomasa aérea del *B. decumbens* fue superior significativamente (P<0.05) con 682 kg MS ha⁻¹ frente a solo 220 kg MS ha⁻¹ de los otros dos pastos. A los 75 días no se presentaron diferencias significativas entre los tres pastos pero posteriormente a los 90 días, el pasto Toledo aventajó significativamente al *B. decumbens* y al Mulato, con una producción de 4.374 kg MS ha⁻¹. A los 140 días la biomasa de los pastos Mulato y Toledo fue superior significativamente (P<0.05) con relación al *B. decumbens*, en 685 kg (Figura 1). Con respecto a los niveles de N aplicados, no se presentaron diferencias significativas en la producción de biomasa de los pastos en las cuatro épocas de evaluación.

La producción total de biomasa (maíz + pasto) a los 50, 75, 90 y 140 dds fue de 7.000, 11.400, 15.500, y 16.000 kg MS ha⁻¹, respectivamente, lo cual indica que entre el periodo de 50 y 75 dds la asociación de maíz y pastos tuvo una producción diaria de 300 kg MS ha⁻¹, entre los 75 y 90 dds, de 267 kg MS ha⁻¹ y finalmente entre los 90 y 140 dds, periodo en el cual el maíz se encontraba en proceso de secado, la producción diaria de biomasa fue de 10 kg MS ha⁻¹.

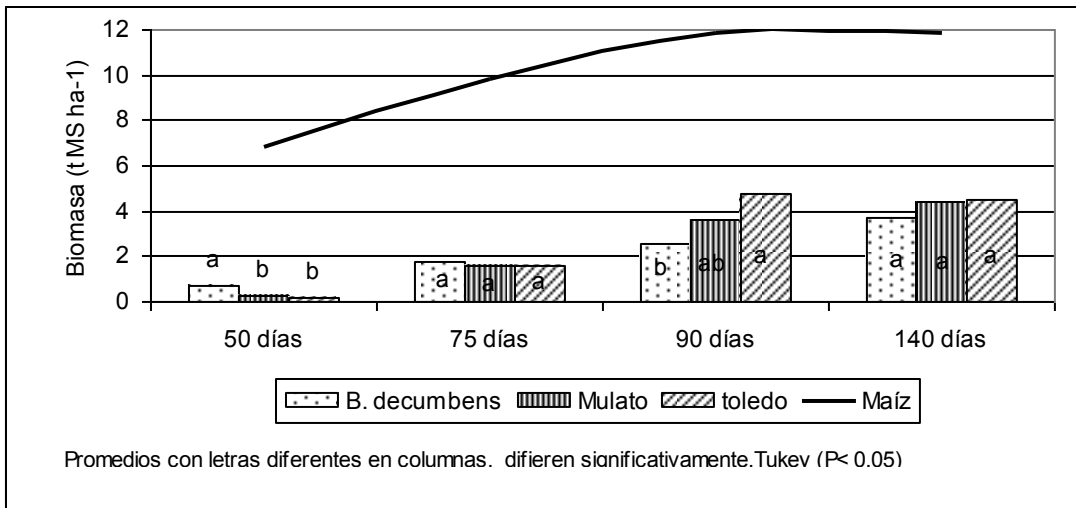


Figura 1. Producción de biomasa de los pastos asociados con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Producción de grano de maíz

La cosecha del maíz se realizó a los 140 dds, cuando el grano tenía una humedad del 18%. La producción de grano de maíz asociado con pasto Toledo fue superior significativa-





mente ($P < 0.05$) con 5.836 kg ha^{-1} frente a un promedio de 5.100 kg ha^{-1} obtenido en las asociaciones con pasto Mulato y *B. decumbens*. Este rendimiento superior en la asociación con el pasto Toledo, se debió a la mayor población de plantas de maíz ($39.384 \text{ plantas ha}^{-1}$) en el momento de la cosecha. La población del maíz a los 15 dds fue de $4.5 \text{ plantas m}^{-1}$ lineal lo cual equivalía a tener $50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$. A los 50 dds la población ya se había reducido a $3,9 \text{ plantas m}^{-1}$ ($48.750 \text{ plantas ha}^{-1}$). En el momento de la cosecha se obtuvo un promedio de $3,1 \text{ plantas m}^{-1}$, equivalentes a $38.640 \text{ plantas ha}^{-1}$ (Tabla 1).

Tabla 1. Población y rendimiento de maíz asociado con tres pastos y con dos niveles de nitrógeno. C.I. La Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	Población (Plantas ha^{-1})	Rendimiento (kg planta $^{-1}$)	Rendimiento (kg ha^{-1})
<i>B. decumbens</i>	38.475 a	0,131 a	5.000 b
Mulato	38.061 a	0,138 a	5.243 ab
Toledo	39.384 b	0,147 a	5.836 a
Nitrógeno:			
ha^{-1}	38.850 a	0,137 a	5.370 a
ha^{-1}	38.431 a	0,140 a	5.350 a
cv (%)	11,9	8,61	12,9

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente ($P < 0.05$) según la prueba de Tukey

Los tratamientos de fertilización con 100 y 200 kg N ha^{-1} , no afectaron en forma significativa ($P > 0.05$) el rendimiento de maíz, que fue de 5.360 y 5.350 kg ha^{-1} de grano respectivamente. Este comportamiento de no respuesta a una mayor fertilización nitrogenada, es un reflejo del contenido de nitratos y amonio en el suelo y del contenido de N en las hojas del maíz, casos en los cuales tampoco se presentaron diferencias significativas bajo los dos niveles de N. Considerando que el maíz requiere de 20 a 25 kg N ha^{-1} por cada tonelada de grano producido, esto se cumplió con la dosis de 100 kg N ha^{-1} . A la no respuesta a 200 kg N ha^{-1} , pudieron contribuir las pérdidas de N por volatilización influenciada por la alta humedad del suelo y la temperatura durante los días posteriores a la fertilización (Bundy and Andraski, 2005).

Disponibilidad de forraje

A los 30 días de hecha la uniformización de las praderas y antes de iniciar el pastoreo definitivo, se realizó una evaluación de disponibilidad de forraje inicial encontrándose que esta fue mayor en el pasto Toledo con 2.870 kg ha^{-1} de forraje seco, siendo significativamente superior ($P < 0.05$) al *B. decumbens* y al Mulato, los cuales tuvieron una producción promedio de 2.000 kg ha^{-1} .





Las plantas de Mulato fueron afectadas por la escama *Antonina graminis* cuyo ataque se inició con la aparición de puntos cloróticos y luego necrosis a lo largo de la hoja, los cuales se fueron ampliando hasta cubrir toda el área foliar. En forma simultánea, en aquellas áreas alta con saturación temporal de humedad en el suelo después de la ocurrencia de fuertes lluvias, las plantas de Mulato fueron afectadas por una enfermedad de la raíz cuyo agente causal fue el hongo *Rhizoctonia* sp. eliminando aproximadamente el 30% de las plantas de pasto Mulato. Por otra parte, las pasturas de *B. decumbens* fueron atacadas por la plaga mióm de los pastos (*Aeneolamia* sp) causando necrosis foliar en un 60% de toda el área de este pasto.

Después de 28 días de descanso de las praderas, se encontró una disponibilidad de forraje en la época lluviosa (mayo a noviembre), de 1.294, 1.061 y 796 kg MS ha⁻¹ para los pastos Toledo, Mulato y *B. decumbens* respectivamente (Tabla 2), siendo significativamente superior ($P < 0.05$) a los valores encontrados en los dos primeros. De igual forma el forraje residual medido al terminar el periodo de ocupación, fue superior en el pasto Toledo (1.053 kg MS ha⁻¹) con respecto a los otros pastos. Sin embargo la cobertura del suelo fue mayor en el pasto Mulato y *B. decumbens* con 93 y 91%, respectivamente, mientras que en el pasto Toledo fue de 74%, debido su crecimiento erecto. Durante la época seca (enero a marzo del 2006) la precipitación presentó un comportamiento atípico porque el mes de enero ha tenido una precipitación promedio de 30 mm en los últimos 32 años, sin embargo, en este año fue de 266 mm beneficiando al desarrollo de las plantas porque no se vieron afectadas por estrés hídrico, como ocurre normalmente en este periodo. Por consiguiente, en la época seca los pastos presentaron una disponibilidad de forraje promedio de 1.040 kg MS ha⁻¹, similar a la de la época lluviosa que fue de 1.050 kg MS ha⁻¹ inclusive fue un tanto superior en los pastos Mulato y *B. decumbens*, considerando que estos pastos fueron afectados por plagas y enfermedades en la época lluviosa. El forraje residual evaluado después del pastoreo, fue de un 46% en la época lluviosa y de un 43% en la época seca, del total producido.

Las dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹ aplicadas en el establecimiento de los pastos en asociación con el maíz, no afectaron significativamente la disponibilidad de forraje ni al forraje residual durante las épocas lluviosa y seca. el forraje en oferta durante la época lluviosa fue de 1.037 kg MS ha⁻¹ y en la época seca de 1.045 kg MS ha⁻¹, mientras que el forraje residual fue de 1.067 y 780 kg MS ha⁻¹ en el mismo orden.

Tabla 2. Disponibilidad de forraje y forraje residual en praderas de *B. decumbens*, Mulato y Toledo bajo pastoreo rotacional (14 días de ocupación y 28 días de descanso). C.I. La Libertad, Piedemonte llanero





Pasto	Forraje disponible (kg MS ha ⁻¹)		Forraje residual (kg MS ha ⁻¹)	
	Lluvias	seca	Lluvias	seca
<i>B. decumbens</i>	796 b	931 a	883 b	671 b
Mulato	1.061 ab	1.151 a	765 b	806 a
Toledo	1.294 a	1.066 a	1.053 a	845 a
cv (%)	25,5	28,1	22,5	21,9

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente (P<0.05) según la prueba de Tukey

Calidad nutritiva del forraje

La calidad nutritiva de los pastos se evaluó a los seis meses después de iniciado el pastoreo, mediante muestreos que simulaban la altura de pastoreo de los animales. Se realizó fraccionamiento de la proteína y de los azúcares no estructurales con el fin de determinar la proporción de cada componente en el tejido vegetal, sin presentarse diferencias significativas entre los tres pastos evaluados ni entre los niveles de N aplicados en su establecimiento en asociación con el maíz (Tabla 3). La proteína cruda promedio fue de 8,3% y en N de rápida solubilidad constituido por el N no proteico (PCA) y la PCB1 o proteína celular, totalizó 39,9%. Esta es la proteína que se solubiliza rápidamente en el rumen y puede ser utilizada como fuente de N por las bacterias para la transformación en proteína bacteriana. Los rangos de la composición de proteína soluble en especies forrajeras tropicales con 35 a 42 días de rebrote, están entre 20 y 50% (Fox *et al.*, 2000). El N asociado a la FDN, corresponde a la proteína ligada a la pared celular (PCB2), estuvo en una proporción de 23% mientras que la proteína de lenta degradabilidad (PCB3) y de degradación en el intestino fue de 32,4%.

Tabla 3. Fraccionamiento de proteínas de los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo establecidos con el cultivo de maíz, a los seis meses de pastoreo. C.I. la Libertad, Piedemonte llanero

Pasto	PC	PCA	PCB1	PCB2	PCB3	PCC
<i>B. decumbens</i>	8,4	21,4	15,9	20,6	37,6	4,4
Mulato	8,6	23,5	15,9	25,6	30,2	4,5
Toledo	7,9	28,2	14,9	23,0	29,1	4,3
Promedio	8,3	24,37	15,57	23,07	32,30	4,40
Nitrógeno:						
ha ⁻¹	8,3	25,3	15,2	22,8	31,9	4,6
ha ⁻¹	8,3	23,4	16,0	23,0	33,0	4,2
Promedio	8,3	24,35	15,6	22,9	32,45	4,4
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey





La proteína que no se degrada (PCC) ni en el rumen ni en el intestino, presentó un contenido promedio de 4,4%. Resultados obtenidos en Brasil y México con pastos tropicales reportan un contenido de PCB2 entre 10 y 20%, mientras que los contenidos de PCB3 fluctuaron entre 11 y 55% y de PCC entre 4 y 10% (Fox *et al.*, 2000).

En las evaluaciones realizadas se encontró una baja proporción de azúcares solubles de estructura simple, cuyo contenido no alcanzó el 1%, en cambio el contenido de carbohidratos de reserva de estructuras más complejas constituidos por el almidón fue de un 65,2%. Los carbohidratos estructurales que constituyen la pared celular o FDN (celulosa, hemicelulosa, lignina, sílice) a la edad de 28 días de los pastos, fue de 64,8% mientras que la FDA (celulosa y lignina) fue de 35,4% (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de carbohidratos estructurales y no estructurales (%) en los pastos *B. decumbens*, Mulato y Toledo. C.I. La Liberad, Piedemonte llanero

Pasto	Carbohidratos no estructurales		Carbohidratos estructurales	
	Azúcares solubles	Almidón	FDN	FDA
<i>B. decumbens</i>	0,93	64,7	62,8	34,8
Mulato	0,94	64,6	65,4	35,1
Toledo	0,98	66,4	66,2	36,3
Significancia	ns	ns	ns	ns
Promedio	0,95	65,2	64,8	35,4

ns: Diferencias no significativas, (P >0.05) Tukey

Los elementos P, K, Mg y S, presentaron mayores contenidos (P<0.05) en las hojas de los pastos *B. decumbens* y Mulato. El P fue de 0,22 y 0,24% respectivamente, en tanto el Toledo fue inferior significativamente (P<0.05) en el contenido de este elemento con 0,18%. Los contenidos de K, Mg y S en el *B. decumbens* y el Mulato fueron muy parecidos con un promedio de 1,28%; 0,30%; y 0,13% respectivamente. El pasto Toledo fue inferior en estos elementos porque en el caso del K fue de 0,9%; del Mg 0,24 y del S 0,09%, Sin embargo estos contenidos cumplieron con los requerimientos del ganado de ceba considerando los niveles sugeridos por McDowell *et al.*, 1994. El Ca es el mineral que se encontró en niveles que no llenan los requerimientos de los bovinos de ceba (0,30%), en los pastos *B. decumbens* y Toledo, en cambio el Mulato con 0,37% fue superior a las exigencias de los animales.

Productividad animal

La evaluación productiva de las praderas y su respuesta en la ganancia de peso animal, se desarrolló en un periodo de 12,4 meses, tiempo durante el cual la mayoría de los animales





legaron a un peso superior a los 400 kg. Las ganancias de peso por animal fueron significativamente superiores en los bovinos que pastorearon en las praderas de Mulato y Toledo con 0,482 y 0,454 g animal día⁻¹, en tanto las ganancias diarias de peso en el *B. decumbens* fue de 0,438 g animal día⁻¹. En los 12,4 meses, el promedio de aumento de peso de cada animal fue de 179,6; 168,8 y 163 kg animal⁻¹ para las praderas de Mulato, Toledo y *B. decumbens* respectivamente. (Tabla 5). No se presentó respuesta alguna a los niveles de N aplicados en el establecimiento de los pastos asociados con maíz, sobre las ganancias de peso de los animales.

La superioridad encontrada en los animales del pasto Mulato se debió al mayor peso inicial y a la mayor ganancia de peso por animal. La carga animal fue superior en el pasto Toledo desde el comienzo hasta el final del pastoreo, ésta inició con un promedio de 2,7 u.a ha⁻¹ (1.080 kg de peso vivo por ha) y terminó con 3,44 u.a ha⁻¹ (1.376 kg de peso vivo por ha).

Tabla 5. Ganancia de peso animal en praderas establecidas en asociación con maíz. C.I. La Libertad, Piedemonte Llanero

Pasto	Ganancia de peso animal	
	Kg animal ⁻¹ periodo de ceba ⁻¹	Kg animal ⁻¹ día ⁻¹
<i>B. decumbens</i>	163,0 b	0,438 b
Mulato	179,6 a	0,482 a
Toledo	168,8 ab	0,454 ab
Nitrógeno:		
ha ⁻¹	170,3 a	0,457 a
ha ⁻¹	169,2 a	0,454 a
cv (%)	12,2	12,2

Promedios con letras diferentes en la misma columna, difieren significativamente (P<0.05) según la prueba de Tukey

La carga animal en los pastos Mulato y *B. decumbens* fue similar durante el periodo de pastoreo con un promedio inicial de 1,45 u.a ha⁻¹ (580 kg de peso vivo por ha) y una carga final promedia de 2,37 u.a ha⁻¹ (948 kg de peso vivo por ha). Esta diferencia de carga a favor del pasto Toledo fue la principal razón de la mayor productividad animal obtenida en estas praderas aunque las ganancias por animal fueron similares a las obtenidas con el pasto Mulato. En el periodo de ceba de 12,4 meses, las praderas de pasto Toledo presentaron una producción promedia de carne de 515 kg ha⁻¹ mientras que en el pasto Mulato y en el *B. decumbens* la producción fue de 338 kg ha⁻¹, por lo tanto en el pasto Toledo se obtuvo 177 kg (52%) más de lo obtenido en los otros pastos durante los 12,4 meses de evaluación.

La productividad obtenida en el pasto Toledo alcanzó un promedio de 505 kg ha⁻¹ año⁻¹ mientras que en el pasto Mulato fue de 335 kg ha⁻¹ año⁻¹ y en el *B. decumbens* de 328 kg ha⁻¹ año⁻¹.





La productividad regional en las praderas de *B. decumbens* en su mayoría en proceso de degradación con invasión de la grama amarga (*Homolepis aturensis*) ha estado entre 85 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹ por la carga animal que fluctúa entre 0,8 y 1,2 u.a ha⁻¹ y las ganancias de peso entre 300 y 350 g animal día⁻¹ (Rincón, 1999, CORPOICA, 2000), por consiguiente, con las ganancias de peso obtenidas con el pasto Toledo, la productividad animal se ha aumentado entre 3 y 6 veces y en las praderas de Mulato y *B. decumbens* entre 2 y 4 veces.

Beneficios económicos

El establecimiento de la asociación de maíz – pastos generó un costo de \$2.232.000 y los ingresos obtenidos por la venta de las 4 t de maíz fueron de \$1.920.000, La diferencia entre estos dos valores fue de \$312.000 que viene a ser el costo real de la renovación de la pradera. Cuando la pradera es renovada mediante las practicas donde no se utiliza maíz, los costos son de \$682.000, por consiguiente en al renovación hecha con maíz el productor estaría ahorrando un 55% de los costos de producción. Los beneficios obtenidos en la producción de carne como respuesta a la disponibilidad de forraje se reflejan en un mayor ingreso obtenido en la pradera renovada con maíz pastos. Por la mayor carga animal en la pradera renovada (3 animal ha⁻¹) los costos de manejo animal y costos financieros son mayores, sin embargo, los ingresos obtenidos por la producción de carne, compensan estos costos y queda un ingreso neto de \$972.000 por ha.

CONCLUSIONES

La renovación de praderas por medio de la asociación maíz – pastos, se constituye en una buena alternativa para ser aplicada por los productores de la región, considerando los beneficios económicos que se obtienen con la producción de grano de maíz y la mayor productividad de carne.

La fertilización con 100 y 200 kg N ha⁻¹ aplicada a la asociación maíz pastos en su fase de establecimiento, no presentó diferencias en producción de grano de maíz, producción de forraje y producción de carne. Al parecer a niveles altos de N aplicados, favorecen las perdidas por volatilización o lixiviación, por las condiciones de alta humedad y temperatura, propias de esta región.

BIBLIOGRAFÍA

- Bundy, L.G. and Andraski, T.W. 2005. Recovery of fertilizer nitrogen in crop residues and cover crops on an irrigated sandy soil. Soil Sci. Soc. Am.J. 69:141-147.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria), 2000. Informe anual de actividades, investigación pecuaria del año 2000 C.I. La Libertad, Villavicencio Meta.



Fox, D.G., Tylutki, T.P., Van Amburgh, M. E., Chase, L.E., Pell, A.N., Overton, T.R., Rasmussen, C.N., Tedeschi, L.O. and Durbal, V.M. 2000. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS versión 4.0. Cornell University, Ithaca NY. 235p.

Kerridge, P. 2001. A historical perspective of agropastoral system research in the savannas of South America. In: Jircas/Embrapa gado de Corte International Joint Workshop on Agropastoral System in South America. T. Kanno and M.C. Macedo, (eds.). Jircas Working Report No. 19. 104 p.

McDowell, L. R., Conrad, J.H., Ellis, G.L. y Iosli J.K. 1994. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Departamento de ciencia animal Centro de Agricultura Tropical Universidad de Florida, Gainesville y Agencia de los Estados Unidos para el desarrollo internacional. 92p

Menezes, J. y Silveira, C.G. 2004. Caracterização do Grau de degradação de pastagens. En: Fertilidade do solo para Pastagens productivas. Anais do 21° simposio sobre anejo da pastagens. Silveira C. G. Moura, C. y Pedroso de Faria V. (eds.). Fundação de estudos Agrarios Luis de Queiroz, FEALQ. Piracicaba, Brasil. pp. 7-32.

Miles, J. W., Do Valle, C.B., Rao, I.M., Euclides, V.P.B. 2004. Brachiariagrasses. Warm season (C4) Grasses, Agronomy, Monograph n° 45. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. U.S.A. pp. 745-783.

Rincón, A. 1999. Degradación y recuperación de praderas en los Llanos orientales de Colombia. Boletín técnico No. 19. CORPOICA-PRONATTA, Villavicencio, Meta. 48 p.

Rippstein, G., Amezcua, E., Escobar, G., Grollier, C. 2001. Condiciones naturales de la sabana. En: Agroecología y Biodiversidad del las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. G. Rippstein, G. Escobar, F. Motta (eds.). CIAT –CIRAD. Cali Colombia. pp. 1-23.

Valencia, R., Pardo, O., Rincón, A., Bueno G. 2006. Corpoica Taluma 5, Variedad de soya para sistemas de producción de la Orinoquia Colombiana. Boletín técnico No. 48. CORPOICA, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Coagro. Villavicencio, Meta, Colombia. 32p.

Vilela, L., Macedo, M. C., Martha Júnior, G. B., Kluthcouski, J. 2003. Benefícios da integração Lavoura - Pecuária. En: Integração Lavoura – Pecuária. EMBRAPA, Arroz e Feijão. Kluthcouski, J., Stone, L.F y Aidar, H. (eds.). San Antonio de Goias, Brasil. pp. 145 – 170.



UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BIOCONTROLADORES Y SUSTANCIAS ORGANICAS PARA EL CONTROL DE *Rhizoctonia Solani*. EN ARROZ

Marcela Quintero Ruiz, Olga Lucia Higuera Acosta*

*Pasante Fedearroz-FNA Microbiología Universidad Javeriana. I.A. Msc. Investigación
Fedearroz-FNA Villavicencio

RESUMEN

El añublo de la vaina en arroz, *Rhizoctonia solani*, constituye una de las enfermedades de mayor importancia en este cultivo. La finalidad del trabajo consistió en evaluar la efectividad de microorganismos con capacidad biocontroladora como *Trichoderma harzianum*; un inoculo bacteriano constituido por *Burkholderia cepacia*, *Azotobacter sp.*, y *Azospirillum sp.*, un producto constituido a partir de ácidos orgánicos (ácido cítrico, palmítico, ascórbico entre otros) y ácido salicílico, como controles químicos se utilizó Validamicina en dos aplicaciones una a los 30 dda para observar la acción como preventivo y una a los 70 dda como curativo. Las pruebas de campo se diseñaron en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se estimó la severidad, el rendimiento y calidad molinera. Los resultados muestran que los tratamientos que presentaron un mejor comportamiento antagónico frente al hongo *Rhizoctonia solani* fueron el control químico como preventivo y *Trichoderma harzianum* en las dos evaluaciones realizadas. Aunque no se presentaron variaciones significativas en los rendimientos de cosecha ni calidad molinera, los tratamientos con inoculo bacteriano y ácidos orgánicos presentan una tendencia a mejorar la calidad molinera del cultivo.

Palabras claves: microorganismos antagónicos, ácidos orgánicos, *Rhizoctonia solani*, rendimiento.

INTRODUCCIÓN

El uso de fungicidas en forma excesiva como manera de intensificar la producción agrícola plantea una grave amenaza para la salud de los mismos agricultores y para el medio ambiente empeorando el problema de las plagas al suscitar resistencia a los plaguicidas y al destruir sus enemigos naturales.

Actualmente el tema de una agricultura más limpia ha tomado gran importancia, obligando a los investigadores a dar nuevas soluciones a los problemas fitosanitarios que afectan el rendimiento de las cosechas, siendo estas soluciones no solo eficientes y económicas sino también contribuyendo a mantener y mejorar cada día las condiciones ambientales de los suelos arroceros.





La enfermedad del añublo de la vaina aparece inadvertidamente al inicio de cultivo, sin embargo los síntomas se evidencian generalmente a partir de la etapa de máximo macollamiento, presentándose en forma de focos o áreas irregulares de aspecto quemado. Los ataques severos destruyen los tallos provocando el volcamiento de las plantas. Sobre las lesiones se forman los esclerocios los cuales forman el inoculo primario y estructura de resistencia debido a que pueden permanecer por varios ciclos de siembra en los residuos vegetales. (Rodríguez *et al*, 2001)

Las plantas poseen diferentes mecanismos de defensa como la producción de una cubierta protectora hasta la promoción de diversas sustancias tóxicas para combatir los fitopatógenos, en esta última se encuentran mecanismos como la inducción de fitoalexinas, sustancias tóxicas que inhiben el desarrollo de las enfermedades deteniendo la diseminación del patógeno desde el sitio de infección hacia el resto de la planta. Estas sustancias tóxicas se activan ante la presencia de elicitores los cuales se diferencian en elicitores naturales o internos y elicitores externos o exoelicitores; estos últimos generalmente son productos que se aplican para promover el incremento de almacenamiento de fitoalexinas para combatir las infecciones de hongos y bacterias.

Hoy por hoy se pueden encontrar en el mercado una serie de productos que tienen como finalidad la producción de fitoalexinas entre estos se puede mencionar los ácidos orgánicos como el ácido ascórbico, palmítico, cítrico, y salicílico entre otros, además de vitaminas y azúcares que contribuyen con el sistema inmunológico de las plantas. (Rodríguez *et al* 2001). Es importante mencionar también que la aplicación de este tipo de productos no representa riesgos para la salud humana ni a nivel ambiental pues son biodegradables y no dejan ningún tipo de residuo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo en campo fue realizado en la granja experimental de Fedearroz ubicada en Santa Rosa Villavicencio. La semilla utilizada fue la línea FL-147. Se realizaron 8 tratamientos con cuatro repeticiones ubicados en 28 parcelas de 2m² cada una; los tratamientos realizados fueron:

Tratamiento 1: Inoculación con microorganismos (*Azotobacter sp*, *Azospirillum sp* y *Burkholderia cepacia*). 30 ddg, 70 ddg

Tratamiento 2: Inoculación con un producto constituido a partir de ácidos orgánicos (ácido cítrico, palmitito) 30 ddg, 70 ddg

Tratamiento 3: Inoculación con ácido salicílico. 30 ddg, 70 ddg

Tratamiento 4: Inoculación con validacina curativo. 30 ddg

Tratamiento 5: Inoculación con validacina preventivo. 70 ddg

Tratamiento 6: Testigo (inoculado con *Rhizoctonia solani*)

Tratamiento 7: Inoculación con *Trichoderma harzianum*. 30 ddg, 70 ddg

Tratamiento 8: Testigo absoluto





Producción del inóculo del hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*: Se realizó un preinóculo utilizando 10 cajas de petri con medio arroz donde se reactivó la cepa de *Rhizoctonia solani* altamente patógena proveniente del laboratorio de fitopatología de arroz del CIAT. Se tomó una caneca con tamo de arroz picado mezclado con melaza y se adicionaron las 10 cajas de petri previamente sembradas con el hongo fitopatógeno, se realizó una mezcla manual y se le adicionó agua, se tapó y se dejó en reposo permitiendo la multiplicación del hongo y formación de esclerocios sobre el sustrato. Cada dos o tres días se le realizó una mezcla durante 12 días.

Inoculación del *Rhizoctonia solani*: Se tomaron aproximadamente 100g del inóculo y se asperjó manualmente sobre cada una de las parcelas, se sacudieron las plantas permitiendo que el inóculo llegara a la parte inferior de estas, asegurando que la infección iniciara de abajo hacia arriba. La inoculación se realizó a los 40 ddd.

Inoculación de sustancias y microorganismos antagonistas de *Rhizoctonia solani*: Para la inoculación del ácido salicílico se disolvió 0.1g de ácido salicílico en 3ml de alcohol, esta solución se mezcló con 1L de agua para ser aplicada en campo; el producto de ácidos orgánicos se aplicó en una concentración de 100ml de producto/ha, el inóculo bacteriano se suministró en una proporción de 500ml/ha, la aplicación de *Trichoderma harzianum* fue de 400g/ha, la dosificación del fungicida químico se realizó bajo las recomendaciones del producto.

Se realizó una aplicación a los 35 ddd para observar el posible efecto preventivo que estas sustancias y microorganismos podían ejercer; y una segunda aplicación a los 70 ddd, para determinar cuál podía ser su efecto curativo.

Para los tratamientos con fungicida químico solo se realizó una aplicación a cada uno; el preventivo a los 35 ddd y para el tratamiento curativo a los 70 ddd.

Parámetros a Evaluar:

Evaluación de severidad: La evaluación de severidad de *Rhizoctonia solani* se realizó a los 65 ddd y 85 ddd. Con la escala de evaluación utilizada por el Laboratorio de Patología de CIAT Palmira.

Rendimiento: Para observar el rendimiento se cosecharon la totalidad de la parcela por cada repetición.

Componentes de calidad Molinera: Esta evaluación se llevó a cabo en el laboratorio de calidad molinera del centro experimental de Fedearroz FNA en Santa Rosa Villavicencio.

Estadística: Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar. Los datos se utilizaron con el paquete estadístico Infostat. Se utilizaron análisis de varianza y comparaciones de medias de tratamiento con la prueba Duncan ($p \leq 0.05$).





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis estadístico utilizando la prueba de comparación de medias de Duncan se encontró que los tratamientos fungicida antibiotico validamicina, el control biológico *Trichoderma harzianum* utilizados como preventivos, y el control absoluto presentan diferencias significativas ($p < 0.0001$) frente a los otros tratamientos, esta evaluación se realizo a los 65 ddg. El control absoluto no fue inoculado con el hongo fitopatógeno, sin embargo este presento lesiones típicas de *Rhizoctonia solani* probablemente por una infestación natural, pues hay que tener en cuenta que estas parcelas presentaban una sobre fertilización del 25% de Nitrógeno y una densidad de siembra de 200 K/ha lo cual contribuye a la proliferación del fitopatógeno. (Anexo análisis estadístico)

El análisis estadístico permite evidenciar que el método de inoculación fue bueno, ya que no se observaron diferencias significativas entre las repeticiones ($p < 0.6012$), indicando que la infección por parte del fitopatógeno *Rhizoctonia solani*, desde el inicio fue homogénea entre repeticiones.

En la evaluación de *Rhizoctonia* a los 85 ddg, (Tabla 1) de acuerdo al análisis estadístico realizado, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.0001$), siendo los tratamientos que presentaron menor severidad el fungicida antibiotico utilizado como preventivo y curativo, y el hongo *Trichoderma harzianum*.

Tabla 1. Resultados severidad Rhizoctonia Solania. EESR 2006

Tratamientos	%Rh65ddg	%Rh85ddg	Rendimiento
	Medias	Medias	Medias
validacin preventivo	10,0	13,8	7389,1
Validacin curativo	20,0	20,0	6751,8
Trichoderema	10,0	22,5	6966,7
control absoluto	12,5	35,0	6885,0
Control	22,5	43,8	6647,0
Citrex	20,0	38,8	6559,3
bacterias	20,0	32,5	6979,8
Ac. Salicilico	20,0	35,0	6199,5
PROBABILIDAD	<0,0001	<0,0001	0,874
CV	15,16	21,98	15,76

Se podría decir que el comportamiento de *Trichoderma harzianum* era de esperarse pues es un hongo conocido por su capacidad antagonista y al ser introducido como preventivo, bloquea la acción de crecimiento e invasión del fitopatógeno, ya que este tiene la velocidad de colonización mayor al del *Rhizoctonia solani*, a demás de producir enzimas micolíticas como las quitinasas, glucanasas, lipasas, y proteasas responsables de la degradación parcial de la pared celular del fitopatógeno en el momento en que este es micoparasitado (Orjuela y Sandon 2001).





Sin embargo una buena estrategia para evitar la presencia de *Rhizoctonia solani* o de otras enfermedades hace referencia a la introducción de los microorganismos beneficios en el tratamiento a la semilla o en algunos casos en el momento en que se realizan enmiendas orgánicas dando ventaja a los microorganismos foráneos frente a los microorganismos autóctonos permitiéndole a estos últimos establecer sus comunidades microbianas y ser mas eficientes en los mecanismos de nutrición y defensa de las plantas (Sturz y Nowak 2000).

La dosis utilizada en este ensayo para los ácidos orgánicos fue la recomendada por la casa comercial, 100ml/ha, sin embargo se han desarrollado diferentes trabajos con dosificaciones de 750ml/ha para el control de *Rhizoctonia solani*, ayudando a contrarrestar la enfermedad, sin embargo, los resultados estuvieron por debajo de los controles químicos (Rodríguez h; et al 2001)

En cuanto al rendimiento, y de acuerdo al análisis estadístico no se presentaron diferencias significativas (p 0.6981), sin embargo el mayor rendimiento se presentó en el tratamiento que menor severidad de la enfermedad tuvo, es decir el tratamiento con fungicida químico preventivo, este comportamiento también se observa para el tratamiento con *Trichoderma harzianum*.

De otro lado, los resultados estadísticos indican que para cada uno de los componentes de calidad molinera no se presentaron diferencias estadísticas significativas, rendimiento de pilada (0.9856), índice de pilada (p 0.1608), % grano partido (p 0.0681), % Yeso (p 0.9182) % de centro blanco (p 0.237). Sin embargo en el % de grano partido se observa que los tratamientos que tuvieron menor severidad de la enfermedad, fueron los que presentaron menor % de grano partido con una diferencia del 6%, como es el caso del tratamiento con fungicida químico preventivo y *Trichoderma harzianum*.

En el % de yeso aunque tampoco se observan diferencias estadísticamente la tendencia muestra que los tratamientos con menor severidad de la enfermedad tienen 3% menos de granos yesados con respecto a los testigos que económicamente puede reflejarse en pérdidas económicas para el agricultor al momento de vender su cosecha.

Con respecto a centro blanco, los tratamientos con microorganismos y ácidos orgánicos que actúan como posibles exoelicitores presentan una tendencia a mejorar este componente de calidad molinera, siendo el inóculo bacteriano, el ácido salicílico, los ácidos orgánicos y el *Trichoderma harzianum* los que presentaron el menor porcentaje de centro blanco frente a los testigos.





CONCLUSIONES

La metodología para la producción del inoculo fue buena, los sustratos utilizados fueron fácilmente asimilados por el patógeno permitiendo rápida y fácil multiplicación de biomasa fungia.

La inoculación, aunque no presento una severidad del 100%, fue buena, viéndose reflejada en la homogeneidad de infección entre las repeticiones de cada tratamiento.

El fungicida químico validamicida utilizado como preventivo y hongo *Trichoderma harziamun* presentaron un mejor comportamiento antagonico frente al hongo *Rhizoctonia solani*.

Tanto el inoculo bacteriano como los ácidos orgánicos pueden contribuir a mejorar la calidad molinera.

El hongo *Trichoderma* supera otro tipo de sustancias inhibitorias fúngicas orgánicas como el ácido salicílico y el complejo de ácidos orgánicos.

Puede ser posible que el incremento de las dosis tanto de ácido salicílico, complejo de ácidos orgánicos presentar un mejor efecto antagonico frente al patógeno *Rhizoctonia solani*.

BIBLIOGRAFÍA

BOLAÑO, R.; A. VARGAS.; I. ROJAS.; S. PEINADO.; J. LUQUEZ. 2006. Efectividad de los microorganismos antagonicos *Trchoderma* spp y *Burkholderia cepacia*, para el control del añublo de la vaina del arroz causada por *Rhizoctonia solani kuhn* en el municipio de Valledupar, Cesar. Ventana al campo. May.

COMPANT, S.; B. DUFFY.; J. NOWAK.; C. CLEMENT y E.A. BARKA. 2005 Use de plan Grow-Promoting Bacteria for Biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied and Environmental Microbiology. 71 (9):4951-4959.

LOPEZ, T. R.; RODRIGUEZ. V.; GUTIERREZ. M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. Terra. 16:1.

ORJUELA, P; A.. SANDON. 2001. Evaluación de cepas antagonicas de Actinomicetos y de *Trichoderma* sp. Aisladas a partir de suelos del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) para el control de *Rhizoctonia solani*. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana.

RODRÍGUEZ, H.; R. CARDONA.; L. ARTEAGA. Y L. ALEMAN. 2001. Control químico del añublo de la vaina causado por *Rhizoctonia solani* en arroz. Bioagro. Vol 13.

STURZ, A.V.; J. NOWAK. 2000. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations whit crops. Applied Soil ecology. 15 (2000): 183-190





DINÁMICA DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UNIDADES DE EXPLOTACIÓN FRUTÍCOLA, DEFINIDAS A PARTIR DE ZONAS AGRO ECOLÓGICAS.

Luis Fernando Limas Cano¹
Luis Joel Martínez²

RESUMEN

La evaluación en la dinámica de resistencia a la penetración (RP) en unidades de explotación frutícola en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá, permitió considerar que los suelos de textura franca arcillosa, el bajo alto contenido de materia orgánica, limitan el crecimiento y desarrollo óptimo del frutal; estas condiciones agro ecológicas sobre la fisiología de la planta determina sin duda alguna el crecimiento y desarrollo óptimo de la misma. De manera que todos y cada una de los diferentes factores de clima y suelo que componen el medio ecológico de una región pueden condicionar un cultivo, limitando o haciéndolo rentable. Mediante técnicas de fotointerpretación, se clasificaron zonas agro ecológicas y mediante la cartografía básica y uso de un GPS se georeferenciaron unidades de explotación frutícola, definiendo en ellas, mediante el uso del penetrógrafo de cono, la resistencia a la penetración generada con un cono de diámetro de 1 cm²; el cual semeja el grosor de una raíz funcional en este tipo de frutales, con lo cual se busco establecer con la definición de la profundidad efectiva junto con la prueba de la resistencia a la penetración, cual de los dos criterios define la relación de la zona de estudio y la capacidad de mantener o establecer materiales para su explotación. Teniendo como resultado capas imperantes a 10 cms en zonas agro ecológicas con pendientes del 16% con una RP del orden del 1.5 MPa y con pendientes superiores por el orden de 2.2 MPa en los primeros 5 cms del horizonte superficial. Este estudio permitió definir en parte el manejo de los sistemas de producción y la aptitud de uso de estos suelos con fines productivos para la explotación de frutales de hoja caduca, con base a la información establecida, utilizada y la relación que existe inicialmente en uso de estos suelos, se define el manejo de estos dentro de las ZAE previamente establecidas.

Palabras claves: Dinámica, Resistencia a la Penetración, Fotointerpretación, ZAE, Caducifolios.

Ingeniero Agrónomo, Candidato a Maestría en Geomática, Docente – Investigador. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. E-mail: lilimas@udca.edu.co.

Agrólogo, M Sc. Geomática, Docente – Investigador. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. E-mail: ljmartinezm@unal.edu.co.



INTRODUCCIÓN

El presente documento es parte del proyecto: "Evaluación en la Calidad de las Tierras para cultivo de frutales en Cundinamarca y Boyacá", liderado por el área de geomática de la Universidad Nacional de Colombia y el área de suelos de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. El desarrollo de esta investigación para evaluar la aptitud de las tierras para frutales en Boyacá basado en conceptos de análisis espacial, integro criterios e indicadores de calidad de tierras, junto con tecnologías geomáticas y que sirvieran como apoyo al proceso de toma de decisiones sobre uso, manejo, conservación y recuperación de las tierras. Analizando la distribución espacial de los sistemas productivos de frutales en Nuevo Colon – Boyacá, definidas en cuatro zonas agro ecológicas, se les caracterizo y estableció las relaciones con las características biofísicas y ambientales, que tiene como fin modelar la variabilidad espacial de las propiedades físicas específicamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración, relacionadas con la textura, el contenido de materia orgánica. Las propiedades físicas mencionadas determinan el movimiento y retención de agua; así mismo, mantienen disponibles los elementos nutritivos para un adecuado desarrollo de la vida en el suelo. Este último es un cuerpo natural formado por mezclas de partículas orgánicas e inorgánicas, que como recurso natural ha sido objeto de estudio durante muchos años, el cual es susceptible a los continuos procesos de labranza, sobrepastoreo y obras de infraestructura inadecuadas, que pueden deteriorarlo y erosionarlo (Becerra et al, 2005).

Numerosos trabajos demuestran que la resistencia a la penetración, específicamente suelos bajo explotación frutícola, afectan tanto la disponibilidad de agua y nutrientes para los árboles, como su desarrollo total y la calidad final de la fruta. THREADGILL, en 1982, indico que valores superiores a 1,5 MPa comprometen o dificultan el normal desarrollo radicular y por encima de 2,5 MPa el crecimiento puede detenerse. Cuando los suelos son cultivados por varios y repetidos años con coberturas verdes, necesariamente el aumento en el nivel de materia orgánica mejora la estabilidad estructural y la infiltración, aunque dichos efectos pueden no ser visualizados en los primeros dos años de implantación (MOORE et al., 1989). El parámetro más empleado para cuantificar la compactación, es la resistencia a la penetración (RP). Nuñez y Valdez en 1994, estudiando el efecto de las condiciones del suelo sobre la productividad en cítricos, encuentran como condición edáfica en zonas de baja producción, una RP que se ubicó en 1528 kPa por encima de aquel medido en las zonas de alta producción. ABERCROMBIE en 1990, encontró resultados similares en un huerto de aguacates, demostrando correlaciones entre resistencia a la penetración, vigor de las plantas y crecimiento radicular. Los valores máximos de presiones que pueden ejercer las raíces para desarrollarse satisfactoriamente varían entre 0,9 y 1,5 MPa, Bowen et al (1994), aunque los mismos autores resaltan que inferiores valores de resistencia a la penetración pueden limitar significativamente la extensión radicular. La resistencia o impedancia mecánica del suelo (RP), medida con un penetrómetro, ha sido





correlacionada con penetración de raíces. Taylor y Gardner (1963) y Taylor et al. (1966) demostraron que esta relación fue la misma para un amplio rango de tipos de suelo, contenidos de humedad y densidad aparente, lo cual sugiere, que se trata de una relación fundamental. Si bien la resistencia a la penetración de un cono es una determinación empírica, igualmente integra muchos factores, no todos, los factores regulan la resistencia mecánica del suelo.

Diversos trabajos de investigación, han prestado considerable atención a los valores críticos de RP por encima de los cuales no se produce crecimiento radicular. Considerando una amplia gama de tipos de suelo, especies vegetales y técnicas experimentales, los valores críticos de RP han variado entre 1,0 y 5,6 MPa (Bengough y Mullins, 1991; Ehlers et al., 1983; Gerard et al., 1982; Martino y Shaykewich, 1994). Esta amplia variación sugiere que la RP medida con un penetrómetro, no contempla todos los factores físicos del suelo que afectan el desarrollo de las raíces. Los valores de RP críticos, mencionados anteriormente, son hasta seis veces mayores que las máximas presiones que las raíces pueden aplicar. Whiteley et al. (1981) utilizaron penetrómetros de forma y tamaño similares a los de las raíces, y determinaron, que la RP crítica fue entre tres y cinco veces mayor que la presión de las raíces. La diferencia puede ser atribuida a la capacidad de las raíces para contorsionarse cuando encuentran obstáculos (Whiteley y Dexter, 1983), a la reducida fricción entre raíz y suelo (Cockroft et al., 1969) y a la capacidad de las raíces para ejercer presiones radiales. Por debajo del nivel crítico, la tasa de elongación de las raíces aumenta exponencialmente en la medida en que la RP disminuye. El efecto depresivo de la RP se manifiesta aun a muy bajos niveles de resistencia (Bengough y Mullins, 1991), y parece haber una gran variabilidad en la sensibilidad de las distintas especies a la RP.

La variabilidad de los registros de RP obedecen, en primer lugar a la heterogeneidad provocada en el terreno por las operaciones de cultivo, principalmente a causa del laboreo y las condiciones extremas a la cosecha, variabilidad que fue registrada por Cerana et al. (2002) y Pozzolo et al. (2001). Igualmente reflejan la heterogénea distribución espacial de la humedad. En condiciones de suelo con bajo contenido hídrico, la heterogeneidad de las condiciones de humedad se agrega la presencia de grietas, característica de los suelos Vertisoles, dando como consecuencia el aumento del rango de amplitud de las determinaciones. En el sector de mayor resistencia, encontrado a los 20 cm de profundidad, el promedio de RP alcanza los 2 MPa, con un rango de variación que oscila entre un mínimo de 1,2 MPa y un máximo de 2,9 MPa con un desvío estándar de 0,5. La presión de turgencia disminuye a medida que el suelo pierde humedad, y por lo general cuando esto ocurre, la resistencia mecánica a la penetración aumenta. Es decir, el contenido hídrico del suelo influye sobre los valores de resistencia mecánica a la penetración (RMP) y mediciones que no contemplen la correspondencia con los estados de humedad pueden resultar inútiles, Pozzolo et al. (2001).





ZONA DE ESTUDIO.

El área bajo estudio, presenta unidades de explotación frutícola, que por ubicación cuentan con su propia identidad, especialmente por su definición "Red de Cadena de Frío y Centro de Estudios para Cultivos Caducifolios", para el manejo de las limitantes propias de los cultivos, al igual que la utilización de técnicas agronómicas concernientes en la producción. Nuevo Colón, se localiza a los 05° 21' 45" N y los 73° 27' 52" W del centro – occidente del departamento de Boyacá; cubre una extensión de 45 kilómetros cuadrados. La cabecera municipal se encuentra a una altura de 2.400 m.s.n.m., municipio con potencialidades agrícolas tradicionales como: maíz y papa, pero su principal reconocimiento es por la producción frutícola de peras, duraznos, ciruelas, manzanas y curubas. Hace parte de la Provincia de Marqués, de la que también forman parte los municipios de Boyacá, Ciénega, Jenesano, Ramiriquí, Rondón, Tibana, Turmeque, Umbita, Ventaquemada y Viracacha. El clima del municipio cuenta con un régimen unimodal, con precipitaciones promedio de 900 mm/año; la temperatura oscila entre los 12.8° C y los 15.2° C. En la zona alta, en ocasiones se presentan temperaturas bajas, la humedad relativa oscila entre 65% y 90%, posee 16 veredas, en un total de 5.059 Ha.

MATERIALES Y METODOS.

Con base a la cartografía básica de la región, la cual se encuentra a escala 1:25.000 (plancha 191 – III – C), aerofotografías del municipio de Nuevo Colon a escala 1: 18.000, que sobre las mismas se definieron IV zonas agroecológicas, representadas en el reconocimiento de campo y resultado de la fotointerpretación según el conocimiento de la región, resultado de estas dos iniciales etapas se seleccionaron los sitios a muestrear. El muestreo escogido fue de tipo preferencial, con selección de las parcelas al azar. La Caracterización del Lote o Sitio, integro unidades de producción que estuvieran a diferentes gradientes altitudinales, que son directamente relacionadas con cambios en la temperatura, humedad relativa y brillo solar, dentro cada unidad de paisaje se ubicaron tres lotes en promedio, siempre y cuando mantuvieran las siguientes condiciones: diferencia altitudinal, fueran parte de la unidad de paisaje, tuvieran frutales caducifolios. De acuerdo a lo anterior se buscaba que fueran unidades de muestreo representativas y equidistantes una de otra, con el fin de buscar la integralidad de la unidad de paisaje. La georeferenciación, se realizo mediante la utilización de un GPS, que con base a la cartografía básica, definición de las unidades de paisaje, se tomaron las coordenadas respectivas de puntos representativos de la zona de estudio. Las unidades de producción frutícola o unidades de muestreo, fueron igualmente georeferenciadas en los mismos puntos en donde se realizo, la descripción de suelos y los limites de la unidad de producción (parcela).

La resistencia a la penetración (RP), se tomo de acuerdo a los aspectos topográficos del predio, por medio del penetrógrafo cono, el cual identifica la restricción del crecimiento del





sistema radicular (frutales de hoja caduca), plasmada en una cartulina en donde en uno de sus ejes identifica a que profundidad en centímetros se marca la resistencia sobre la fuerza ejercida, para este caso con un cono de diámetro de 1 cm²; semejando el grosor de una raíz funcional. La lectura se tomo teniendo en cuenta la pendiente del terreno y variabilidad, en donde cada vez que mostraban cambios, se determinaba la resistencia a la penetración y de igual forma la dirección de la misma pendiente, el número de medidas dependió de la variabilidad en el campo. En general, cuanto mayor fue la variabilidad mayor fueron el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo a la escala de lote, esta prueba se realiza a lo largo de una línea de siembra y en la parte intermedia de la zona de plateo de la planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El Suelo del municipio de Nuevo Colon esta destinado a usos agrícolas, pecuarios, forestales, mineros y actividades análogas. El 80% del total del área de municipio se centra en la producción de frutales de hoja caduca resaltando los principales como la pera, la manzana, la ciruela y el durazno, un 20 % en explotaciones ganaderas y mineras, especialmente en las veredas Potreros, Tejar Abajo y Carbonera, respectivamente. La resistencia a la penetración debe analizarse en conjunto con otras variables definidas en el suelo como la textura, la densidad aparente, el porcentaje de humedad retenida en suelo, el contenido de materia orgánica, la pendiente, al igual que la cuota altitudinal de las diferentes parcelas bajo estudio (tabla No 01).

FINCA	TEXT	Pendiente %	Altimetría	% Humedad	D Aparente g/cm ³	MO %
El Vergel	Ar	17	2.727	28.05	1.32	4.72
El Manzano	Ar	23	2.624	31.09	1.08	4.04
Manzanares	ArA	18	2.585	27.44	1.28	3.51
El Roble	FArA	16	2.380	32.92	1.2	2.96
Maracaibo	Ar	16	2.517	24.58	1.35	7.17
La Iglesia	FArA	16	2.515	20.47	1.38	2.38
Casa Vieja	FArA	12	2.428	16.04	1.40	2.56
Potreros	FArA	38	2.424	14.23	1.13	3.24
Lejanias	FArA	14	2.323	25.12	1.38	4.72
El Molino	FAr	28	2.322	22.82	1.04	3.79
Buena Vista	F	21	2.710	45.88	1.00	12.04
	FAr	32	2.430	30.9	1.14	6.11

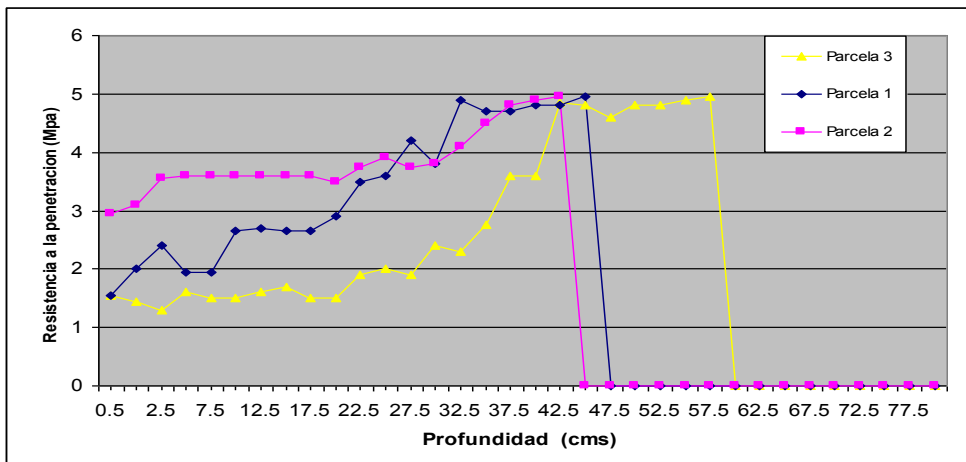
En todas las parcelas estudiadas presentaron un grado textural entre arcilloso a franco arcilloso determinando con principal predominante la fracción arcillosa, este tipo de fracción genera un alta cohesión, lo que define mayor resistencia mecánica en cuanto a la formación de agregados con una baja separabilidad cuando esta pierde humedad, especialmente en épocas secas. Dentro de la zona agro ecológica de la parte baja del municipio (Sur – Oriental), las fincas presentan un porcentaje representativo de Arenas





alrededor del 47 %, presentando una clase textural equivalente a suelos Franco Arcillosos, esta zona tiene como principal característica poseer unidades productivas con una altimetría sobre 2.400 m.s.n.m, registrando temperaturas alrededor de los 13° C y las cuales poseen en esencia cultivos de Feijoa. Estas mismas unidades dentro de la zona agro ecológica en mención marca una RP de 1.62 MPa en promedio, tan solo en los primeros 20 cms de profundidad; las tres parcelas evaluadas en esta región se representan en la figura No 01, integrando una media de las cuatro lecturas tomadas por unidad productiva, estas unidades son las que marcan mayor impedancia a partir de los 10 centímetros con valores de 2.5 MPa y superiores a 3 MPa a partir de los 20 cms, lo que indica que se presenta una fuerte compactación en los primeros centímetros del perfil del suelo. En la Figura 1, puede observarse que en la tercer parcela la compactación es menos superficial los valores de resistencia a la penetración son mas bajos en los primeros centímetros del perfil (parcela 3). Pero para la segunda parcela esta resistencia tan solo en la superficie del perfil es drástica, alcanzando prácticamente el límite máximo de fuerza del penetrómetro, equivalente a 50 kg de fuerza. Lo que ocasiona importantes limitantes para el anclaje de la planta y sus desarrollo normal, al igual que el establecimiento de coberturas, específicamente para frutales caducifolios, la Feijoa que es el material que predomina en estas parcelas se presenta un crecimiento errático sabiendo de antemano que son plantaciones de oscilan entre los 5 años de establecidas, con una altura de planta de 1,67 metros, a esta edad su altura oscila entre los 2.50 metros normalmente, la explicación básica se fundamenta en que tan grande es el dosel de la planta, como la capacidad que tiene el sistema radicular para profundizar, si se tiene en cuenta que su máxima RP esta a los 32.5 cms con 4.9 MPa, 42.5 cms con 4.95 MPa y 57.5 cms 4.95 MPa respectivamente, figura No 01.

Figura No 01. Dinámica en la resistencia a la penetración de tres parcelas de una zona Agro ecológica del Municipio de Nuevo Colon – Boyacá.

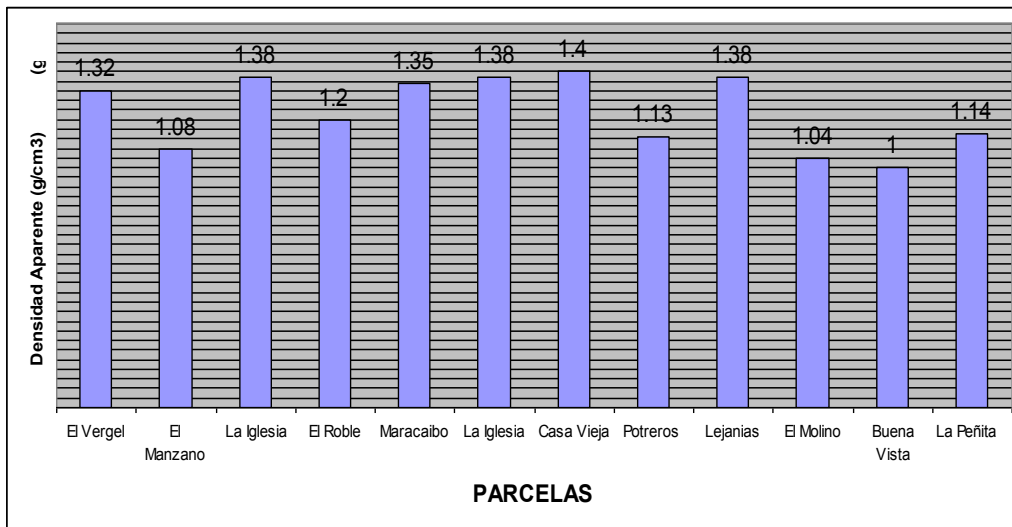




Al tener esta compactación tan superficial es difícil para la planta tener funciones en la toma de nutrientes y agua, mas aun teniendo en cuenta que esta zona presenta una fracción arenosa y no siendo tan drástico como en otras zonas agroecológicas del municipio de Nuevo Colón.

El uso de estas metodologías para determinar horizontes compactos en regiones tan extensas tiene funcionalidad con el uso del penetrómetro, específicamente cuando se tiene este tipo de grados texturales como la fracción arcillosa. En el municipio de Nuevo Colon, en la zona agro ecológica tres costado centro – oriental de la región se encuentran las parcelas con mas alto grado de pendiente 28 % y 32% (Lejanias, El Molino y La Peñita) que corresponden a la vereda Fiota y Carbonera y en donde estas dos ultimas presentan una textura Franco Arcillosa, pero no es una desventaja para el crecimiento en este tipo de cultivos, a nivel de valores de Densidad Aparente (g/cm³), figura No 02, los cuales son los adecuados con respecto a las demás unidades productivas de Nuevo Colon, por tanto a mayor grado en la pendiente, menor la densidad aparente.

Figura No 02. Valores de Densidad Aparente g/cm³ de las parcelas muestreadas en cuatro zonas Agro ecológicas del Municipio de Nuevo Colon – Boyacá.



Si se analiza de igual forma la RP de la parcela El Molino y La Penita se registra una importante impedancia en los primeros centímetros registrando valores de 1.8 y 2.4 MPa respectivamente, en promedio la RP de estas parcelas en los primeros 15 cms arrojan valores superiores a 2 MPa (figura No 03), estos resultados serían limitantes del crecimiento radicular en la planta y acentuándose mas a partir de los 20 cms con valores superiores a 2.5 MPa, alcanzando valores definitivos e imperantes de 4.1 MPa tan solo a los 22.5 cms de profundidad para la parcela el Molino, la característica principal de esta unidad productiva es la presencia de afloramientos rocosos, los cuales se pueden relacionar por el grado de la pendiente del 28%. Debido a que las altas resistencias

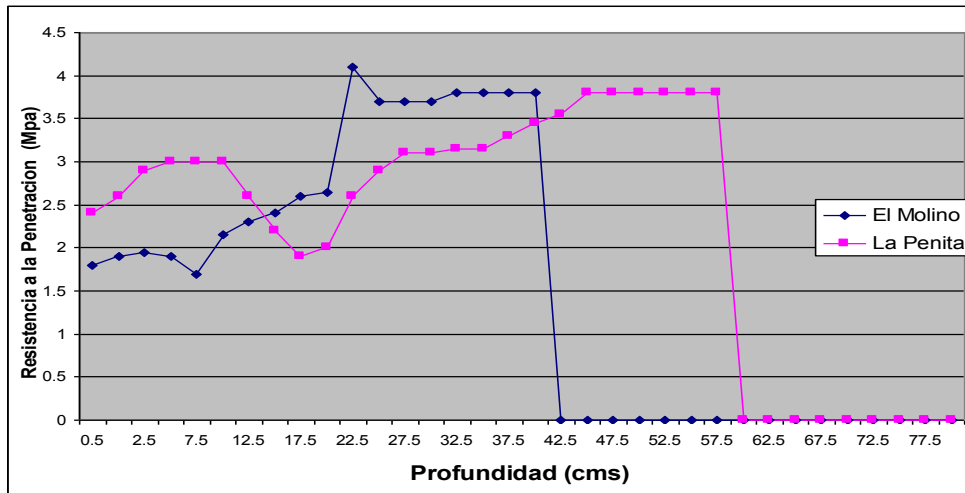




mecánicas encontradas podrían deberse a la presencia de piedras, (compactación muy superficial) y la presencia de plantas con limitaciones productivas la capacidad de uso de estos suelos se determina no por su componente ambiental, sino por el edáfico con fines mineros, debido a la presencia de carbón o la implantación de cultivos transitorios de poca longitud de raíces, pastos de corte, entre otros.

En la figura No 03, la parcela La Penita, aunque esta registra la RP mas alta de todas las parcelas bajo estudio en los primeros 5 cms, equivalente a 2.4 MPa, esta no muestra porosidad estructural visible y tiene muy escasa exploración de raíces. Lo que corrobora el estudio de León en 1995, en donde se afirma que la penetrometría presenta algunas ventajas respecto a otros métodos que implican un mayor disturbio del suelo, como es el caso de las observaciones morfológicas del perfil, definiendo así que la realización de estos estudios son una herramienta de exploración rápida de la estructura del suelo. Si se tiene en cuenta que el grado de la pendiente se hace mayor al igual que el valor de la Densidad Aparente para La Penita, los valores de RP sigue siendo un limitante a mayor profundidad pero no tan drástica en comparación con El Molino, alcanzando una total impedancia de 3.8 MPa a tan solo 45 cms de profundidad, figura 2 y 3.

Figura No 3. Dinámica en la resistencia a la penetración de las parcelas El Molino y La Penita de la una zona Agro ecológica oriental del Municipio de Nuevo Colon – Boyacá.



Las dos primeras zonas agro ecológicas correspondientes a la región norte y centro del municipio de Nuevo Colon son las regiones mas homogéneas y representativas de la región en cuanto a la explotación de frutales de hoja caduca, que corresponde a las veredas de llano grande, centro rural y jabonera, esta primera es la zona en donde se presenta el 65 % de la producción de este tipo de fruta en la Red de cadena de frío, registrando igualmente unidades de producción con cuotas altitudinales altas correspondiente a la parcela El Vergel con 2.727 m.s.n.m, una retención de humedad del

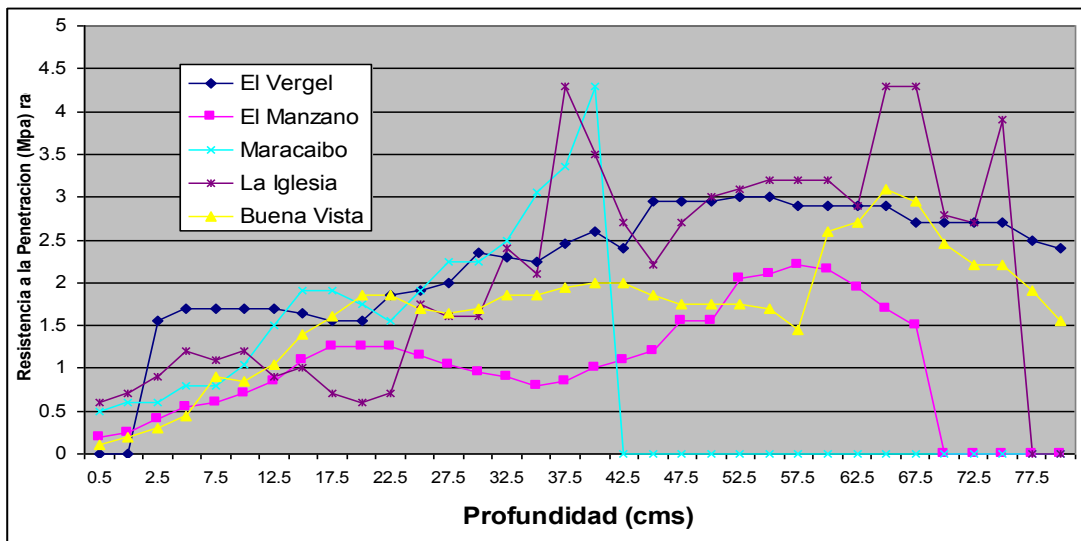




28.05 % y una densidad aparente del 1.32 g/cm³. El Vergel es la unidad de producción que presenta el mayor valor de Materia Orgánica, 4.72 % sin embargo sigue siendo bajo, para las necesidades nutricionales para cualquier tipo de planta, pero presenta la mayor retención hídrica, siendo la parcela de mayor retención de humedad bajo estudio (tabla No 01), se dice que la materia orgánica es fundamental para la retención de agua, al igual que es cómodo para la toma de nutrientes, lo que confirma este trabajo pues a pesar que el contenido de MO es bajo su valor es representativo en esta unidad en cuanto a la retención de humedad, al igual que es la parcela que presenta una RP media con un valor de 1.6 MPa para los primeros 20 cms y de 2.4 MPa en los siguientes 50 cms, este último siendo un valor impedante drástico, figura No 04. Esta parcela se encuentra bajo cultivo de durazno y manzanos con edades que oscilan para los primeros de 12 años y 24 años de edad, plantación que presenta constante actividad agrícola, como deshierbes, fertilización, plateo, entre otras.

De acuerdo a la figura No 04, la parcela del Manzano presenta una textura arcillosa y reporta un valor promedio de RP 1.0 MPa hasta los 45 cms de profundidad, alcanzando 2.2 MPa a los 57.5 cms de profundidad, dicha resistencia vuelve a caer hasta una RP 1.5 MPa a una profundidad de 70 cms, esta dinámica en la resistencia marcada en esta parcela son resistencias ideales especialmente para raíces funcionales en frutales caducifolios ya que a pesar que es una plantación con edades promedio de 23 años, no de muestra limitantes productivas, únicamente por periodos fenológicos en la planta.

Figura No 04. Dinámica en la resistencia a la penetración de las parcelas que integran las zonas Agro ecológicas más representativas (nororiental y centro) del Municipio de Nuevo Colon – Boyacá.





La parcela Maracaibo detalla características de los suelos químicamente elevados y justos para los frutales establecidos en ellos, esta apreciación es con base a los resultados del análisis de suelo, ya que de igual forma a estas parcelas se les determinó este parámetro, con altos contenidos de materia orgánica (tabla No 01), fósforo y potasio. La retención hídrica varió en función al tipo de textura (arcillosa) con compactación muy superficial a los 12 cms equivalente a 1.7 y 1.9 MPa a los 15 cms, figura No 04, siendo inadecuadas para el crecimiento de las raíces, pues la compactación constituye un impedimento mecánico y de esta forma limita la capacidad que tiene el suelo para la reserva de agua y de nutrientes necesarios para la planta, es por eso donde los valores nutricionales son altos, debido a que no hay una fácil mineralización de estos nutrientes. Esta parcela marca su máxima impedancia a los 40 cms con un valor 4.3 MPa lo que significa que es limitante esta compactación para el establecimiento y normal de desarrollo de cualquier frutal, figura No 04. La parcela La Iglesia, presenta un comportamiento muy similar sin embargo esta marca su máxima compactación a los 37.5 cms con una RP de 4.3 MPa, por ende, tanto Maracaibo como La Iglesia, presentan una misma pendiente equivalente a 16% y están sobre la misma cuota altimétrica 2.517 y 2.515 m.s.n.m respectivamente (tabla No 01). Una explicación a esto se fundamenta a que la zona agro ecológica en común para las dos parcelas, definidas por una misma característica a nivel de pendiente y grado de pendiente, como la fracción arcillosa presente en ambas marcaría un mismo comportamiento en la resistencia a la penetración concordando con grados impedantes a una misma profundidad. En este trabajo se ha demostrado la utilidad del penetrómetro para localizar de manera muy precisa estratos compactados dentro unidades de producción específicamente en cultivos perennes o unidades de producción muy homogéneas y en busca de fundamentar la aptitud de las tierras con diferentes fines caso de estudio, frutales para Boyacá.

CONCLUSIONES

La resistencia a la penetración debe analizarse en conjunto con otras variables definidas en el suelo como la textura, la densidad aparente, el porcentaje de humedad retenida, el contenido de materia orgánica, la pendiente, al igual que la cuota altitudinal de las unidades de producción.

La fracción arcillosa, genera una alta cohesión, lo que define mayor resistencia mecánica en cuanto a la formación de agregados con una baja separabilidad, generando impedancias drásticas para el desarrollo normal del sistema radicular en las plantas.

El uso de estas metodologías para determinar horizontes compactos en regiones tan extensas tiene funcionalidad con el uso del penetrómetro, específicamente cuando se tiene este tipo de grados texturales como la fracción arcillosa.

La media de RP en el municipio de Nuevo Colon – Boyacá, tiene un valor de 1.6 MPa para



los primeros 20 cms y de 2.4 MPa en los siguientes 50 cms, lo que define una total limitante en la compactación de suelos tanto para frutales establecidos, como para futuros cultivos.

La retención hídrica varió en función al tipo de textura (arcillosa) con compactación muy superficial a los 12 cms equivalente a 1.7 y 1.9 MPa a los 15 cms, siendo inadecuadas para el crecimiento de las raíces, pues la compactación constituye un impedimento mecánico y de esta forma limita la capacidad que tiene el suelo para la reserva de agua y de nutrimentos necesarios para la planta.

BIBLIOGRAFIA.

ABERCROMBIE, R.A. 1990. Root distribution of avocado trees on a sandy loam soil as affected by soil compaction. *Acta Horticulturae*, The Hague, v.275, p.505-12.

MOORE, D.; SINGER, M.; OLSON, W. 1989. Improving orchard soil structure and water penetration. *California Agricultural*, Berkeley, v.43, n.5, p.7-9.

BECERRA M, Carolina, MADERO M., Edgar, HERRERA G, Oscar *et al*. Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de ciat, Colombia. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr*, jul./dic. 2005, vol.8, no. 16, p.33-37. ISSN 1561-0888.

NUÑEZ MORENO, J.H.; VALDEZ GASCÓN, B. 1994. Effect of soil condition on orange trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.9-10, p.1747-53.

BOWEN H.D.; GARNER, T.H.; VAUGHN, D.H. 1982. Advances in soil-plant dynamics. In: *Soil Science Society of America Journal*, Madison. *Advances in soil dynamics*. St. Joseph: ASAE. p.255-80.

THREADGILL, E.D. 1982. Residual tillage effects as determined by cone index. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.25, n.4, p.859-963, 867.

BENGOUGH, A., MULLINS, C. 1991. Penetrometer resistance, root penetration and root elongation rate in two sandy loam soils. *Pl. Soil* 131:59-66

MARTINO, D., SHAYKEWICH, C. 1994. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74:193-200.

TAYLOR H. ROBERSON, G., PARKER, J. 1966. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.* 102:18-22.

WHITELEY, G., UTOMO, W., DEXTER, R. 1981. A comparison of penetrometer pressures and the pressures exerted by roots. *Pl. Soil* 61:351-364

POZZOLO, O.; WILSON, M.; DE BATTISTA, J.J. y J. CERANA. 2001. El tránsito de maquinaria en suelos inundados. Efectos sobre la impedancia en el perfil edáfico". IV Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Chillán, Chile.

WILSON, M.; VALENZUELA, O.; PILATTI, M.A. y O. FELLI. 2000. Relación entre el contenido hídrico y la resistencia a la penetración en un suelo con características vérticas". *Revista Facultad de Agronomía UBA*. 20 (1): 69-73

NUÑEZ MORENO, J.H.; VALDEZ GASCÓN, B. 1994. Effect of soil condition on orange trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.25, n.9-10, p.1747-53.



EVALUACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE LAS HELADAS QUE AFECTAN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LOS MUNICIPIOS DE SIACHOQUE, TOCA Y ÛMBITA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ¹

Alvaro E. Alvarado Gaona²
Carmenza Pérez Fagua³

RESUMEN

El cultivo de papa depende de factores atmosféricos en donde las heladas se convierten en un factor limitante para su producción, esto ha ocasionado que los agricultores por expandir su frontera agrícola opten por cultivar en zonas con alturas superiores a 3000 m.s.n.m, a esto se suma el daño irreversible a los sistemas de páramo en donde la aplicación exagerada de agroquímicos y el sistema de monocultivo hacen que exista una degradación de los suelos, reflejando una disminución en la capacidad productiva de los mismos. Por esta razón el Centro Virtual de la Cadena Agroalimentaria de la papa (CEVIPAPA) en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia realizó el proyecto denominado **“Evaluación de las técnicas de manejo agronómico para la mitigación de los efectos de las heladas en el cultivo de la papa – aproximación al reconocimiento de áreas susceptibles a heladas en el departamento de Boyacá”**. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un total de 100 encuestas por cada municipio, este análisis fue de tipo descriptivo, se tuvo en cuenta la clasificación de los agricultores en grandes (más de 10 ha), medianos (entre 3 y 10 ha) y pequeños (menos de 3 ha), meses de mayor incidencia de heladas, áreas más afectadas. Los aspectos tales como área, época y fecha de mayor frecuencia de heladas, entre otros, se realizó con ayuda del censo de la papa 2005 (DANE, 2005), con base en ellos se detectaron las zonas de mayor producción. El 91% de los productores del municipio de Siachoque son pequeños agricultores, el 98% del área sembrada en papa en este municipio es susceptible a heladas, el 2% restante de área se encuentra ubicada en zona de ladera y páramo, las prácticas realizadas por los agricultores para el control de las heladas son la utilización de quemadores (42%) y riego (16%) y las realizadas para mitigar los efectos de las heladas refieren a la aplicación de agroquímicos tales como urea, melaza, nitrato de potasio, fertilizantes foliares, fungicidas de tipo preventivo. En el municipio de Toca el 84 % de los agricultores encuestados son pequeños agricultores (1-3 ha), al igual que los agricultores de Siachoque para el control de las heladas utilizaban quemadores (30 %) y riego (12%); y para su mitigación utilizan urea,

¹Investigación realizada dentro del proyecto “EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MANEJO AGRONÓMICO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS HELADAS EN EL CULTIVO DE LA PAPA – APROXIMACIÓN AL RECONOCIMIENTO DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A HELADAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ” en convenio con Centro virtual de Investigación de la cadena agroalimentaria de la papa – CEVIPAPA y la facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.

² Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC. Tunja. e-mail: aalvarado@tunja.uptc.edu.co

³Ingeniero Agrónomo. Joven Investigador Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales. UPTC. Tunja. e-mail: capefa23@latinmail.com





oxicloruro de cobre, melaza. En el municipio de Úmbita predomina el minifundio, el 79% de los encuestados son pequeños agricultores, el 78% del área están dedicadas al cultivo de la papa. Los meses más propensos para la incidencia de heladas en este municipio son diciembre, enero y febrero, en los cuales las condiciones atmosféricas cambian, se presentan suelos secos, cielos totalmente despejados en horas del día y vientos fuertes. Las prácticas realizadas para controlar el efecto de las heladas en el cultivo de papa en este municipio son el riego (47%) y la utilización de quemadores (13%), las prácticas realizadas para mitigar el efecto de las son la aplicación de agroquímicos como oxiclورو de cobre, nitrato de potasio además se aplica también melaza y urea.

Palabras claves: helada, papa, producción, mitigación, radiación.

INTRODUCCIÓN

La papa es el producto de origen agrícola de mayor consumo per capita en el país (69.9 kg /hab.). Si bien a nivel mundial se considera alto, ya que esta por encima del promedio mundial (50Kg/hab.), este se encuentra por debajo del registrado por los países de la UE con 130Kg/hab. En el país ocupa el tercer lugar en la producción agropecuaria nacional con 2.96 millones de toneladas en el año 2000, el décimo cultivo en extensión con 170.719 ha y el sexto lugar en el valor de la producción. Alrededor de unas 90.000 familias se encuentran vinculadas con la explotación directa de este cultivo y genera alrededor de 20 millones de jornales al año, la producción está ubicada en 14 departamentos, siendo cuatro los que concentran el 90% de la misma y el 91% de la superficie cultivada. Los mayores productores son: Cundinamarca (41%), Boyacá (25.8%), Nariño (13.2%) y Antioquia (7.6%).

De acuerdo con el primer censo nacional de la papa, en el departamento de Boyacá se sembraron 30.454 ha de papa en el año 2002, en 47.592 fincas productoras, que contienen 64.988 unidades productoras de papa (UPP), con 80.658 lotes y sembrados por 50.968 productores. La producción de papa en Boyacá está localizada en las zonas de clima frío en 82 municipios. El 54% del área (16.445ha) se localiza en la zona Centro en que sobresalen los Municipios de Ventaquemada (3.062 ha), Toca (1.969 ha) y Siachoque (1.928 ha) como los más representativos por su área sembrada.

Los aspectos ambientales del cultivo de papa en Boyacá se relacionan con la presencia del cultivo en los ecosistemas de páramo, el uso no apropiado de insumos para fertilización y manejo fitosanitario e igualmente destacable la demanda intensiva de mano de obra, que en conjunto revelan la importancia socioeconómica del cultivo y la necesidad de avanzar hacia el desarrollo rural integrado pero sostenible en que los productores rurales que ejercen presión sobre los recursos naturales adopten alternativas de manejo y uso sostenible, El fenómeno de las heladas producidas por radiación que ocurre generalmente





en Colombia, sucede cuando una masa de aire seco y frío se estanca sobre una región durante una o más noches, de día puede haber fuerte radiación con temperaturas de 15°C, mientras que en la noche el cielo despejado y el escaso contenido de humedad del aire permiten una rápida pérdida de calor por radiación. La temperatura desciende rápidamente a principios o a mediados de la noche y puede llegar al punto de congelación o menos varias horas antes de la salida del sol, ocasionando daños irreversibles a las plantas, lo cual se convierte en un factor limitante para su producción.

Por esta razón el Centro Virtual de la Cadena Agroalimentaria de la papa (CEVIPAPA) en convenio con la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) realizó el proyecto denominado **“EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MANEJO AGRONÓMICO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS HELADAS EN EL CULTIVO DE LA PAPA – APROXIMACIÓN AL RECONOCIMIENTO DE ÁREAS SUSCEPTIBLES A HELADAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ”** inscrito en el Grupo de Investigación participativa para el desarrollo Comunitario (GIPA). Este trabajo hace parte de la investigación realizada en los municipios de Siachoque, Toca, Úmbita, Motavita, Cómbita, Ventaquemada, Soracá, Tunja, Chíquiza y Saboya, se evaluó la problemática causada por las heladas en el cultivo de papa, se identificaron las veredas con mayor incidencia dentro de cada municipio, de esta forma se evaluó los métodos indirectos y directos para controlar y mitigar los efectos negativos de las heladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el primer semestre del 2005 en los municipios de Toca, Siachoque, Úmbita, en colaboración con las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria. Se realizó un muestreo aleatorio simple con un total de 100 encuestas por cada municipio, este análisis es de tipo descriptivo en donde se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

Selección de tipos de agricultores: grandes, medianos y pequeños según el área de la finca.

Porcentaje del área susceptible a heladas.

Área cultivada en papa.

Tenencia de la tierra.

Principales variedades de papa cultivadas en cada uno de los municipios.

Sistema de cultivo.

Época de mayor incidencia de heladas en la zona de estudio.

Condiciones climáticas propicias como vientos, cielos, suelos.

Ubicación topográfica de las fincas.

Prácticas realizadas por los agricultores en el cultivo para mitigar el efecto de las heladas.



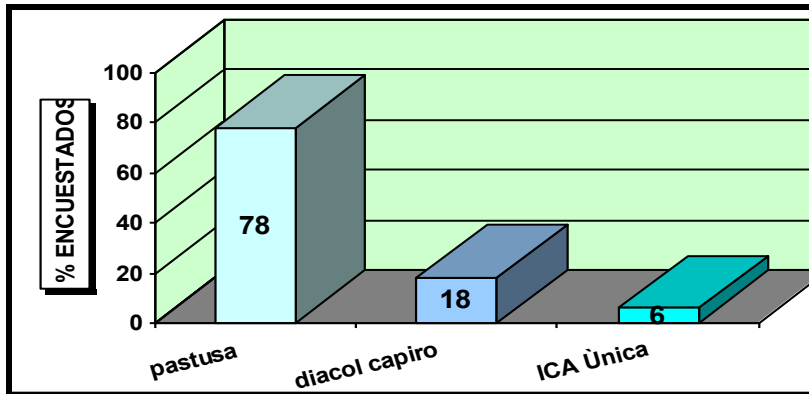


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los municipios de Siachoque, Toca y Úmbita se encuentran geográficamente ubicados en las provincias de Centro y Márquez del departamento de Boyacá, son eminentemente minifundistas, su población es propietaria de terrenos menores a 50 ha; la economía de estas poblaciones gira en torno a la actividad agropecuaria con especial énfasis en el cultivo de papa principalmente, esto ha conducido a problemas ambientales debido a la utilización de terrenos dentro de las zonas de páramo y bosques reguladores de agua y al uso excesivo de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

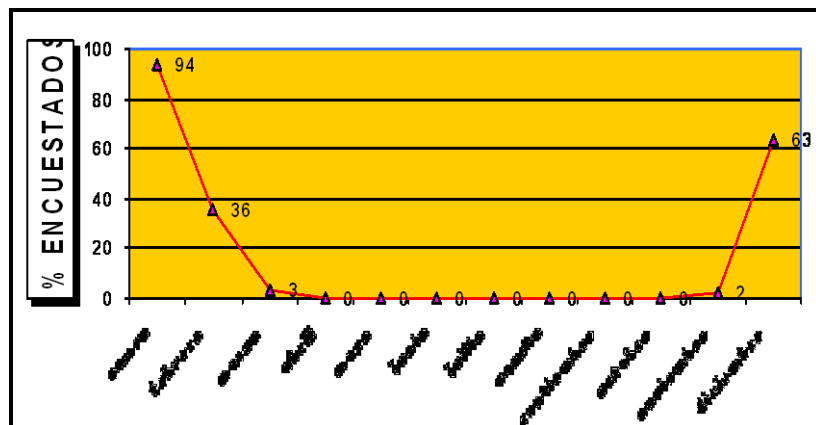
Las variedades de papa más cultivadas en estos municipios son parda pastusa, diacol capiro y variedades como Ica única e Ica huila, en general se presenta sistema de monocultivo en la región a esto se suma la falta de rotación de cultivos lo cual ha generado problemas de tipo fitosanitario principalmente en la proliferación de plagas.

Figura 1. Variedades más cultivadas en los municipios de Siachoque, Toca y Umbita



La incidencia de heladas se presenta en esta región durante los meses de diciembre a marzo, este factor abiótico es generado por radiación, sucede cuando una masa de aire seco y frío y seco se estanca sobre una región durante una o más noches, de día puede haber una fuerte radiación temperaturas mayores a 15° C mientras que en las noches el cielo es despejado y el escaso contenido de humedad del aire permiten una rápida pérdida de calor por radiación.

Figura 2. Incidencia de heladas.

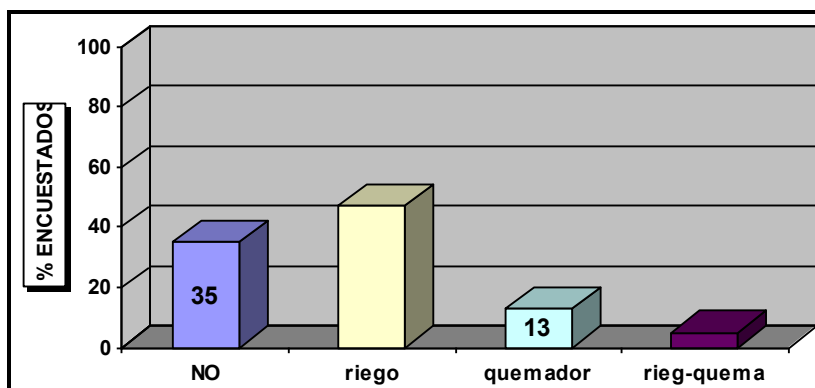




Los municipios se encuentran fisiográficamente en cimas y laderas lo cual hace que la incidencia de las heladas sean más intensas y causan mayor daño en los cultivos, la destrucción de la vegetación nativa hacen que el comportamiento de las temperaturas mínimas actúen rápidamente. La estructura de los suelos juega un papel importante dado que en suelos sueltos a los que tienen un contenido de materia orgánica muy alto almacenan muy poco calor durante el día, en suelos húmedos, el agua almacena muy despacio energía pero la libera lentamente haciéndolo en las noches una liberación con lo cual se crea un ambiente de defensa contra las bajas temperaturas.

Los métodos indirectos que los agricultores realizan en lucha contra las heladas son de tipo preventivo como la realización de cultivos en periodos libres de heladas lo cual evita al agricultor correr riesgos, sin embargo muchas veces el agricultor se ve enfrentado a periodos de heladas fuertes sin proponérselo como es el caso de cultivos sin riego, cuyas fechas normales de siembra sufren variaciones como consecuencia del periodo de lluvia, al igual el cultivo se establece cerca de masas de agua lo cual genera humedad al suelo elevando en varios grados las temperaturas mínimas presentadas. Los cuidados requeridos por el terreno en un método muy utilizado por los agricultores de la zona de estudio, el terreno debe estar limpio de malezas lo cual evita el calentamiento diurno, esto ayuda a disminuir efectos nocivos del fenómeno ya sea atenuando su severidad o aumentando la tolerancia de las plantas. El empleo de reguladores del ciclo vegetativo y la aplicación de fertilizantes foliares son métodos que dan temporalmente mayor resistencia a la planta ante una helada, muchas veces el agricultor opta por recoger mucho más antes la cosecha con el consiguiente detrimento de la calidad.

Figura 3. Métodos más utilizados para la lucha contra heladas.



Los métodos directos que tienden a contrarrestar el fenómeno de las heladas con acciones que producen alteraciones en el fitoclima, el riego por aspersión es un método muy utilizado por los agricultores de los municipios de Siachoque, Toca y Úmbita, el objetivo de este método no es tanto el de proporcionar humedad al suelo sino de aumentar el contenido de humedad del aire, un limitante de este método es el alto costo de los equipos y la disponibilidad de agua dentro de las fincas.





Otro método directo es el empleo de humos y nieblas artificiales o por combustión de materiales de desecho como llantas viejas; la finalidad de este método es la de impedir la salida directa de la irradiación terrestre, la principal dificultad consiste en producir una partícula de humo lo suficientemente grande que evite el paso con facilidad del calor del suelo.

La cubierta de cultivos es otro método directo utilizado para proteger cultivos de pequeña extensión, se cubren durante la noche con material que presente características de aislante térmico, se utilizan diversos materiales como pasto seco, esterillas de paja, estiércol seco mezclado con paja, los cuales son retirados durante el día para permitir el calentamiento del suelo y de las plantas.

CONCLUSIONES

Los agricultores optan por sembrar en épocas libres de heladas, la elección de los terrenos es un factor independiente, por lo general las fincas se encuentran ubicadas en zonas planas, la quema de llantas es un método muy utilizado pero es un factor que contamina el medio ambiente, al igual que la aplicación innecesaria de productos fitosanitarios después de la ocurrencia de la helada.

Es necesario que el agricultor realice análisis de suelos para establecer un plan de fertilización que determine técnicamente la nutrición de las plantas, otro factor fundamental es el manejo de semilla óptima, se debe socializar la información con los productores en un programa de transferencia de tecnología con el fin de que la aplicación de soluciones sean de tipo participativo.

BIBLIOGRAFÍA

ABONOS NURIMON. Manual de abonamiento para el cultivo de la papa. Colombia: Monómeros Colombo venezolanos. 1982. p. 3.

ARTUNDUAGA, R. Principios Básicos de ocurrencia de las heladas y su control. Bogotá. 1982. p 1

CEPEDA, M y GALLEGOS, G. La papa: el fruto de la tierra. México: Trillas. 2003. p 13-20-21.

CORZO, P. *et al.* Manual de papa para productores. Bucaramanga: Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria. 2003. p. 34-35.

Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Siachoque. 2001

Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Toca. 2001

Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Úmbita. 2002

FEDEPAPA. Vademécum del cultivo de la papa .1 edición. Bogotá: Grafemas Ltda. 1996. p. 7



----- Papas colombianas. 2 Edición. Bogotá: Deca Express Ltda. 2000. p. 71

FERNANDEZ, J. Las heladas: Su definición, pronóstico y control. Editorial Promedios convenio ICA-CORVEICA, Santafé de Bogotá, Colombia, 104 p.

LASSO, R. Estrategias de adecuación en zonas de Heladas. UPTC. Tunja. 1998. p.8.

LASSO, R. y BERDUGO, M. Estrategias de Adecuación en Zonas de Heladas.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en el departamento de Boyacá. Tunja: Secretaría técnica cadena productiva de la papa. 2004. p. 20.

SERRANO, P. Agroclimología. Tunja. Instituto Universitario Juan de Castellanos. 1996.



EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA INOCULACION A SEMILLA CON BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO EN EL CULTIVO DEL ARROZ

Marcela Quintero Ruiz, Olga Lucia Higuera Acosta*

RESUMEN

Los microorganismos promotores de crecimiento de las plantas han presentado excelentes resultados en los rendimientos de diferentes tipos de cultivos. Esta alternativa es de gran interés especialmente bajo la perspectiva de una agricultura mas limpia, mejorando los mecanismos de nutrición de las plantas reflejados en una mayor productividad y sanidad del cultivo de arroz. Con el objeto de observar y evaluar las posibles diferencias que se pueden presentar en el cultivo de arroz al utilizar los microorganismos promotores de crecimiento en inoculación a semilla con el fin de permitir la interacción microorganismo-planta induciendo la producción de pelos absorbentes para facilitar la captación de nutrientes al momento de la fertilización. Se realizaron mediciones de área foliar, peso seco de la parte aérea de la planta y peso seco de raíz a los 31 y 112 ddg, rendimiento de cosecha y componentes de molinería. Los resultados presentaron diferencias significativas favoreciendo al tratamiento de inoculación a semilla+15ddg, en área foliar a los 31 ddg, peso seco de raíz a los 31 y 112 ddg, rendimiento y centro blanco.

Palabras clave: PGPR, rendimiento, peso seco de raíz, inoculación.

INTRODUCCIÓN

Colectivamente los fitopatogenos pueden reducir los rendimientos de cosecha de un 25-75%, lo cual es una potencial perdida de productividad (Bautista.G., *et al* 2006) Estas perdidas fueron solucionadas con el uso de agentes químicos (pesticidas), a través de la fumigación. Actualmente se conoce que la ventaja del uso de los pesticidas puede causar efectos deletéreos al ambiente. Sin embargo, aceptar que muchos de estos químicos podían dañar tanto a animales como a humanos, y persistir acumulados en los ecosistemas naturales, origino la alternativa para remplazar estos agentes químicos por soluciones biológicas que sean mas amigables al ambiente, representando una enorme oportunidad para la agricultura.

Las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR) pueden afectar el crecimiento de la planta de dos maneras

*Pasante Fedearroz – FNA Universidad Javeriana. I.A. Msc. Investigación Fedearroz-FNA Villavicencio





diferentes, directa o indirectamente. La promoción indirecta de la planta ocurre cuando los PGPR disminuyen o previene los efectos deletéreos de más de un microorganismo fitopatogénico. La promoción directa del crecimiento de la planta por los PGPR consiste en proveer a la planta compuestos que son sintetizados por las bacterias para facilitar la toma de nutrientes del ambiente (Sturz y Nowak, 2000).

Hay muchas maneras en las cuales los PGPR, han sido reportados por facilitar el directo crecimiento de la planta hospedera, ya que se conoce que los PGPR pueden fijar nitrógeno atmosférico y suplirlo a la planta; sintetizar sideróforos que pueden solubilizar y secuestrar hierro del suelo y proveerlo a las células de las plantas; sintetizar diferentes fitohormonas que pueden actuar realzando las etapas del crecimiento de la planta; pueden presentar mecanismos para la solubilización de minerales así como fósforo llegando a ser más fácilmente disponibles para el crecimiento de la planta; y pueden sintetizar algunos compuestos de bajo peso molecular o enzimas que pueden modular el crecimiento y desarrollo de la planta (Compant *et al*; 2005).

Diferentes estudios han demostrado que la asociación entre los PGPR y arroz promueven el crecimiento de esta planta, indicando que hay aumentos en el contenido de materia seca y de carbohidratos solubles (Ribaud *et al*, 2001). El principal objetivo de esta investigación consistió en evaluar las posibles diferencias presentadas al realizar inoculaciones de PGPR a semilla y semilla y 15ddg.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue realizado en la granja experimental de Fedearroz ubicada en Santa Rosa Villavicencio. La semilla utilizada fue la línea 147. Se tomaron franjas de 66m², Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

TRATAMIENTOS:

Tratamiento 1: Inoculación a semilla con Insecticida, *Trichoderma* sp más el inoculo bacteriano a base de los microorganismos *Burkholderia cepacia*, *Azotobacter* sp, y *Azospirillum* sp.

Testigo: Semilla inoculada con *Trichoderma* sp más insecticida

Parámetros a Evaluar:

Area Foliar: La lectura de área foliar se llevo a cabo con el medidor de área foliar marca LI-COR modelo 3000 A. Se realizaron dos mediciones, a los 31 y 112 ddg. Se tomaron 5 plantas al azar por franja para un total de 15 plantas por tratamiento. Cada planta fue deshojada, a medida que se realizó la lectura, las hojas se juntaron con los respectivos tallos para determinar el peso seco correspondiente.





Peso seco parte aérea de la planta: Cada muestra colocada en bolsas de papel se llevaron a la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas, allí se les tomo el peso y fueron colocadas nuevamente en la estufa en las mismas condiciones durante 24 horas más para comprobar la lectura inicial. Se realizaron dos mediciones a los 32 y 115 ddg.

Peso seco de raíz: Se tomaron muestra de suelo por franja de 18750 cm³ se empaclaron en bolsas plásticas de alta densidad respectivamente marcadas. Cada muestra fue colocada en un balde con agua para facilitar el desprendimiento de las raíces al suelo. Posteriormente fueron dispuestas en coladores y al chorro de agua. Las raíces obtenidas de cada muestra fueron empacadas en bolsas de papel, y se llevaron a una temperatura de 60°C durante 24 horas donde se les tomo el peso, nuevamente se llevaron a la estufa en las mismas condiciones para corroborar el peso inicial.

Rendimiento: Para observar el rendimiento se cosecharon parcelas de 6m² por cada repetición.

Componentes de calidad Molinera: Esta evaluación se llevo a cabo en el laboratorio de calidad molinera del centro experimental de Fedearroz FNA en Sta Rosa Villavicencio.

Estadística: Los datos se analizaron con el paquete Infostat. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de tratamientos con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los análisis estadísticos el área foliar de los 31ddg presenta diferencias significativas ($p 0.0341$), teniendo mayor área foliar el tratamiento con inoculo bacteriano a semilla confirmando la acción de los microorganismos promotores de crecimiento que contribuye al fortalecimiento de la semilla, representado un mayor vigor inicial, favorable para la competencia con malezas, tanto en espacio como en nutrientes. Este resultado probablemente ligado a la intervención de los microorganismos promotores de crecimiento, pues muchos de estos tienen la capacidad de fijar N₂; la fácil asimilación de nutrientes en especial el nitrógeno hacen que la planta incorpore nitrógeno a esqueletos carbonados que darán aminoácidos para la conformación de proteínas aumentando la biomasa vegetal.

Sin embargo aunque no se encontraron diferencias significativas en el peso seco de la parte aérea de la planta a los 31 días ($p 0.0794$), el tratamiento con inoculación de bacterias fue mayor con respecto al testigo. Aunque la morfología de la raíz es controlada genéticamente, también influyen los factores ambientales y el entorno edáfico, como la concentración de nutrimentos en la solución del suelo, pH, temperatura, aireación y niveles de humedad (Klepper, 1991). Para la medición de peso seco de raíz a los 31 se observaron diferencias ($p 0.0018$), como era de esperarse el mayor peso seco se presento en el tratamiento de inoculación con bacterias; inoculo constituido por *Azotobacter sp*, *Azospirillum sp* y *Burkholderia cepacia* bacterias capaces de estimular la producción de raíces y pelos absorbentes debido la secreción de auxinas principalmente ácido indolacético y a la inducción de estas por parte de la planta misma (Glick, 1997).





Cepas pertenecientes a los generos de *Azospirillum* son capaces de afectar la germinación, siendo capaces de producir giberelinas. La producción de giberelinas establece una relación causa efecto muy directa, sin embargo tambien puede afectar otros metabolitos como agentes quelantes u otras hormonas. (Bashan *et al.*,2004). Las principales hormonas implicadas en la germinación de un modo directo son giberelinas, citoquinas y etileno. Sin embargo las auxinas aunque no ejercen un efecto directo sobre la geminación, si lo tienen sobre los procesos de crecimiento por elongación (Selvaduray *et al.*, 1991). Se supone que de este tipo de metabolitos pudieron estar presentes al apreciarse una aceleración del proceso de la germinación y mejoramiento en el vigor inicial.

Otro mecanismo propuesto por Glick *et al* (1997) indica, la acción de algunos microorganismos promotores de crecimiento para producir ACC deaminasa, enzima responsable de la eliminación del precursor del etileno, disminuyendo la producción de etileno en las raíces, generando un alargamiento de la raíz.

Estas bacterias tienen una gran influencia sobre el patrón de crecimiento radical y en consecuencia, alteran la capacidad de captación de nutrientes y agua, lo que afecta decisivamente al crecimiento de la planta (Dobbelaere *et al.*,2003)

También es preciso hacer énfasis en que la inoculación a semilla es una estrategia que permite establecer las comunidades microbianas pertenecientes al inoculo, favoreciendo la competitividad frente a los microorganismos nativos (Sturz y Nowak, 2000).

Los resultados estadísticos de área foliar a los 112 ddg no presentan diferencias significativas (p 0.5565), como tampoco se presentaron diferencias para el peso seco de la parte aérea de la planta (p 0.4959).

Sin embargo en esta época (112 días) si se observaron diferencias significativas en el peso seco de la raíz (p 0.0015). Este resultado evidencia que la inoculación con microorganismos promotores de crecimiento presento un mayor impacto sobre las raíces que sobre la parte aérea de la planta. La adecuada interacción microorganismos-planta se debe probablemente a que los microorganismos pertenecientes al inoculo muestran quimiotaxis positivas hacia ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y compuesto aromáticos, así como ha exudados rizosfericos (Castilla, 2006), lo que permitió a estos una mejor colonización y formación de biomasa microbiana para la metabolización de sustancias químicas, aminoácidos y proteínas para la estimulación del desarrollo radicular como se menciona anteriormente.

En cuanto al rendimiento se observan diferencias significativas (p 0.0013), presentando mayor rendimiento el tratamiento con bacterias. Estos resultados muestran una correlación donde el tratamiento con mayor masa radicular, es el tratamiento que presenta un mayor rendimiento; Pueden entenderse que la acción de los microorganismos favorecieron una





mayor captación de nutrientes al estimular la formación radicular y por tanto siendo benéfico en el momento de llenado de grano principalmente como se evidencio en este caso. Con estos resultados se puede inferir que la buena asimilación de nutrientes hace que las plantas estén incondiciones de fijar más dióxido de carbono atmosférico para transformarlo en carbohidratos.

Aunque en los componentes de rendimiento no se observa diferencias significativas rendimiento de pilada (p 0.8907), Índice de Pilada (p0.3467), Grano partido (p 0.1483), Yeso (p 0.1368) En centro blanco si se observan diferencias significativas entre tratamientos (p 0.0041).

CONCLUSIONES

La acción de el inoculo microbiológico se pudo evidenciar mediante el aumento radicular por parte del tratamiento con respecto al testigo.

El aumento de raíces esta directamente relacionado con un incremento en la producción, aunque no se relaciona con el área foliar ni el peso seco de la parte aérea.

La inoculación de bacterias resulta efectiva para potencializar el vigor inicial a semilla, permitiendo una mejor absorción de nutrientes, mejor desarrollo, y mayor competencia con las malezas.

La inoculación a la semilla permite establecer las comunidades microbianas foráneas para ser competentes frente a los microorganismos nativos.

BIBLIOGRAFÍA

BASHAN, Y; G. HOLGUIN; L.E. BASHAN. 2004. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Canadian Journal of Microbiology. 50(8):521-557.

BAUTISTA, G; H. MENDOZA; D. URIBE. 2006. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* in *Solanum phureja* plants using native *Pseudomonas fluorescens*.Memorias curso internacional de producción de biofertilizantes “desde el laboratorio hasta su aplicación en campo”. Universidad Nacional. Colombia.

COMPANT, S.; B. DUFFY.; J. NOWAK.; C. CLEMENT y E.A. BARKA. 2005 Use de plan Grow-Promoting Bacteria for Biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied and Environmental Microbiology. 71 (9):4951-4959.

DOBBELAERE, S; J. VANDERLEYDEN; Y. OKON. 2003. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Reviews in Plnats Sciences. 22(2): 107-143.

DIAS, V; R, FERRERA-CERRATO; J.J, ALMARAZ; G, ALCANTARA. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. Terra. México. 19:327-335.



GLICK, B. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Microbiology*. 41:109-117.

HICK, R.P; VANDEN. H; FORE. Z. Q. 1981. Analysis and practical use of information from on farm strip trials. *Better Crops*. 81: 18-21.

KLEPPER, b. 1991. Crop root system response to irrigation. *Irrigation Science*. 12 (3): 105-108.

RIBAUDO, C.M; D.P, RONDANINI; J.A, CURÀ; A.A FRASCHINA.2001. Response of *Zea Mays* to the inoculation whit *Azospirillum* sp on nitrogen metabolism under greenhouse conditions. *Biologia Plantarum*. 44-4: 631-634.

STURZ, A.V; NOWAK,J. 2000. Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations whit crops. *Applied soil ecology* . 15: 183-190.



MANEJO Y DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE REGIONES TROPICALES

César Augusto Colorado
Ing Agrónomo M.S.c – candidato a doctorado UN Palmira
Asesor-Consultor-Investigador
cesarcolorado@etb.net.co

RESUMEN

Materia Organica el Biocombustible del Suelo

La materia orgánica y el humus constituyen la principal reserva edáfica de carbono, pero en el trópico sus suelos tienden a ser meteorizados y donde la aplicación de residuos orgánicos estabilizados como compost son la mejor opción para su conservación en condiciones edafobiológicas estables. Sus constituyentes poseen propiedades físico-químico-biológicas diferenciales que son responsables de cambios y actividades fundamentales del suelo ya sea a favor o en contra. Por ello el propósito de este trabajo es presentar algunas características de la materia orgánica y del humus y su participación en los procesos de estabilidad en el trópico andino del Valle del Cauca.

Salud del suelo: "la capacidad continuada de un suelo para funcionar como un sistema vivo, dentro de los límites de los ecosistemas naturales y gestionados por el hombre, mantener la productividad biológica, promover la calidad del aire y agua, y preservar la salud de los animales, las plantas y el hombre".

Palabras claves: Materia Organica, Mineralización, Humificación, Microorganismos, Compost.

INTRODUCCION

El interés en el estudio técnico y científico en la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS) en el trópico se ha venido incrementado en los últimos años como consecuencia a la alta tasa de explotación agrícola a nivel mundial y donde el trópico tiene gran participación tanto en la sobre explotación como en la degradación de suelos y donde se debe encontrar la respuesta a las preguntas relacionadas a la sostenibilidad de dichos suelos para un mejor uso agrícola.

El sostenimiento de la MOS siempre estará supeditada a la incorporación de materiales vegetales o animales que le lleguen y se puedan mineralizar y humificar para que se tenga un equilibrio de conservación, en el componente agrícola esta función es más exigente





SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO



debido a que en el trópico las tasas de mineralización y humificación son más altas, por consiguiente la cantidad de residuos que se deben aplicar tiene que ser acorde al tipo de suelo, como también el tipo de material estabilizado (compost – vinazas-gallinazas etc.). El factor de reciclaje que el suelo hace de estos materiales tienen que tener un componente importante que son los microorganismos y el clima, se ha podido demostrar que el cambio de uso de un suelo nativo a cultivos se afecta grandemente la estabilidad estructural y disminuye la cantidad de C orgánico almacenado en el suelo, esta pérdida de C reduce la proporción de macroagregados de suelo, ya que ellos son más afectados por las prácticas de manejo, afectando también el equilibrio húmico de la M.O.S.

En este trabajo, se intenta determinar el efecto que un contenido bajo de materia orgánica de un suelo tropical andino tiene con la aplicación de abonos orgánicos enriquecidos con microorganismos y el estudio de humificación de la misma. La materia orgánica de los suelos, en sentido amplio, está constituida por todas las sustancias carbonadas orgánicas del mismo. Es un continuo desde materiales vegetales frescos sin descomponer, como una hoja, hasta cadenas carbonadas muy transformadas y estables como los ácidos húmicos, todo este proceso se lleva a cabo por medio de la actividad biológica existente en un suelo. En forma simplificada se la puede considerar compuesta por dos componentes: los residuos vegetales y la materia orgánica humificada o humus. Los residuos vegetales de las plantas herbáceas tienen en promedio de 40 % de carbono en su composición, mientras que la materia orgánica humificada del horizonte A de los suelos tiene en promedio un 58 % de carbono. Este porcentaje es bastante estable en suelos de clima templado por lo que comúnmente es indistinto hablar de materia orgánica humificada o carbono del humus siendo solo necesario aplicar un coeficiente (1.72) para transformar la cantidad de uno en la del otro, pero esto no pasa en el trópico. Los principales compuestos orgánicos del suelo son la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina. Las propiedades físicas del suelo como la estructura, la penetración, la retención del agua y la composición dependen en gran medida del contenido de materia orgánica, ya que la descomposición de la materia orgánica produce gomas, resinas y compuestos urónicos que sirven de agentes que unen a las partículas del suelo para formar agregados. La materia orgánica, junto con la arcilla, tiene muchas propiedades coloidales que son valiosas para el suelo, es un regulador coloidal que aglutina suelos arenosos para formar agregados y afloja a los suelos arcillosos macizos para que se formen agregados convenientes.

MATERIALES Y MÉTODOS: El trabajo se localizó en la región Geográfica del departamento del Valle del Cauca, municipio del Cerrito, coordenadas (3°43'08.00"N / 76°22'43.83"W). Altitud 960msnm. El suelo es de textura franca limosa y ha sido clasificado como Typic Haplustolls y Typic Haplusterts con clase textural arcillosa. Aplicaciones de 10 ton de compost (cachaza-vinaza-caldos microbiales-entre otros). El estudio de campo incluyó la aplicación de compost (CP) estabilizado subproducto de los residuos de la caña de azúcar (cachaza-vinaza-ceniza-microorganismos) (CHZ-VZ-CZA-MCO) y enriquecido con caldos microbiales.





Las muestras de suelo fueron secadas al aire para determinar C orgánico por el método de oxidación húmeda con $K_2Cr_2O_7$ y el N total por el método de Kjeldahl. La actividad e identificación microbiana se determinó en el laboratorio de microbiología de la universidad de Antioquia y particular. El potencial de humificación se determinó en cámara, la mineralización (T.s.m.a) fue estimado de la relación C/N y el % variable del clima de la zona.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de M.O.S a 0-5 cm de profundidad mostró poca diferencias entre el año 2004 y 2005 de los tratamientos, pero en 2006 se presentó una merma en el contenido de M.O.S total lo mismo paso a 20cm-30cm de profundidad en un typic Haplusterts mientras que en el typic Haplustolls hubo mayor pérdida desde el 2005 a 2006. El valor más relevante fue observado en el mollisol donde se obtuvo una pérdida más significativa, contrario a lo observado con el vertisol donde se obtiene una pérdida significativa pero a partir de 3 años. Esto nos demuestra que en suelos del trópico debemos estar supeditados a las condiciones edafobiológicas de cada zona previo caracterización total del suelo y del material orgánico a incorporar

En general, el contenido de las distintas fracciones de la materia orgánica en los suelos estudiados varía con el tipo de manejo y tratamiento, pero de acuerdo con los balances de mineralización y humificación aportado con los materiales como el compost, la tendencia es decreciente como consecuencia de las pérdidas de materia orgánica durante los procesos de mineralización microbiana aportados en el compost como también a la activación de los microorganismos nativos, favorecidos por unas condiciones ambientales semiáridas, un laboreo convencional del suelo y una agricultura intensiva en régimen de monocultivo (caña de azúcar) llevada a cabo en este trabajo. Todos estos factores contribuyen a la pérdida de materia orgánica en los suelos, pudiendo llevar a una disminución progresiva de la productividad del agro ecosistema (suelo) a futuro.

Figura 1. Afectación de la M.O.S con la aplicación de caldos microbiales. (Colorado 2006)

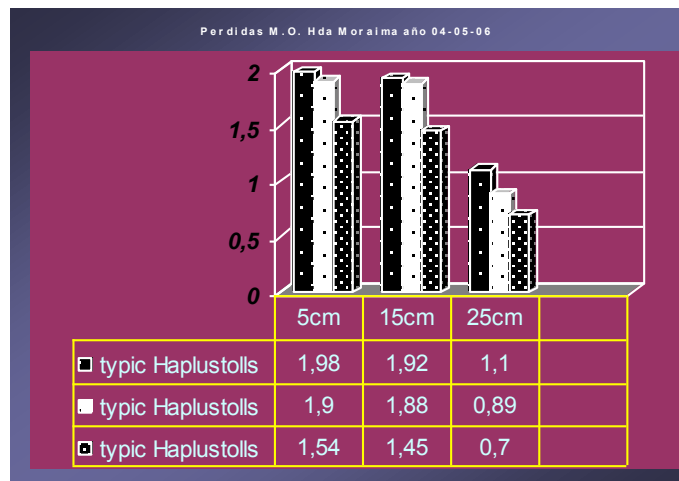
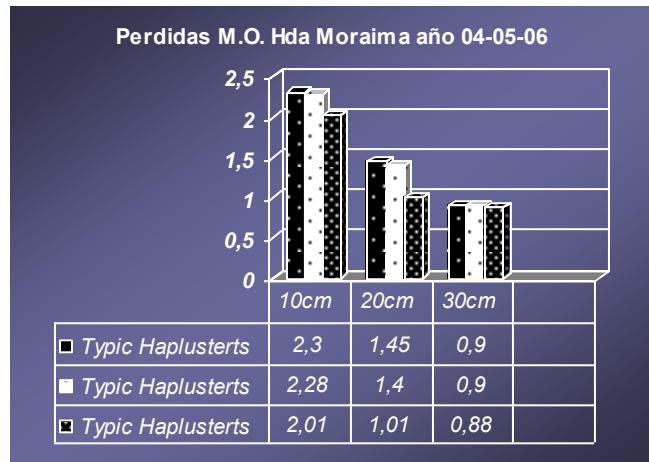


Figura 2. Afectación de la M.O.S con la aplicación de caldos microbiales. (Colorado 2006)



Coefficientes de mineralización y de humificación

La transformación de los residuos orgánicos se cumple en dos procesos casi coincidentes en el tiempo: la mineralización (primaria y secundaria) y la humificación de los residuos orgánicos. La mineralización primaria ocurre relativamente rápido y concluye con la formación de humus “estable” en pocos años (en 1 a 2 años en climas húmedos, templados y suelos bien aireados; 2-3 o más años en climas templados semiáridos; en menos de 2 años en suelos con clima tropical ecuatorial costero y andino).

Ambos tipos de mineralización poseen características comunes. Por ejemplo, producen nutrientes en formas fácilmente absorbibles por las raíces de las plantas. La característica diferencial de ambos procesos se manifiesta en la velocidad y cantidad de la transformación.

La cuantificación del proceso se realiza por medio del empleo de 2 coeficientes de transformación:

El coeficiente K_1 o Isohumico, que permite establecer la proporción de humus “estable” que se generará en el suelo a partir de la mineralización primaria de los residuos Orgánicos, bajo condiciones clima tropical andino y costero.

El coeficiente K_2 representa la fracción o porcentaje del humus “estable” edáfico que se descompone, transforma o mineraliza anualmente. Este coeficiente K_2 depende también de las condiciones ecológicas siendo más alto en climas cálidos y húmedos, en suelos bien aireados con pH neutro (entre 6 y 8), en suelos con labranzas que facilitan la aireación y oxidación del humus, etc. Se presentara muestra del coeficiente K_2 (o tasa anual de mineralización) del humus “estable” de varios suelos. El coeficiente K_2 brinda, entonces, información sobre la descomposición del humus “estable”, la eventual pérdida de la estructura y el peligro de erosión del suelo. (Urbano, Colorado)





La materia orgánica en el trópico representa una pequeña fracción de la masa de la mayor parte de los suelos, en general entre 1 y 6 % del horizonte A y menos en profundidad. Sin embargo, se la considera un factor muy importante pues muchos estudios han mostrado que afecta la estabilidad de los agregados, la capacidad de almacenamiento de agua útil, la capacidad de intercambio catiónico y, sobre todo, la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno.

Este trabajo está preferentemente referido a las variaciones que sufre la materia orgánica humificada debido a la actividad microbiana tanto nativa como foránea y humana introducida por la agricultura.

Ciertas prácticas de manejo del sistema suelo-planta, como por ejemplo las labranzas y el empleo intensivo de cultivos, ocasionan efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Eso es consecuencia de cambios en los flujos de temperatura, humedad y aireación; disminución de la materia orgánica; y aumento de la rotura de agregados y de la erosión del suelo (Roberto Alvarez).

El suelo y los organismos tienen una estrecha relación. Uno y otros interactúan dando las cualidades que los caracterizan. Esta interdependencia queda de manifiesto en el proceso de formación de una comunidad clímax. Los procesos biológicos más importantes que se desarrollan en el suelo son: la humificación (descomposición de la materia orgánica por hongos, bacterias, actinomicetos, lombrices etc), transformaciones del nitrógeno (amonificación, nitrificación, fijación) y mezcla-desplazamiento (lombrices etc).

Pocas veces no se incluye en las recomendaciones de abonado de un cultivo, la aportación de cantidades importantes de materia orgánica (a partir de M.O.E.), ya sea como estiércoles, compost vegetal o como otras sustancias orgánicas estabilizadas. La relación entre el contenido en M.O. del suelo y la fertilidad potencial de este es un factor aceptado, por su efecto beneficioso en el aumento de la porosidad, retención de agua disponible, incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), liberación progresiva de nutrientes, etc.

En un vertisol con una T.S.M.A. de una 1.2% es más activo por la actividad microbiológica, por el contenido de C.Oox, siendo mejor que en un Mollisols con una T.S.M.A. de 1.1% donde es poca la actividad debido a la baja en C.Oox en cuanto hongos filamentosos, para bacterias es muy bajo por lo que la mineralización y humificación también lo son. (Hda Moraima- Municipio Cerrito -Valle del Cauca).





Tabla 1. (Colorado) Principales grupos de bacterias en dos suelos.

HDA MORAIMA	T.S.M.A 1.2 %	T.S.M.A 1.1 %
Hongos filamentosos	Vertisoles	Mollisols
<i>Acremonium sp.</i>		
<i>Beaveria sp.</i>		
<i>Cladosporium sp.</i>		
<i>Fusarium sp.</i>		
<i>Gliocladium sp.</i>		
<i>Metarrhizium sp.</i>		
<i>Mortierella sp.</i>		
<i>Mucor sp.</i>		
<i>Paecilomyces sp.</i>		
<i>Penicillium sp.</i>		
<i>Trichoderma sp.</i>		
<i>Ulocladium</i>		
<i>Verticillium sp.</i>		

Tabla 2. (Colorado. 2005-6) Principales grupos de bacterias en dos suelos

HDA MORAIMA	T.S.M.A 1.24 %	T.S.M.A 1.1 %
Bacterias	Vertisoles	Mollisols
<i>Pseudomonas sp.</i>		
<i>Pseudomonas fluorescens</i>		
<i>Pseudomonas putida</i>		
<i>Bacillus sp.</i>		
<i>Micrococcus sp.</i>		
<i>Chryseobacterium sp.</i>		
<i>Azotobacter sp.</i>		
<i>Streptococcus sp.</i>		

La bioproliferación Vrs competición: Cuando en los suelos del trópico han sido degradados y en especial si la MO. (Materia orgánica) ha bajado considerablemente como consecuencia de una mineralización y humificación alta, y el manejo cultural por parte del hombre no ha sido de conservar o equilibrar dicho suelo, existe una condición llamada competición en la que dos organismos suprime el crecimiento del otro en su lucha por los nutrientes, por lo tanto la bioproliferación y la competición tiende a favorecer la separación ecológica de las poblaciones estrechamente relacionadas en un suelo tropical, a lo que podemos definir que la exclusión competitiva impide que dos poblaciones ocupen el mismo nicho ecológico, o sea que dos organismos que intentan ocupar el mismo nicho, solo uno lo



conseguirá, así que en el momento de programar aplicaciones de un flujo de microorganismos al suelo, sin previo análisis microbiológico y de materia orgánica se puede llegar a lo que se llama el fenómeno **dmiced** (desequilibrio microbiológico edáfico.) (Colorado).

Procesos: de acuerdo a los objetivos anteriormente señalados cabe señalar los siguientes procesos a seguir para el mejoramiento de la M.O.S en el tropico:

ESTUDIO DE CARACTERIZACION BIOLOGICA Y ORGANICA PARA EL BALANCE DE LA MATERIA ORGANICA EN SUELOS TROPICALES:

Perdidas por Mineralización de M.O_i: Ton / año
(Según orden de suelos)
% de M.O. por perdidas V.M. : % Ha / año
Contenido de M.O_i humificada en los suelos : Ton / Ha
P.A. (Profundidad de análisis): Cms
Equilibrio estructural arcilla/M.O_i: %
Aportes por residuos vegetales en M.O_{bs}: Kg / año
Humogenesis residuos de cosecha: Kgs / Ha – año
Coeficiente Isuhumico inicial: %
Perdidas V.M. elevando el equilibrio humico al % ideal: Kg / Humus/ Ha –año
V.M. del compost estabilizado: %
Balance de la M.O_i: Ton/ año
Balance de la M.O_f: Ton/ año
Relación Lignina / Celulosa:
Equilibrio Humico del suelo sin aporte del abono orgánico : %
Aportes por residuos de cosecha: %
M.O. a aplicar para abonado y equilibrio del suelo : Ton / Ha -año
% de M.O. aportada año: %
% variable del clima: %
% T.s.m.a : %
Relación ácidos humificables: %
Coeficiente Isuhumico final: %
Abonado de conservación para mantener el equilibrio humico en el % ideal: Kgs / Ha -año
Biomasa microbial de la M.O.S: %
Biomasa microbial de los R.O.E: %
Potencial de rendimiento nutricional en B.U. : Kg / Ha

CONCLUSIONES

Se determina en este trabajo que cuando la materia organica de un suelo es baja la mineralización y humificación tambien lo es ya que la actividad biológica se vera mermada





pero activada al momento de las aplicaciones de compost enriquecidos con microorganismos foráneos, pero no todas las veces funciona ya que se debe tener un conocimiento previa caracterización física, química y biológica por orden de suelos, partiendo de la premisa que en cada suelo las condiciones Edafobiológicas difieren totalmente, (vertisoles, mollisoles-inceptisoles etc...) y cuando se aplican estos cócteles con una buena actividad de oxidación biológica (compost-gallinaza-vinazas etc) las condiciones cambian su estabilidad biótica, dando como resultado el fenómeno **dmiced** (desequilibrio microbiológico edáfico.) llevando al suelo a una bioproliferación en muchos casos de consumo de C y por ende una competencia entre los microorganismos nativos y foráneos, esto se pudo corroborar en trabajos durante 3 años sobre las tasas de mineralización y humificación en tres ordenes de suelos ubicados en el Valle de Cauca zona interandina tropical y donde inicialmente se puede deducir la disminución del C.Oox del suelo al aumento de la actividad biológica influenciada por organismos foráneos, por lo que antes de programar aplicaciones se debe hacer una caracterización total de un suelo. No todos los materiales orgánicos y cócteles de microorganismos foráneos son ideales para todos los suelos ya que los hay con contenidos altos en fibra, otros con altos contenidos de jugos y donde la relación C/N prima, lo que no favorece en algunos casos la actividad biológica del suelo y en ves de equilibrar, esta aumenta la oxidación desequilibrando la activada física, química y biológica y por ende la toma de nutrientes para el cultivo.

REFERENCIAS

- PRIMAVESI, A, 1984. Manejo ecológico del suelo.
- DUCHAUFOR, P. Manual de Edafología. Primera Edición. MASSON S.A. Barcelona – España. 214 p. 1987.
- Fassbender, H.W. 1975. Química de suelos. IICA. Turrialba
- Colorado César A. Mineralización - Humificación en suelos tropicales 2006.
- Primavesi, Ana. "Agroecología", capítulo 6: "La microbiología del suelo".
- Alexander Martín, 1994 Introducción a la microbiología del suelo. (Cap 10)



REHABILITACIÓN AGRÍCOLA DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS EN EL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE¹

Dilsa Maribel Hernández Fonseca²
Hugo Eduardo Castro Franco³

RESUMEN: Los suelos sulfatados ácidos (SSA) generalmente han evolucionado en condiciones de valles lacustres y/o superficies depresionales dejadas por el mar. La vegetación confinada con el agua salada o dulce de estos ambientes en mezcla parcial con sedimentos de origen mineral, desarrolló con el tiempo los llamados SSA, caracterizados principalmente por su extrema acidez y las altas concentraciones de aluminio, azufre y hierro, consideradas tóxicas para el normal crecimiento de cultivos. Estimaciones recientes indican que en Colombia cerca de 500.000 hectáreas en regiones agrícolas de los valles del Sinú, Sibundoy, valle del Cauca, Ubaté – Chiquinquirá, San Miguel de Sema y, Tundama y Sugamuxi en Boyacá, se encuentran por su origen influenciadas por condiciones sulfatadas ácidas. En el Distrito de riego del alto Chicamocha (DRACH) cerca del 45% del área presentan SSA en diferentes grados de evolución (GISSAT, 2004 - 2006). Debido a esta problemática se propuso un modelo integral de manejo de las condiciones improductivas agrícolas existentes en la zona, donde se tuvo en cuenta la implementación de diversos sistemas de producción alternativos de acuerdo con la vocación de las tierras y la tolerancia a las condiciones adversas presentes en estos suelos. Definidas las características de los SSA del DRACH, se procedió a la selección de lotes problemas, para lo cual fue necesario realizar análisis de suelos con el fin de corroborar las condiciones sulfatadas ácidas y su grado de improductividad, basados en los valores de pH y las concentraciones de aluminio y azufre. Se establecieron parcelas semicomerciales de 2.500 m², las cuales fueron sometidas a labores de mecanización utilizando labranza de tipo vertical como el arado de cincel vibratorio y la cavadora de azadones para evitar exponer los horizontes sulfúricos a la superficie, seguidamente se realizó la adecuación de drenajes internos y recolectores, que permitieron evacuar las aguas freáticas hacia la red de drenajes que recorre el DRACH, evitando el ascenso del nivel freático a la superficie durante la época de lluvias. El control de las condiciones sulfatadas ácidas se basó en un **Plan correctivo** con 10 t·ha⁻¹ de carbonato de calcio equivalente (CaCO₃). Las fuentes de enmiendas calcáreas utilizadas para alcanzar este equivalente correspondieron a la mezcla de 4,25 t·ha⁻¹ de dolomita, 3,73 t·ha⁻¹ de cal viva cernida, 1,36 t·ha⁻¹ de roca fosfórica y 1 t·ha⁻¹ de gallinaza. La distribución de las enmiendas se realizó en forma homogénea, 45

1 Este trabajo hace parte de la investigación que adelanta Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales – GISSAT. Proyecto COLCIENCIAS, UPTC, USOCHICAMOCHA, 2004 -2006.

2 Profesor asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Coordinador GISSAT – UPTC, hcastrofranco@yahoo.com.mx

3 Ingeniero Agrónomo, Joven Investigador COLCIENCIAS – GISSAT – UPTC, Tunja, e-mail: diherfo@yahoo.es





días después de su incorporación se procedió a sembrar *Avena sativa*, posteriormente se entró a ciclos de rotación con cultivos comerciales de papa industrial y criolla, cebolla de bulbo, repollo, brócoli, arveja y remolacha, cuyos rendimientos agronómicos se aproximaron a los manejados en la zona. De igual manera se estableció un plan de recuperación y mejoramiento de praderas en la Unidad Las Vueltas teniendo en cuenta la vocación ganadera del Distrito. Así se logró demostrar la posibilidad de transformar áreas improductivas en áreas productivas con condiciones favorables para el crecimiento de los cultivos comerciales del DRACH.

Palabras claves: acidez, recuperación, enmiendas calcáreas, suelos.

INTRODUCCIÓN

La presencia de suelos sulfatados ácidos (SSA) en el valle de Tundama y Sugamuxi ha limitado en gran medida la productividad de los mismos, debido principalmente a las condiciones de extrema acidez y las altas concentraciones de Al^{+++} , Fe y S en solución, reflejando calvas o áreas denudativa y en el mejor de los casos un crecimiento vegetal pobre, clorótico y restringido. Después de caracterizar esta problemática el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales - GISSAT (2004 - 2006) propuso un modelo integral para el manejo de las condiciones de improductividad agrícola existentes en la zona, que permito bajo técnicas de recuperación, la implementación de diversos sistemas de producción alternativos de acuerdo con la vocación de las tierras y la tolerancia a las condiciones adversas presentes en estos suelos.

La rehabilitación agrícola de SSA en el Distrito de Riego del Alto Chicamocha (DRACH), se llevo a cabo en el 2005, donde se establecieron pruebas experimentales semicomerciales de campo en las unidades de riego Tibasosa (*Sulfic Endoaquepts*), Duitama (*Typic Sulfaquepts*), Las Vueltas (*Terric Sulfosaprists*), Ayalas (*Typic Sulfohemists*) y Vargas (*Typic Sulfohemists*), con el fin de evaluar el comportamiento de especies agrícolas como papa Diacol Capiro (*Solanum tuberosum*), papa criolla (*Solanum pureja*), cebolla de bulbo (*Allium cepa*) var. Yellow granex, avena (*Avena sativa*) var. Ica-Cajicá, brócoli (*Brassica oleracea*) var. Legacy. Durante este proceso de recuperación se validaron técnicas como el empleo de mezclas de enmiendas calcáreas, fosfóricas y orgánicas, el manejo de planes de fertilización a partir de análisis de suelo y requerimientos de cultivos y la adecuación física en términos de labranza, riego y drenaje.

Con los datos obtenidos se validaron los resultados alcanzados en diferentes trabajos de investigación realizados en la zona (Bello y Gómez, 2001, Sotelo y Pulido, 2004, Niño, 2005 y Munevar y Pérez, 2006) y la caracterización de perfiles modales realizados por el GISSAT (2004 – 2006), que son un aporte tecnológico importante para ser difundidos a los usuarios del DRACH, en un proceso de capacitación, a través de un **MODELO INTEGRAL DE RECUPERACIÓN** que plasme criterios técnicos y económicos viables en habilitación de áreas agrícolas degradadas por la influencia de SSA.





METODOLOGÍA

Definida la distribución espacial de los SSA en campo por el GISSAT (2004), se procedió a la selección de áreas problema, estableciendo mediante análisis de suelos su grado de improductividad, basados en valores críticos de pH (ultraácidos a extremadamente ácidos) y en concentraciones de aluminio, hierro y azufre. A partir de esta información, se delimitó el área experimental semicomercial de 2500 m², donde se iniciaron las labores de mecanización de suelos utilizando labranza de tipo vertical como el arado de cincel vibratorio y cavadora de azadones, para evitar exponer a la superficie los horizontes sulfúricos. Simultáneamente se llevó a cabo la construcción de los drenajes internos, que permitieran evacuar las aguas freáticas hacia la red de drenaje que recorre el DRACH y así mitigar el efecto que puede causar el ascenso del nivel freático durante las épocas de lluvia, que afectaría directamente el proceso de rehabilitación.

El manejo de las condiciones sulfatadas ácidas, se basó en la utilización de un **Plan correctivo de acidez con 10 t·ha⁻¹ de carbonato de calcio equivalente (CaCO₃ puro)**. Las fuentes seleccionadas para alcanzar el equivalente, correspondieron a la mezcla de 4.25 t·ha⁻¹ de dolomita (55% CaCO₃+33% MgCO₃), 3,73 t·ha⁻¹ de cal viva cernida (75% CaO) y 1,36 t·ha⁻¹ de roca fosfórica (40% CaO+0.5% MgO+30% P₂O₅). Tabla 1.

Tabla 1. Cálculos experimentales de materiales encalantes utilizados en el Plan Correctivo 10 t·ha⁻¹.

TT0	DOSIS CaCO ₃ t·ha ⁻¹	GALLINAZ A TOTAL t·ha ⁻¹	RELACIÓN % Material encalante	MATERIAL ENCALANTE t·ha ⁻¹			TOTAL t·ha ⁻¹	Aporte suministrado en la corrección			Relación Ca:Mg
				DOLOMITA 55%CaCO ₃ + 33%MgCO ₃	CAL VIVA 75% CaO	R.FOSFÓRICA 40% CaO 0.5%MgO+30%P 2O ₅		Ca meq·ha ⁻¹	Mg meq·ha ⁻¹	P ₂ O ₅ ppm·ha ⁻¹	
PC	10	1	50-40-10	4,25	3,73	1,36	9,34	6,3	1,69	89	3.7:1

La incorporación de los materiales encalantes se efectuó en forma homogénea, de esta manera se garantizó la eficiencia en el control de acidez, componente central en el proceso de recuperación de SSA. Cuarenta y cinco días después de la aplicación de los correctivos y luego de corroborar mediante un monitoreo químicos de suelo la corrección de la acidez, se procedió al establecimiento de un cultivo indicador altamente tolerante a la acidez (*Avena sativa*).

Teniendo en cuenta la alta capacidad de restitución de acidez en estos suelos después de su corrección, se concibió una segunda fase orientada a monitorear y ajustar el control de la acidez y balance de bases, para abordar la siembra directa y rotacional de cultivos de importancia económica para la región (cebolla de bulbo, brócoli, papa, arveja y avena, entre otros).





El manejo agronómico al que fueron sometidas las especies se basó en las necesidades intrínsecas de cada cultivo, y el manejo de planes de fertilización se hizo teniendo en cuenta el análisis de suelos y los requerimientos nutricionales de cada especie.

La cosecha de cada una de las especies se llevó a cabo cuando cumplieron su ciclo vegetativo, se tomaron datos agronómicos relacionados con rendimiento, calidad, peso fresco y seco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAMBIOS QUÍMICOS INDUCIDOS AL SUELO POR EFECTO DEL MODELO INTEGRAL DE CONTROL DE ACIDEZ DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS

Como se mencionó anteriormente las condiciones sulfatadas ácidas limitan la productividad agrícola de los suelos del Distrito a continuación se encuentran reflejadas las condiciones químicas iniciales de las parcelas semicomerciales seleccionadas para validar los resultados experimentales en campo (Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización química inicial de suelos en Unidades del Distrito de riego del alto Chicamocha.

Unidad de Riego	pH	%M.O	P (ppm)	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹					Ppm		
				Al	Ca	Mg	K	Na	S	Fe	Mn
Vargas	3.7	9.92	135	10	6.61	0.48	0,26	0.25	317	152	1,63
Duitama	3.9	12.4	35.3	6	9.91	1.91	1,39	1.33	215	71,1	5,94
Vueltas	3.9	16.2	18.2	6	19.7	5.72	0,34	5.09	374	101	11,5
Tibasosa	4.2	9.73	21.8	2.8	18.1	1.81	1,69	2.42	234	154	6,51
Ayalas	3.6	8.47	14.3	8.4	10.4	1.33	1.21	1.45	424	148	7,91

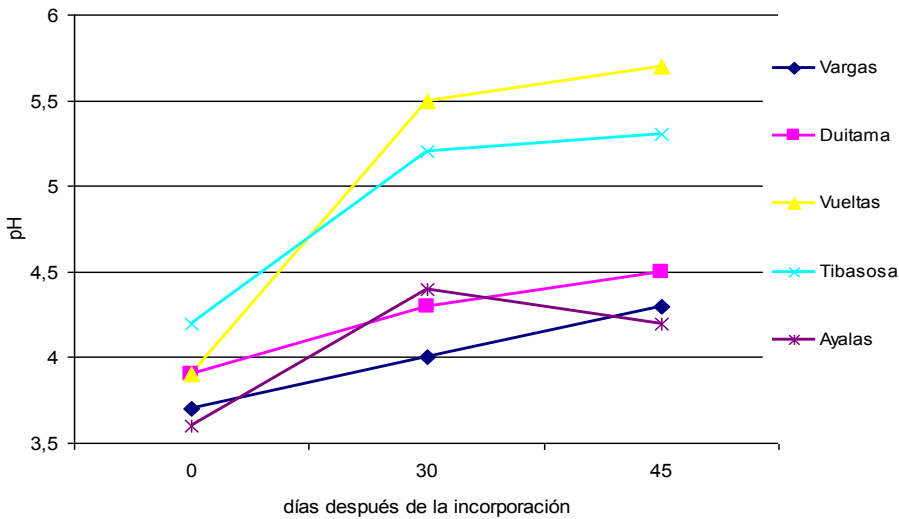
Fuente: Lab. Suelos FACIAT, 2005

Se puede observar que en los suelos de las cinco unidades de riego seleccionadas encontramos valores de pH extremadamente ácidos, concentraciones de Al⁺⁺⁺ mayores a 2 cmol⁽⁺⁾Kg⁻¹, S superiores a 200 ppm, Fe del orden de 71,1 a 154 ppm, y altos contenidos de materia orgánica, pero por estas características extremas esta es inactiva. Las anteriores condiciones reflejan las severas limitaciones de productividad que presentan los SSA improductivos en el DRACH. Un resultado importante en la rehabilitación de SSA existentes en el valle alto del río Chicamocha, se encuentran aumentos considerables de pH, destacándose el comportamiento de la unidad Las Vueltas, que inició con valores de pH de 3,9 y alcanzó valores cercanos a 5,7 cuarenta y cinco días después de la incorporación (DDI) de los materiales encañantes (Figura 1). Se debe resaltar que en los suelos de origen orgánicos los aumentos de pH no son tan significativos como en los suelos de origen minerales, como consecuencia de la capacidad buffer de la materia orgánica.



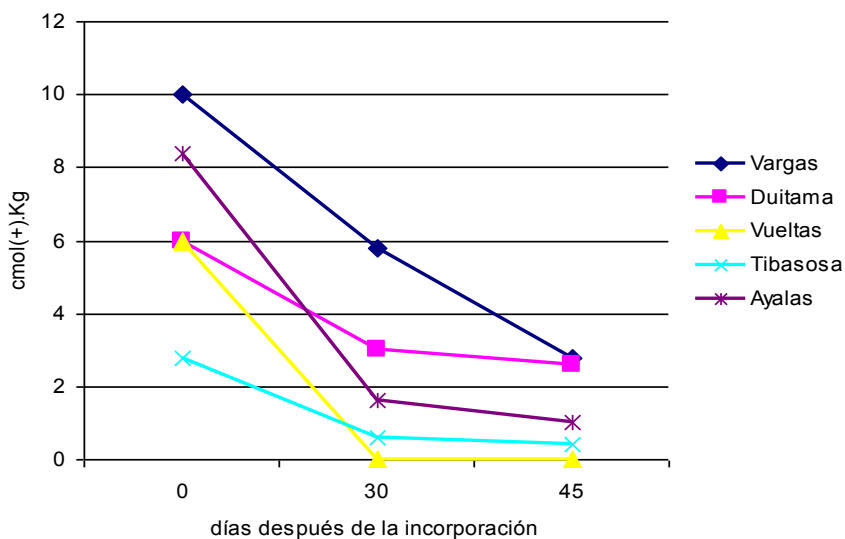


Figura 1. Cambios inducidos en el pH a través del tiempo por efecto del plan correctivo de acidez seleccionado para la rehabilitación de SSAI.



El cambio de pH's extremadamente ácidos a fuertemente ácidos se presentó como una respuesta a la disminución de las concentraciones de aluminio que 45 DDI de materiales encalantes paso para la unidad Vargas de $10 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ a $2,8 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$. Las unidades de riego Duitama, Vueltas, Tibasosa y Ayalas presentaron similar comportamiento, donde se logró disminuir las concentraciones de Al^{+++} de $8,4 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ a valores entre $0,4$ a $0 \text{ cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$ (Figura 2).

Figura 2. Cambios inducidos en el Al^{+++} a través del tiempo por efecto del plan correctivo de acidez seleccionado para la rehabilitación de SSAI.





La aplicación de materiales encalantes mejoraron notablemente las concentraciones de calcio en el suelo, aspecto que debe ser estudiado detalladamente para evitar antagonismos en el suelo, lo que repercutiría en la toma de elementos esenciales para la nutrición vegetal. Se establece claramente, que en suelos con mayor participación mineral, el magnesio tiende a ser estable, mientras el potasio registra disminuciones en sus porcentajes de saturación, lo cual evidencia que las aplicaciones de cal en grandes cantidades puede inducir deficiencias de este elemento en el suelo (tabla 3). Los suelos con tendencia orgánica muestran que en la medida que aumenta el contenido de calcio y los contenidos de magnesio se mantiene una relación Ca/Mg adecuada, fenómeno que no se refleja claramente en los suelos de origen minerales, lo que se le atribuye principalmente a la capacidad buffer de los materiales orgánicos, la alta capacidad de intercambio catiónico de sus coloides.

Tabla 3. Caracterización química de suelos 45 DDI de materiales encalantes en Unidades del Distrito de riego del alto Chicamocha.

Unidad de Riego	pH	%M.O	P (ppm)	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹					ppm		
				Al	Ca	Mg	K	Na	S	Fe	Mn
Vargas	4,3	11,7	7,48	2,8	10,6	1,93	0,28	0,17	152	75,7	2,89
Duitama	4,5	12,4	67,3	2,6	22,8	1,82	0,93	0,12	224	142	1,61
Vueltas	5,7	12,4	40,8	0	37,1	5,52	1,04	6,55	448	212	2,36
Tibasosa	5,3	8,19	121	0,4	27,3	1,15	1,14	2,57	516	216	0,37
Ayalas	4,2	9,37	27,1	1	19,3	0,95	0,25	1,28	187	165	4,32

Fuente: Lab. Suelos FACIAT, 2005

Las labores de corrección química a partir de la combinación y correcta aplicación de materiales encalantes, complementada con adecuadas prácticas de riego y drenaje contribuyen al mejoramiento de las condiciones sulfatadas ácidas reportadas en esta zona del departamento de Boyacá, con el fin de generar información útil y aplicable en la recuperación de áreas degradadas por la presencia de estos suelos y encaminadas a su reconversión a la producción agropecuaria sostenible.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE ESPECIES VEGETALES UTILIZADAS DENTRO DEL MODELO INTEGRAL DE RECUPERACIÓN DE SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS

Después de cuarenta y cinco días de haber incorporado los materiales encalantes y orgánicos se procedió a la siembra de *Avena sativa* como cultivo tolerante a la acidez e indicador de mejoramiento en las unidades de riego Vargas, Ayalas y Duitama encontrando producciones en fresco de 25,75 t·ha⁻¹, 39,5 t·ha⁻¹ y 40 t·ha⁻¹ respectivamente. Producciones que se acercan a las encontradas en la zona del Distrito de riego del alto Chicamocha (40 t·ha⁻¹).





SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO



Continuando con el proceso de recuperación de los SSA, en un segundo ciclo se estableció en la Unidad de riego Vargas y Ayalas y Duitama la siembra de papa criolla (*Solanum pureja*) obteniendo producciones de $9,1 \text{ t ha}^{-1}$, $10,5 \text{ t ha}^{-1}$ y $10,1 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente. Además de la siembra de papa criolla en la unidad de riego Duitama se establecieron cultivos de brócoli (*Brassica oleraceae*) y cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.), alcanzando rendimientos del orden de $10,3 \text{ t ha}^{-1}$ para brócoli y $13,7$ para cebolla de bulbo.

Teniendo en cuenta la vocación ganadera del DRACH, se estableció en Las Vueltas una parcela experimental de recuperación de praderas, obteniendo 16 t ha^{-1} forraje en fresco para consumo animal.

En la unidad Tibasosa se estableció en un lote moderadamente afectado por esta problemática, la siembra directa de papa industrial (Diacol capiro), donde fue posible obtener rendimientos de 22 t ha^{-1}

Es evidente que con la implementación del Modelo Integral de Recuperación de suelos sulfatados ácidos (labranza, mecanización, adecuación de drenajes en predios, materiales correctivos calcáreos y orgánicos, y siembra de especies ácido tolerantes) propuesto por el GISSAT, se logra en un ciclo productivo mejorar significativamente la productividad de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

BELLO, F. y GÓMEZ, M. 2001. Recuperación de suelos sulfatados ácidos del área del Distrito de Riego del Alto Chicamocha. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC.

GRUPO INTERINSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS TROPICALES, GISSAT. 2004-2006. Proyecto Colciencias "Caracterización de la problemática de los suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación de manejo para su habilitación agrícola. Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá)".

MUNEVAR, O. y PÉREZ, C. 2006. Exploración por la técnica de microparcels de la corrección química de los suelos sulfatados ácidos improductivos en el Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá). Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC.

NIÑO, A. 2005. Evaluación de planes de manejo para la corrección de suelos sulfatados ácidos del Distrito de riego del alto Chicamocha, utilizando como cultivo indicadores papa criolla y remolacha. Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC.

SOTELO, Y. y PULIDO, F. 2004. Evaluación de planes de manejo correctivo en suelos sulfatados ácidos utilizado como cultivos indicadores avena y repollo en el Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá). Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC.



RESPUESTA DEL ARROZ A LA APLICACIÓN DE SÍLICE Y ZEOLITA

Julio Ernesto Viana V. –A
Gabriel Fernando Pardo B. – Cosechar Ltda.
Email : ferpardi@hotmail.com tel.: (098) 2715044 – (098) 6633239



RESUMEN

El cultivo del arroz extrae altas cantidades del elemento **sílice** el cual se va haciendo escaso en los suelos de los Llanos Orientales además de problemas propios de esta región como baja **capacidad de intercambio catiónico** y **pH** demasiado ácido. Debido a estas condiciones se adiciona a la fertilización convencional los productos de C.I. AGROMIL S.A. con alto contenido de **sílice** y **zeolita**, aumentando la producción en 27 bultos por hectárea reportando una **utilidad** al agricultor de \$810.000 por hectárea, después de haber descontado el costo adicional de los productos AGROSIL ZEO y LLANERO ZEO.

INTRODUCCION

En razón a la baja rentabilidad que está presentando el cultivo del arroz en las diferentes zonas del país, C.I. AGROMIL y COSECHAR LTDA. Establecieron una prueba demostrativa comercial en un lote del señor JOSE MORA, con la asesoría técnica del Ing. Agrónomo HUMBERTO LAGUNA con el objeto de observar la respuesta de este cultivo a las aplicaciones de sílice y zeolita

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en las finca pesqueros, inspección palmeras del municipio San Carlos de Guaroa en el departamento del Meta. La siembra del cultivo se realizó el día 22 de Octubre del 2006 y se cosechó el 27 de Febrero del 2007

Se utilizó semilla certificada de la variedad FEDEARROZ 369, sembrándose 220 Kg. / Ha en un lote de 2 hectáreas el cual había sido previamente acondicionado con Cal Dolomita. Se aplicaron los productos AGROSIL ZEO, LLANERO ZEO, y los fertilizantes convencionales como DAP, UREA, CLORURO DE POTASIO y elementos menores. El control de malezas se realizó con el herbicida AURA el cual causó efecto de toxicidad sobre el cultivo.

En la primera abonada se aplicó AGROSIL ZEO en dosis de 1 bulto por hectárea en mezcla con los fertilizantes tradicionales. Como en esta abonada se agregan fertilizantes especialmente de fuentes fosfatadas, la función del AGROSIL es hacer más eficiente el fósforo aplicado buscando de esta manera un buen desarrollo radical.





En la segunda fertilización tendiente a recuperar el arroz debido a un sobrepaso con el herbicida AURA, se pudo observar que al agregar LLANERO ZEO junto con el CLORURO DE POTASIO y LA UREA este tratamiento fue mucho menos afectado que el resto del lote, en razón al fortalecimiento de las células epidermales, por acumulación del silicio bajo la cutícula.

En la tercera fertilización se aplicó un bulto por hectárea de AGROSIL ZEO con los abonos convencionales buscando una alta liberación de nutrientes, pues en esta etapa se está iniciando la diferenciación floral (primordio) a nivel celular buscando que la planta tenga una adecuada disponibilidad de nutrientes, para lograr más espiguillas y estructuras florales. Esta etapa de desarrollo, junto con la época del macollamiento son las más importantes de la planta de arroz, pues en este momento se está definiendo la producción de acuerdo a las características genéticas de la variedad y la disponibilidad de nutrientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta las etapas críticas y con base a las diferentes experiencias de C.I. AGROMIL S.A., en las zonas arroceras del país, estos productos están diseñados para ser aplicados en las dosis recomendadas y en cada una de las etapas críticas del cultivo como son: formación de raíces, macollamiento y diferenciación floral. Al recolectar los lotes el tratamiento dio como resultado un incremento de 27 bultos /Ha con respecto al resto del lote donde no se aplicaron los productos, donde se obtuvieron 130 bultos por lo cual se traduce en un incremento del 17% lo cual al restar el valor de los productos adicionados dieron una rentabilidad neta de \$810000 mas producto de la venta de esos 27 bultos.

Una característica muy importante cuando se aplican estos productos, que contienen en su formulación silicio activado y que se observa muy bien antes de la recolección es el estado de la hoja bandera, la cual se mantiene totalmente verde siguiendo la espiga su maduración normal lo que demuestra que la hoja está activa produciendo FOTOSINTATOS necesarios para el llenado del grano, minimizando de este modo el vaneamiento ocasionado por las fuertes brisas que se dan en esta época de verano.

El AGROSIL ZEO y el LLANERO ZEO tienen incluida en su formulación la Zeolita, la cual aumenta la eficiencia de los fertilizantes con que se mezclen, incrementando el intercambio iónico, pues la Zeolita tiene una Capacidad de Intercambio Catiónico entre 120 y 150 meq. /100 Gr., 4 veces mayor que la de los mejores suelos, permitiéndole absorber iones y gases hasta que estos sean tomados por las raíces. La Zeolita tiene, además, la capacidad de retener el 30% de su peso en agua, protegiendo las plantas contra las condiciones adversas del tiempo como el estrés causado por heladas y sequías.

En cuanto al comportamiento del cultivo tratado se observó una mayor masa radicular, mayor macollamiento e igualmente el lote mantuvo una coloración verde permanentemente





y al final hubo mayor llenado de grano y el excelente peso lo que redondo considerablemente en el promedio en kilos por bulto. Otra gran ventaja fue una excelente calidad molinera lo que mejoro el precio del arroz. Adicionalmente todo el tiempo se observo un mayor desarrollo vegetativo de las plantas con respecto al lote donde no se aplicaron los productos de AGROMIL S.A.

CONCLUSIONES

Como conclusión se puede aseverar que la aplicación de estos productos únicos en el mercado con base en Sílice y Zeolita mejoran las condiciones del suelo aumentando la capacidad de intercambio catiónico lo cual permite el desplazamiento de los nutrientes de los coloides del suelo hacia la solución donde es absorbida por las raíces de la planta lo cual optimiza la fertilización pues lo nutrientes no se fijan en las partículas del suelo sino que son aprovechados completamente por el cultivo. Así es aplicado mucho menos fertilizante comparado con los abonamientos sin Zeolita. En aplicaciones típicas de fertilización con nitrógeno, el 35% de éste se lixivia por debajo de la zona de crecimiento y se dirige al acuífero para crear contaminación con nitritos y nitratos.

El Silicio es uno de los 2 elementos más abundantes de la corteza terrestre; no obstante, la acción de la meteorización hace que el silicio natural sea insuficiente para desempeñar su papel como nutriente de los cultivos, siendo necesario una fertilización complementaria.

Los suelos muy meteorizados, altamente lixiviados, ácidos con bajos niveles de materia orgánica y de silicio intercambiable son considerados pobres en elementos disponibles para las plantas.

Cuando elementos como el hierro, el aluminio, el manganeso se encuentran en cantidades toxicas en el suelo producen fijación del fosforo agregado como fertilizante obstruyendo la asimilación necesaria para la planta y en algunos casos la adición de calcio también produce el mismo efecto formando fosfatos, insolubles para el cultivo. El sílice cumple la función en el suelo formando silicatos con los elementos mencionados y liberando el fosforo, haciéndolo disponible para la planta.

En el cultivo es absorbido por este en forma de acido silícico acumulándose en las paredes celulares haciéndolo resistente a las enfermedades y plagas y resguardándolo de condiciones adversas del clima. También se ha demostrado que favorece el desarrollo de renuevos e incrementa el tamaño y peso de granos y frutos y la calidad del follaje y las flores.

BIBLIOGRAFICAS

"Uso de Zeolitas Naturales en la potabilización de aguas superficiales". Tania Rodríguez, Eduardo Márquez y colaboradores. CIPIMM 1994. Varona. 12028, km.1.5. Boyeros. La Habana. Cuba.



"Tratamiento integral de aguas de piscina". IV Conferencia Nacional de Zeolitas. Tania Rodríguez, Martha Velázquez y otros. La Habana. Cuba. 1998.

"Propuesta de planta para el tratamiento de aguas residuales de rastro de cerdo". Tania Rodríguez y otros México, 1997.

"Conferencias sobre el uso y aplicación de Zeolitas en los cultivos de: Plátano, Arroz, Café, y Hortalizas". Dr. Miguel Soca Nuñez. Instituto de Suelos. Autopista Costa - Costa, km.8½., apdo.8022, C.P,10800, Capdevila, Boyeros. La Habana. Cuba. Telf: 45-1166-88 fax: 453946

"Conferencia sobre el empleo de las zeolita en la industria de los fertilizantes químicos y orgánicos". Dr. Miguel Soca Nuñez. Instituto de Suelos. Boyeros. La Habana. Cuba.

"Conferencia sobre el empleo de la zeolita como control de nemátodos en el suelo". Dr. Miguel Soca Nuñez. 2Instituto de Suelos. Autopista Costa - Costa, km.8½., apdo.8022, C.P,10800, Capdevila, Boyeros. La Habana. Cuba. Telf: 45-1166-88 fax: 453946

"Comparación del sustrato de turba + zeolita, enriquecido con micorrizas comparado con el sustrato tradicional". Ing. Jorge A. Febles y colaboradores. 2006. La Habana. Cuba.

"Algunos resultados obtenidos con el empleo de las zeolitas en sistemas de zeopónicos". Ing. Jorge A. Febles y colaboradores. 2006. La Habana. Cuba.

"Influencia de la zeolita natural en el proceso de compostaje de la materia orgánica y rendimiento del cultivo de la papa". Autores: Ing. Jorge A. Febles¹ y Dr. Miguel Soca Nuñez². ¹Laboratorio de sólidos porosos y medio ambiente. Centro de Investigaciones para la industria minero-metalúrgica (CIPIMM). Varona. 12028, km.1.5. Boyeros ; ²Instituto de Suelos. Autopista Costa - Costa, km.8½., apdo.8022, C.P,10800, Capdevila, Boyeros. La Habana. Cuba. Telf: 45 -1166-88 fax: 453946.

"Zeolite and its application to the removal of Ammonia-Nitrogen in wastes. Proceeding of Natural Zeolites". Zenzi Hagiwara and Masashi Uchida. Arizona. EEUU. 1976.

"Natural Zeolites. In Zeo-Agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture". Munpton, F.A. Westview Press. Boulder, Colorado. EEUU. (1984). pp. 33-34.

"Characterization Zeolite materials in agricultural research. In Zeo-Agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture". Sheppard, R.A. Westview Press. Boulder, Colorado. (1984) pp. 79-86.



"Agronomic and horticultural. Use of zeolites: A review. In *Zeo-Agriculture. Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*". Barbarick, K.A. and Pirella, H.J. Westview Press. Boulder, Colorado. EEUU (1984) pp. 93-103.

CD de la Tierra, Encarta, Diccionario Enciclopédico de Selecciones de Reader's Digest.

[Revista Athanor Octubre 2006: art. El silicio orgánico](#)

[Better Farming Series 02 - The Plant - the Stem, the Buds, the Leaves \(FAO - INADES, 1976, 30 p.\) \(Better Farming Series 02 - la planta - el vástago, los brotes, se va \(FAO - INADES, 1976, 30 p.\)](#)

[Better Farming Series 19 - Market Gardening \(FAO - INADES, 1977, 56 p.\) \(Better Farming Series 19 - Mercado de huerto \(FAO - INADES, 1977, 56 p.\)](#)

[Manual Ambiental Volumen II - agricultura, energía minera, comercio industrial \(GTZ, 1995, 736 p.\)](#)

Respuesta del cultivo de arroz a la aplicación de **Silice** en los Llanos orientales, tesis pregrado no publicada Ing. Agronómica. Área Técnica **FEDEARROZ**
www.prof.uniandes.edu.co/~infquimi/VI_feria/id56_m.htm

Fedearroz (1995) reportó que en el cultivo del arroz existen más de ... Respuesta de Fedearroz 50 a la aplicación de **silicio** en forma edáfica y foliar ...
www.fedearroz.com.co/arroz/446/resumen.shtml

El magnesio se consideran para el arroz, junto con el Potasio y la **silice**, como los ... institución como las Oryzica y **Fedearroz** 50 (Martínez 1985). ...
www.agronet.gov.co/www/docs_si2/2006112716582_Plantacion%20de%20arroz%20con%20Oriego.pdf

LUIS ARMANDO CASTILLA LOZANO. I.A M.Sc Candidato a Ph.D. **FEDEARROZ** ... de la fertilización con **Silicio** en la. severidad de Helminthosporium en. **Fedearroz** 50 ...
www.flar.org/pdf/presentct-ca-05/informes-cfc/colombia-agronomia.pdf

Semillas de *Oryza sativa* L., variedad **Fedearroz** 50, proporcionadas por ... las fracciones recolectadas se llevó a cabo mediante cromatoplasmas de **silica** gel, ...
www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000200004&script=sci_arttext

Fedearroz y Syngenta, Pontificia Universidad Javeriana ... La CCF se realizó en placas de **silica** gel 60 (Merck 1.05721) y se...
educon.javeriana.edu.co/ofi/documentos/congresos/VI_Congreso.pdf



Absorbidos en mayor cantidad por la planta de arroz son **Sílice** (Si), ... Fósforo y Potasio que la variedad **Fedearroz 50** necesita para maximizar el ... www.conarroz.com/pdf/Proyecto%20de%20ensayo%20de%20niveles%20de%20fertilizacion.pdf



SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO



**EFICACIA DE LA CEPA ICA-J-96 DE *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*, EN
NUEVAS VARIEDADES DE SOYA EN LA ALTILLANURA COLOMBIANA.**

Carmen Rosa Salamanca Solís; Margarita Ramírez Gómez
csalamanca@corpoica.org.co; mramirez@corpoica.org.co

RESUMEN

Una fuente alternativa de fertilización nitrogenada es la fijación biológica de N_2 , realizada por bacterias simbióticas, que en la soya pertenecen al género *Bradyrhizobium* y se asocian con diferentes grados de especificidad a las nuevas variedades introducidas en el mercado nacional. Sustituir la fertilización nitrogenada ayuda no solo a la economía del cultivo sino a conservar la calidad de las aguas y el medio ambiente. El ICA y CORPOICA evaluaron y seleccionaron cepas eficientes de *Bradyrhizobium japonicum* para soya en suelos de los Llanos Orientales de Colombia y liberaron la cepa ICA J 01, sin embargo la reciente obtención de nuevas variedades para la altillanura, hacen necesario seleccionar cepas con mayor eficiencia. En el presente trabajo se evaluó en cuatro variedades de soya (Libertad 4, Superior 6, Sabana 7 y Taluma 5) la eficiencia de la cepa de *B. japonicum* ICA J-96 (SEMIA 5080=CPAC7) comparada contra dos testigos: la cepa ICA J 01 y la fertilización nitrogenada utilizando $150 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. El experimento se estableció (2006) en dos localidades: la Estación Experimental Taluma sobre un Oxisol bien drenado con una saturación de bases del 82.5 %; y en el C.I La Libertad, sobre un suelo de terraza alta bien drenado, con una saturación de bases del 33.8 % y al cual se aplicó $256 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ SO}_4\text{Ca}$, para alcanzar la saturación mínima requerida del 50 %. El cultivo adicionalmente se fertilizó con $100 \text{ P}_2\text{O}_5$, $60 \text{ K}_2\text{O}$, 20 Mg , $20 \text{ Borozinco} \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Las cepas empleadas contenían $10^8 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ de inoculo y se aplicó una dosis de 10 g por Kg. de semilla, equivalente a un $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. En cada sitio se utilizó un arreglo de campo de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables evaluadas fueron, número y peso seco de nódulos (30, 40 y 55 d.d.e), peso seco aéreo, contenido de nutrientes (40 d.d.e) y rendimiento ($\text{kg} \cdot \text{ha}$). En la E.E Taluma el mayor rendimiento se presentó con el testigo nitrogenado en todas las variedades con rendimientos entre 1.480 y $1.668 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tres de las variedades inoculadas (Superior 6, Taluma 5, y Sabana 7) con la J 96 superaron a la ICA J 01 en 53.5, 30.4, 12.2 %, respectivamente. En el C.I La Libertad, las variedades Superior 6, Sabana 7 y Taluma 5, inoculadas con la cepa J 96 superaron en rendimiento ($1.289, 1.281, 1.068 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), al testigo nitrogenado entre el 8.2, 12.5 20.5%; y a la cepa J01 entre 161, 122 y 157, %. La variedad La Libertad 4, obtuvo el mayor rendimiento con la aplicación de N ($1.268 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Los resultados indicaron que las nuevas variedades de soya Taluma 5, Superior 6 y Sabana 7 presentan especificidad con respecto a la cepa J 96 y la variedad La Libertad 4 a la cepa J01. Comparado con el costo de la fertilización nitrogenada se estimó que el ahorro en este insumo cuando se aplica el inoculo es del 91%.



Palabras clave: *Bradyrhizobium japonicum*, Fijación simbiótica de N₂, inoculación, cepas específicas, nitrógeno, soya, Oxisoles.

INTRODUCCIÓN.

El nitrógeno es un elemento esencial para todas las formas de vida y es el nutriente más limitante para la productividad agrícola, por su baja disponibilidad en la mayoría de los suelos del trópico. Además por su baja eficiencia del N (12-74 %) debida a la lixiviación y desnitrificación de las fuentes de N aplicadas. En el cultivo de soya, este nutriente representa más del 50 % del costo de los fertilizantes, mientras la fijación biológica de nitrógeno (FBN), representa una alternativa más promisoría, mediante la asociación de las bacterias del género *Bradyrhizobium* con el sistema radicular de la soya, suministrando todo el nitrógeno que la planta necesita. De esta manera el productor puede beneficiarse de esta tecnología, aumentando la productividad, reduciendo los costos y conservando la calidad del suelo y las aguas sin causar problemas ambientales. Olivares y Barea, 1991; Siquiera, 2001; Hungría, Campo y Mendes, 2001, Salamanca y Ramírez, 2000.

El ICA y CORPOICA (1987), seleccionaron cepas de *Bradyrhizobium japonicum* y liberaron la cepa ICA J 01, para el cultivo de soya, bajo las condiciones de los Llanos orientales de Colombia. Munevar, F, Ramirez, M, 1990. Sin embargo la reciente obtención de nuevas variedades con alto potencial de rendimiento para la altillanura, hacen necesario seleccionar cepas adaptadas a estos suelos y con mayor eficiencia simbiótica y competitividad, para contribuir a mejorar la nutrición con N y que estén disponibles para los productores.

En el presente trabajo se evaluó la eficiencia de la cepa de *B. japonicum* ICA J-96 (SEMIA 5080=CPACT7), en cuatro variedades de soya (Libertad 4, Superior 6, Sabana 7 y Taluma 5) comparada con dos testigos: la cepa ICA J 01 y la fertilización nitrogenada utilizando 150 Kg.ha⁻¹.

MATERIALES Y METODOS.

El experimento se estableció en septiembre de 2006, en dos localidades: la Estación Experimental Taluma (precipitación 2.606 m.m, temperatura 27 °C y humedad relativa 84.3 %, promedio anual), sobre un Oxisol bien drenado con una saturación de bases del 82.5 % y en el C.I La Libertad (precipitación 3.815 m.m, temperatura de 26 °C y humedad relativa 78 %, promedio anual) sobre un suelo de terraza alta bien drenado, con una saturación de bases del 33.8 %. Análisis de suelos Tabla 1.

Tabla 1. Análisis químico de suelos de las dos localidades. 2006 B-2007 A (Ver página siguiente)



Localidad	Paisaje	PH	M.O	P	ACI	Al	Ca	Mg	K	CIC efectiva	Sat. Bases. (%)	Textura
			(%)	ppm	meq.100g suelo ⁻¹							
E.E.Taluma	Altillanura	5,2	1,3	20	0,3	0,1	1,06	0,32	0,04	1,8	84,3	FA
C.I. La Libertad	Terraza alta	4,7	1,9	40	1,7	1,3	0,68	0,2	0,13	2,8	33,8	FA

Laboratorio de suelos del C.I La Libertad, Villavicencio, septiembre de 2006

Al suelo de terraza alta se aplicó 256 Kg.ha⁻¹ SO₄Ca, para alcanzar la saturación mínima requerida por el cultivo de soya del 50 %. El cultivo adicionalmente se fertilizó con 100 P₂O₅, 60 K₂O, 20 Mg, 20 Borozinco kg.ha⁻¹. Como fuente de N se usaron los tratamientos cepas de rizobio y el testigo con N mineral (testigo).

Variedades de soya evaluadas, adaptadas a suelos ácidos de Altillanura y Terraza alta.

Corpoica la Libertad 4: De hábito de crecimiento determinado, alto potencial de rendimiento y ciclo vegetativo de 95 a 115 días.

Corpoica Taluma 5: De hábito de crecimiento indeterminado, doble propósito grano/forraje y ciclo vegetativo de 120 días.

Corpoica Superior 6: De hábito de crecimiento determinado, con alto potencial de rendimiento y precocidad (95 a 100 días).

Corpoica Sabana 7: De hábito de crecimiento indeterminado, con alto potencial de rendimiento y precocidad (90 a 100 días).

Cepas de *Bradyrhizobium japonicum*. ICA J 01 (USDA 110), ICA J 96 (SEMIA 5080=CPAC7). La cepas empleadas contenían 10⁸UFC.g⁻¹ de inoculo y se aplicó una dosis de 10 g Kg. de semilla, equivalente a un kg. ha⁻¹.

Diseño experimental: En cada sitio se utilizó un arreglo de campo de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Las variables evaluadas fueron, número y peso seco de nódulos (30, 40 y 55 d.d.e), peso seco aéreo, contenido de nutrientes (40 d.d.e) y rendi/o (kg. ha). Los datos se sometieron a un análisis estadístico mediante el análisis de varianza y una prueba múltiple de comparación de medias de Tukey (5%).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la E.E Taluma, los resultados indican que el número y peso seco de los nódulos, fue mayor cuando se inocularon con la cepa J 96 con respecto a la cepa J 01 y las variedades Superior 6 y Sabana 7 y superaron significativamente a las variedades la Libertad 4 y la Taluma 5 en los tres muestreos. La nodulación fue buena y temprana (30 d.d.e) en las variedades Superior 6 y Sabana 7, mientras en las variedades La Libertad 4 y Taluma 5, fue tardía (45 d.d.e), sin embargo en el tercer muestreo (60 d.d.e) no se presentaron diferencias significativas entre variedades. Figura 1.



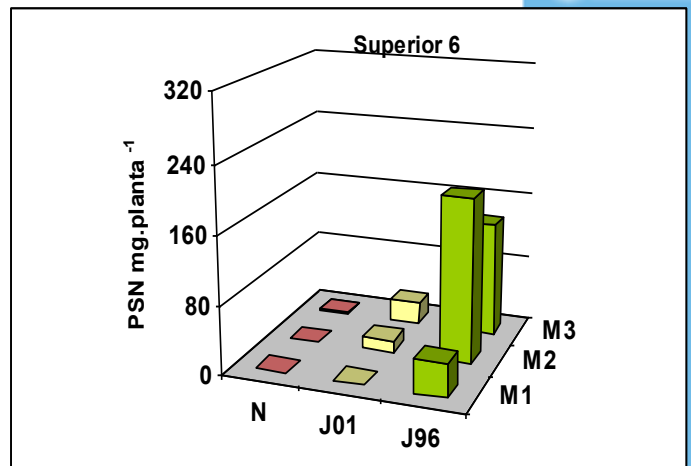
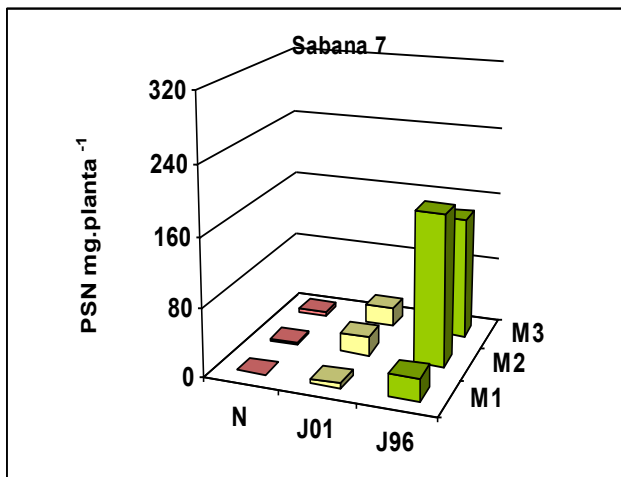
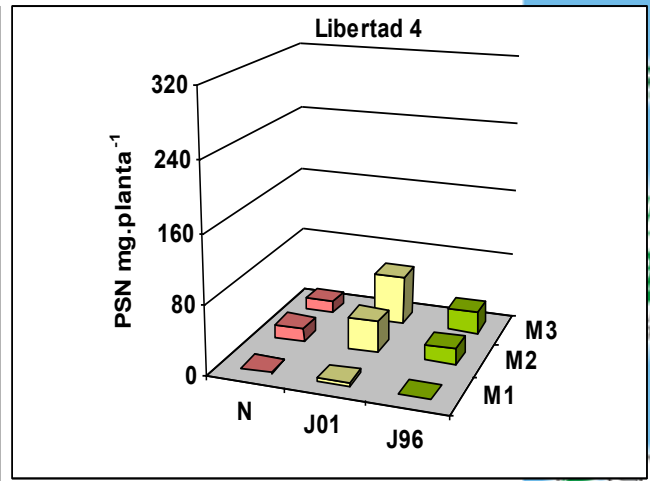
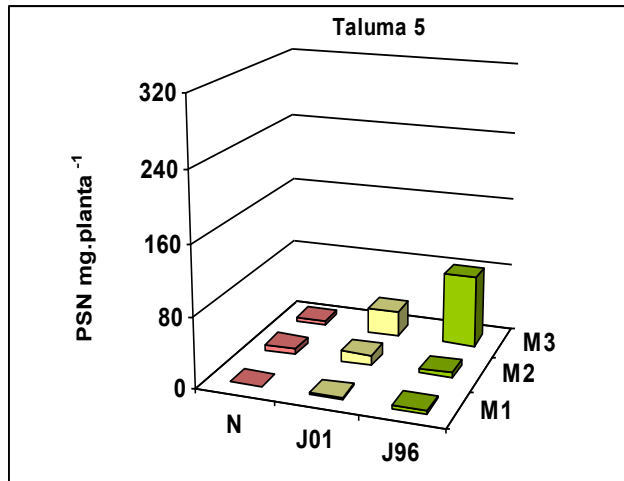


Figura 1. Evaluación de peso seco de nódulos (PSN), en cuatro variedades de soya en los tres muestreos. E.E Taluma. 2006 B.

El mayor rendimiento se presentó con el testigo nitrogenado en todas las variedades con rendimientos entre 1.480 y 1.668 kg. ha⁻¹. Tres de las variedades inoculadas (Superior 6, Taluma 5, y Sabana 7) con la cepa J 96 superaron a la ICA J 01 en 53.5, 30.4, 12.2 %, respectivamente. El análisis estadístico indica que no hubo diferencias significativas en el rendimiento entre las variedades, sin embargo se presentaron diferencias significativas en rendimiento al inocular la soya con la cepa J 96, con respecto a la J 01 y el testigo con N. Figura 2.



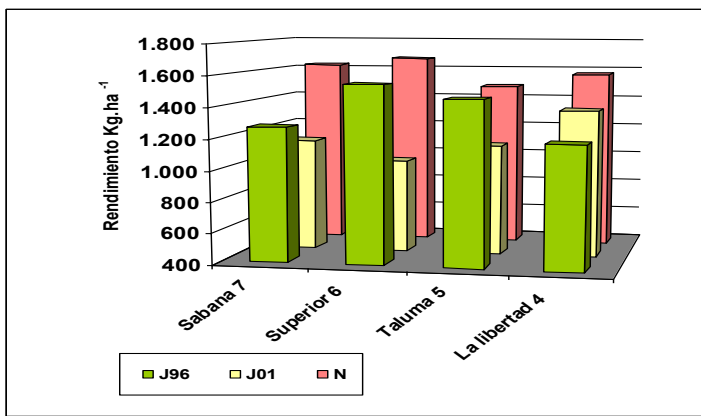
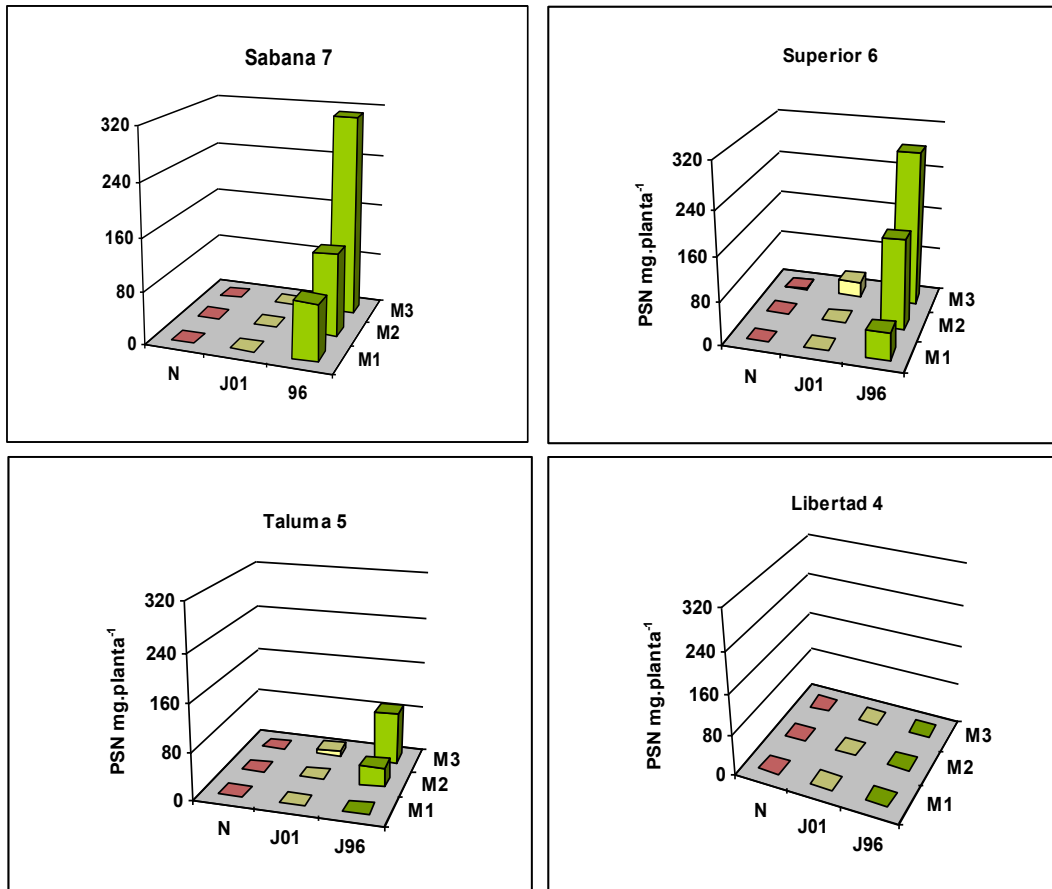


Figura 2. Respuesta en rendimiento de las variedades de soja a la inoculación y fertilización con N en la E.E Taluma, 2006.

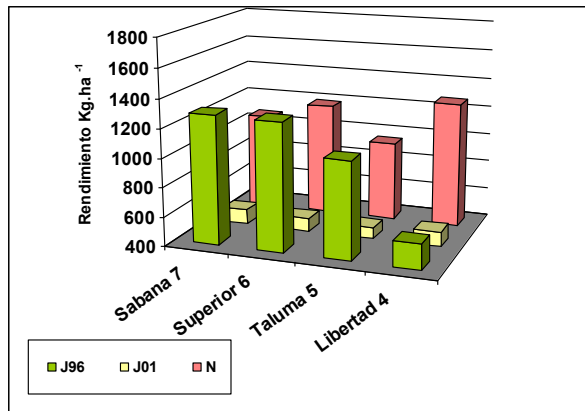
En el C.I La Libertad, los resultados indican que el número y peso seco de los nódulos en los tres muestreos, fue mayor cuando se inocularon con la cepa J 96 con respecto a la cepa J 01 y las variedades Sabana 7 y Superior 6 en los tres muestreos y superaron a la variedad la Libertad 4, que presentó una respuesta intermedia y la Taluma 5 con la menor respuesta. Las variedades Sabana 7 y Superior 6, presentaron buena y temprana nodulación (30 d.d.e) y las variedades la Libertad 4 y Taluma 5 nodulación escasa y tardía (45 d.d.e). Figura 3.

Figura3. Evaluación de peso seco de nódulos (PSN), en cuatro variedades de soja en los tres muestreos. C.I La Libertad Taluma. 2006 B.



Las variedades Superior 6, Sabana 7 y Taluma 5, inoculadas con la cepa J 96, superaron en rendimiento (1.289, 1.281, 1068 kg.ha⁻¹), al testigo nitrogenado entre el 8,2, 12,5 y 20,5%; y a la cepa J 01 entre 161, 122 y 157, %. La variedad La Libertad 4, obtuvo el mayor rendimiento con la aplicación de N (1.268 kg.ha⁻¹). El análisis estadístico indica diferencia significativa entre las variedades y una mayor respuesta con las variedades Superior 6 y Sabana 7, diferentes significativamente a la Taluma 5 y La Libertad 4. Se presentaron diferencias significativas en rendimiento al inocular la soya con la cepa J 96, con respecto a la J 01 y el testigo con N. Figura 4.

Figura 4. Respuesta en rendimiento de las variedades de soya a la inoculación y al N mineral, en el C.I La Libertad, 2006 B



Contenido de nutrientes en el tejido en las dos localidades.

En las dos localidades E.E Taluma y C.I La Libertad, los mayores contenidos de N (182 a 244 mg.planta⁻¹) y 196 a 320 mg.planta⁻¹) respectivamente, se presentaron al fertilizar con la fuente mineral, seguida por las cepas J 96 y la J 01. Con respecto a las cepas de rizobio, la J 96 superó en el contenido de N a la J 01 en las variedades Superior 6 (40%) y Sabana 7(36 %) en la E.E Taluma y en las variedades Taluma 5 (31 %), Superior 6 (22 %) y Sabana 7 (9 %) en el C.I La Libertad. Figura 5.

Estación Experimental Taluma

Centro de Investigación La Libertad

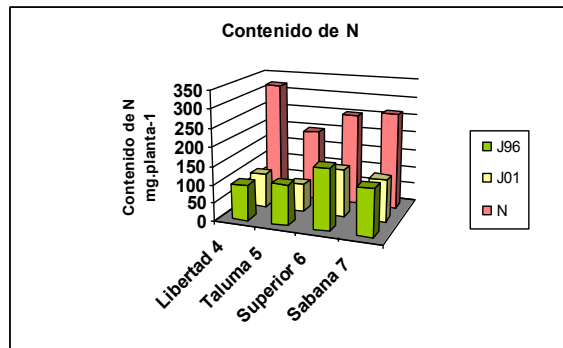
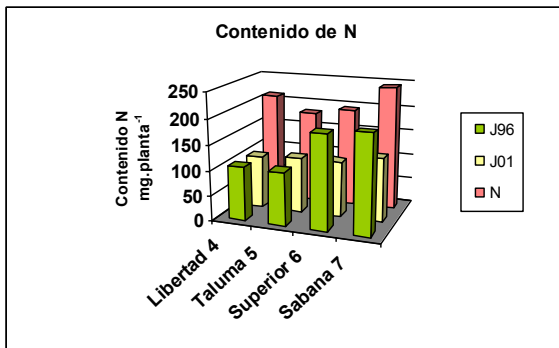


Figura 5. Contenido de nutrientes en el tejido de cuatro variedades de soya en la E.E Taluma y C.I La Libertad. 2006 B.



SOCIEDAD COLOMBIANA
DE LA CIENCIA DEL SUELO



CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que las nuevas variedades de soya Sabana 7, Superior 6 y Taluma 5, presentaron mayor especificidad a la cepa J 96 con respecto a la cepa J01.

La cepa J 96 demostró ser más precoz que la J 01 al ser inoculada en las nuevas variedades de soya Sabana 7 y Superior 6, caracterizadas como precoces. La respuesta diferencial en rendimiento de las variedades de soya a la inoculación y fertilización nitrogenada en las dos localidades, se debió principalmente a la mayor saturación de bases del suelo de la EE Taluma con respecto a del suelo del C. I La Libertad.

En la E.E Taluma las variedades Superior 6 y Sabana 7, al ser inoculadas con la cepa J 96, superaron en el contenido de N a la cepa J 01 y en el C.I La Libertad las variedades Taluma 5, Superior 6 y Sabana 7.

Comparado con el costo de la fertilización nitrogenada se estimó que el ahorro en este insumo cuando se aplica el inoculo es del 91%.

BIBLIOGRAFIA

HUMGRIA, M; CAMPO, R.J; MENDES, I.C.2001. Fixacao Biológica do Nitrogenio na cultura da soja.Londrina: EMBRAPA Soja. ISSN 1516-7860. Circular Técnica n. 35.48 p.

MUNEVAR, M.F; RAMIREZ, G.M. 1190. Uso correcto de inoculantes para soya.Cepas ICA. ICA, Plegable divulgativo N° 223.Bogotá.

OLIVARES, J; BAREA, J.M.1991.Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes. Vol. II: Fijación de N y Micorrizas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. pp. 1-17.

SALAMANCA S, C.R; RAMIREZ G, M.2000.ICA J 01 Biofertilizante para soya.Inoculante de rizobio para los Llanos Orientales. Plegable divulgativo N° 16 CORPOICA-Ministerio de agricultura. FOCC.Villavicencio, Meta, Colombia.



CONTRIBUCION DE LAS MICORRIZAS EN EL MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS AGROECOSISTEMAS DE PLATANO Y YUCA, DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, META, COLOMBIA.

Carmen Rosa Salamanca Solís¹; Cesar Augusto Cano Saavedra².
csalamanca@corpoica.org.co; biornata@yahoo.es



RESUMEN

La intensificación de la agricultura en el Piedemonte Llanero ha propiciado la degradación progresiva del suelo, el ambiente y la reducción de la productividad de los cultivos. Una alternativa para una agricultura más sustentable y menos dependiente de los insumos es el cultivo y uso de hongos micorrizicos en fincas, que ha demostrado mejorar la nutrición y calidad de los cultivos. Con el fin de contribuir al desarrollo agroecológico de los pequeños productores del municipio de Restrepo, se realizó la validación de la tecnología del uso de las micorrizas en los cultivos de plátano y yuca, en seis fincas de productores, entre el 2002 y 2003. Sobre cultivos de plátano variedades Bouroucou y Hartón y yuca variedad Reina fertilizada con la mitad de la dosis requerida, se evaluó el efecto de introducir una mezcla de hongos micorrizicos frente a la oferta nativa (testigo), con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En plátano a los 45, 90 y 150 días después de la germinación se evaluó altura de la planta, diámetro del tallo, número, largo y ancho de hojas y el peso seco y contenido de nutrientes (150 días) de la hoja de referencia. En yuca a los 30, 60 y 90 días se evaluó el número de brotes, peso seco y el contenido de nutrientes en el tejido (90 días). Se cuantificó el número de esporas y % de colonización de raíces por las micorrizas, mediante un muestreo del suelo rizosférico antes y después de aplicado el tratamiento. Los datos por finca se sometieron a un análisis estadístico y económico. Por el efecto de la micorriza introducida en el plátano Bouroucou (dos fincas) se observaron incrementos en la variable altura de planta en los periodos evaluados entre 10.8 y 86%. El peso seco de la hoja tres presentó incrementos del 34.5 al 127.6%. Con la variedad Hartón los incrementos fueron menores y cercanos al 9.1%. Los mayores contenidos de nutrientes en el tejido vegetal se encontraron con la micorriza introducida. Con micorriza introducida en dos fincas, en yuca se observaron incrementos entre el 13.1 y 54.5% en el peso seco de la parte aérea y mayores incrementos el contenido de nutrientes, mientras en una finca la micorriza nativa funcionó mejor. El mayor número de esporas (31 g suelo⁻¹) y la mayor colonización (57.25%) se observó con la micorriza introducida, con respecto a la nativa (14 por 100 g suelo⁻¹) y (37.5%) respectivamente. Las evaluaciones indicaron un mejor desarrollo de los cultivos y aprovechamiento de los nutrientes al ser inoculadas con micorrizas adicionales a la oferta ambiental y se refleja en una mayor producción y retorno económico ya que podría minimizar la aplicación de fertilizantes.

Palabras clave: micorrizas, plátano, yuca, producción micorrizas *in situ*, fincas integrales.





INTRODUCCION

La intensificación de la agricultura en el Piedemonte Llanero ha propiciado la degradación progresiva del suelo, el ambiente y la reducción de la productividad de los cultivos. Una alternativa para una agricultura más sustentable y menos dependiente de los insumos es la producción y uso de hongos micorrizicos en fincas, que ha demostrado mejorar la nutrición y calidad de los cultivos. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA), juegan un papel importante en el crecimiento y la nutrición de las plantas superiores, especialmente las que presentan mayor dependencia de las MA por presentar un sistema radicular poco desarrollado. Los beneficios de la inoculación con HMA eficientes se expresan en un mayor crecimiento de las plantas, ahorro en costos de fertilización, mayor producción y calidad del producto. La modificación del sistema radicular por la asociación simbiótica con los HMA contribuye a mejorar la absorción y transporte de agua y nutrientes del suelo a la raíz, por el incremento en el volumen de suelo explorado lo cual se refleja en un mayor desarrollo vegetal.

Con el fin de contribuir al desarrollo agroecológico de los pequeños productores del municipio de Restrepo, se realizó la validación de la tecnología del uso de las micorrizas en los cultivos de plátano y yuca, en seis fincas de productores, sobre cultivos de plátano variedades Bouroucou y Hartón y yuca variedad Reina.

MATERIALES Y METODOS

Los experimentos se realizaron entre el 2002 y 2003, en fincas del municipio de Restrepo, Meta, localizado entre los 4° 16' latitud Norte y 73° 34' 25" longitud Oeste de Greenwich, en las estribaciones de la Cordillera Oriental, con altura promedio de 570 m.s.n.m, temperatura promedio de 23,1 °C y humedad relativa de 83%, precipitación promedio anual de 5.062 mm. ICA, 1992.

Sobre cultivos de plátano variedades Bouroucou y Hartón y de yuca variedad Reina fertilizada con la mitad de la dosis requerida, se evaluó el efecto de introducir una mezcla de hongos micorrizicos frente a la oferta nativa (testigo), con un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

En plátano a los 45, 90 y 150 días después de la germinación se evaluó altura de la planta, diámetro del tallo, número, largo y ancho de hojas y el peso seco (150 días) de la hoja de referencia.

En yuca a los 30,60 y 90 días se evaluó el número de brotes, peso seco y el contenido de nutrientes en el tejido (90 días). Se cuantificó el numero de esporas y % de colonización de raíces por las micorrizas, mediante un muestreo del suelo rizosférico antes y después de



aplicado el tratamiento. La identificación taxonómica se realizó de acuerdo con Schenck y Pérez (1990), la separación de esporas por el método de Ohms (1957) modificado por Sieverding (1989) y la colonización de raíces por la técnica de Phillips y Hayman (1970) modificada por Sieverding (1989) y Vierheiling et-al (1998).

Cuantificación e identificación de las micorrizas introducidas.

Las micorrizas introducidas se identificaron como: *Paraglomus occultum*, *Acaulospora morrowiae* y *Glomus manihoh* y la cuantificación de esporas fue de 9 esporas suelo⁻¹ y 35 % de colonización de raíces.

Diversidad de las Micorrizas nativas, en las seis fincas de Restrepo, Meta, 2002.

Finca	Cultivo	Especies Predominantes															
		Acaulospora					E.	Glomus					Gi.	S			
Villa Rosita	Plátano	sp	la				c	ag		et	f	mc					
El Porvenir				lo			c	ag			f	mc		g			f
Villa Nice		sp					c	ag			f		ma				
Brisas Caney	Yuca						ag		et	f		ma					
Rancho Paraíso		sp					c	ag	c		f		ma				
Ecolandia		sp		tr	l	mo	my						mc		oc	sp	r

E: *Entrophospora*

Gi: *Gigapora*

S: *Scutellospora*

A.sp: *Acaulospora sp*; *A.la:* *A. lavéis*; *A.lo:* *A longula*; *A.my:* *A. myriocarpa*; *A.tr:* *A. trappei*; *A.mo:* *A morrowiae*

E c: *Entrophospora colombiana*

G.ag: *Glomus agretatum*; *G.c:* *Glomus constrictum*; *G.et:* *Glomus etunicatum*

G f: *G. fasciculatum* (actualmente *G. desertícola*);

G.mc: *G. macrocarpum* *G.g:* *Glomus geosporum*;

G.oc: *Glomus occultum*; (ahora *paraglomus occultum*);

Gi.r: *Gigaspora roseae*;

S.f: *Scutellospora fulgida* (ahora *Archaeospora trappei*).

Análisis del Contenido de Nutrientes en el tejido vegetal.

El contenido de nutrientes en el tejido vegetal en plátano se realizó en la hoja de referencia. (Hoja 3), a los 150 días y en yuca se analizó toda la planta a los 90 días.





Análisis químico y físico de suelos.

Se recolectaron muestras de suelo a una profundidad de 0-20 cm., en las seis fincas para realizar análisis químico del contenido de los elementos mayores y menores y materia orgánica y de textura por el método de bouyucos. Tabla 1.

El análisis de suelo indicó un rango de pH (4.7-5.3) entre ácido y ligeramente ácido, la materia orgánica (M.O), un contenido medio a alto (3.4 - 8.9%), donde el mayor valor se presentó en la finca Rancho Paraíso y el menor en Ecolandia. El fósforo (P) fue alto en tres fincas (32.3 - 85.0 ppm). En cuanto al aluminio (Al), presentó un rango entre 0.6 - 1.6 meq.100g⁻¹ suelo. El contenido de calcio (Ca), fue bajo (0.7 -1.6 meq.100g⁻¹ suelo) en cinco de las fincas y medio (3.1 meq.100g⁻¹ suelo) en la finca Villa Nice. El Magnesio (Mg) fue bajo en todas las fincas (0.3 - 1.1 meq.100g⁻¹ suelo) y el potasio (K) presentó valores bajos (0.1 meq.100g⁻¹ suelo) en dos fincas, medio (0.3 - 0.4 meq.100g⁻¹ suelo) en tres fincas y alto (0.5 meq.100g⁻¹ suelo) en la finca Villa Rosita. El Boro (B), presenta valores medios (0.23 - 0.26 ppm), con excepción de la finca Villa Nice (0.19 ppm), el Cobre (Cu), presentó un valor medio en cuatro fincas (1.50 - 2.43 ppm) y alto (5.97 ppm) en la finca Villa Nice. El Zinc (Zn) fue medio (2.00 - 2.43 ppm) en cuatro fincas y alto (5.93 - 15.30 ppm) en dos fincas, el hierro (Fe) y el manganeso (Mn), presentaron valores altos en todas las fincas.

Tabla 1. Análisis químico y de textura de suelos de las fincas. Restrepo, Meta.

Finca	pH	M.O	P	Al	Al	Ca	Mg	K	Textura
		(%)	ppm	meq.100g suelo ⁻¹					
Villa Nice	4,8	7,6	63,0	0,9	0,6	3,1	1,1	0,4	FA
Brisas del Caney	4,7	5,1	5,0	1,3	0,9	1,6	0,7	0,1	FA
Rancho el Paraíso	4,8	8,9	32,3	2,6	1,6	0,7	0,5	0,4	FA
Villa Rosita	5,3	5,2	85,0	0,8	0,6	1,2	0,6	0,5	FA
El Porvenir	4,8	7,6	9,7	1,9	1,2	1,2	0,6	0,3	F
Ecolandia	4,7	3,4	7	1,6	0,7	1,4	0,4	0,1	FAr

Laboratorio de suelos. CORPOICA, Villavicencio, marzo de 2002

Los datos por finca se sometieron a un análisis económico y estadístico mediante el análisis de varianza y una prueba múltiple de comparación de medias de Tukey (5%)

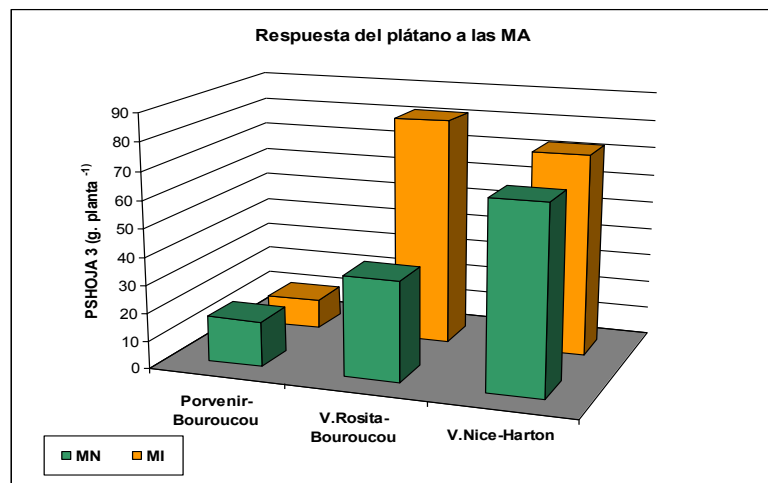


RESULTADOS Y DISCUSION

Respuesta del cultivo de plátano a las micorrizas arbusculares (MA)

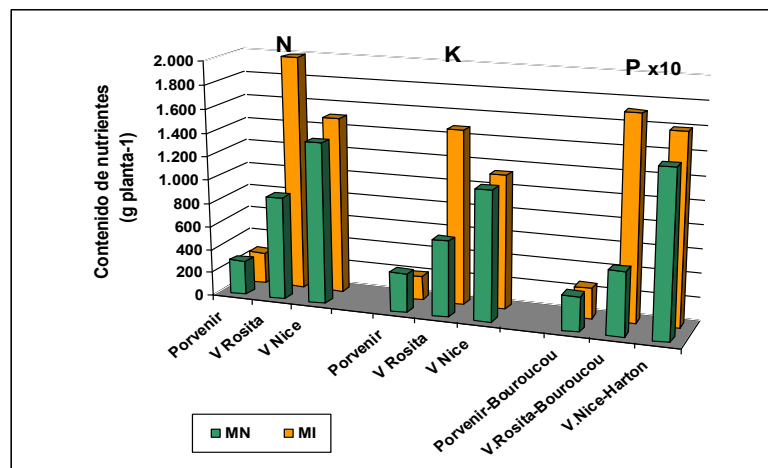
En plátano Bouroucou en las fincas Villa Nice y Villa Rosita se observaron incrementos en la variable altura de planta entre 10.8 y 86% por el efecto de la micorriza introducida, en los periodos evaluados (Figura 1). El peso seco de la hoja tres presentó incrementos del 34.5 al 127.6% con la variedad Bouroucou. Con la variedad Hartón los incrementos fueron menores y cercanos al 9.1%. En la finca El Porvenir, la micorriza introducida no tuvo un efecto adicional al de la micorriza nativa.

Figura 1. Efecto de la micorriza En el peso seco de la hoja 3 del plátano. Restrepo, 2003.



El contenido de nutrientes siguió la misma tendencia que con la variable peso seco de la hoja 3, donde los mayores valores se encontraron con la micorriza introducida en las fincas Villa Rosita (V. Bouroucou) y Villa Nice (V. Hartón). En la finca El Porvenir (V. Bouroucou), tanto las micorrizas introducidas como las nativas fueron afectadas por el exceso de humedad del suelo y la respuesta del cultivo fue menor. Figura 2.

Figura 2. Efecto de la micorriza en la nutrición del plátano, Restrepo, 2003.



Respuesta del cultivo de yuca a las micorrizas arbusculares (MA).

En yuca con micorriza introducida se observaron incrementos entre el 13.1 y 54.5% en el peso seco de la parte aérea y mayores incrementos el contenido de nutrientes, mientras en la finca Ecolandia la micorriza nativa funcionó mejor. El mayor número de esporas (31 g.suelo⁻¹) y la mayor colonización (57.25%) se observó con la micorriza introducida, con respecto a la nativa (14 por 100 g. suelo⁻¹) y (37.5%) respectivamente.

Figura 3. Efecto de la micorriza en el peso seco de yuca, Restrepo, 2003.

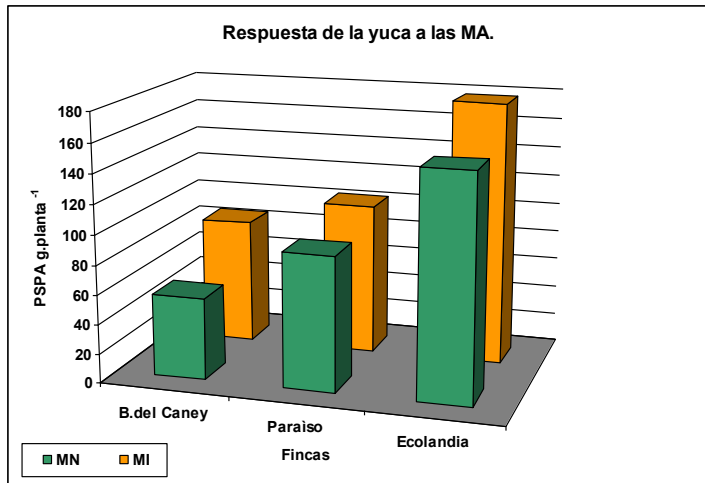
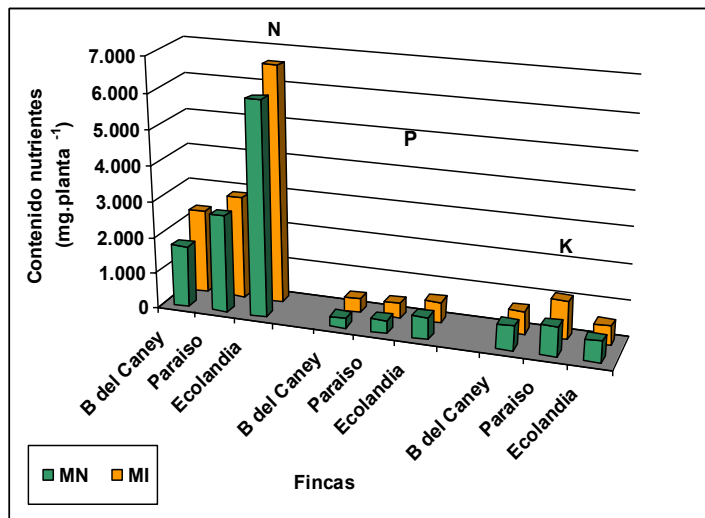


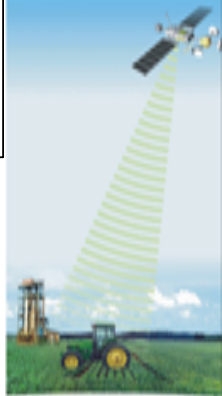
Figura 4. Efecto de la micorriza en la nutrición de la yuca. Restrepo, 2003.



CONCLUSIONES

Las evaluaciones indicaron que cuando se usa el 50% de la dosis de fertilización recomendada, se observa un mejor desarrollo de los cultivos y aprovechamiento de los nutrientes al ser inoculadas con micorrizas adicionales a la oferta ambiental.

A pesar que en algunos casos la oferta ambiental parece suficiente, inocular micorrizas cuando no se tiene conocimiento del potencial local es una inversión de bajo costo que asegura la respuesta a una aplicación reducida de fertilizantes y se refleja en una mayor producción y retorno económico.



BIBLIOGRAFIA

AZCON, A.C.; GARCIA, G.F. y BAREA, J.M. 1991. Micorrizas. En: Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol. II. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. Pp.129-147.

BALDANI, V.L.D.; DOBEREINER, J., 1999. Alternativas para una agricultura mais ecológica. En: Interrelacao fertilidade, biología do solo e nitricao de plantas. Soil fertility, Soil biology, and plant nutrition interrelationships. Editores: José Oswaldo Siqueira et-al Vicosa: SBSCS, Lavras: UFLA/DCS. Pp 171-174.

CANO S, C.A. 1996. Manejo de un banco de germoplasma de hongos formadores de micorriza arbuscular (MA). En: Micorrizas. Recurso biológico del suelo. Editor: Eduardo Guerrero Forero. Fondo FEN. Bogotá, Colombia. Pp 125-141.

SALAMANCA S, C.R. 1999. Las micorrizas como estrategia de mejoramiento nutricional de pasturas y especies frutales en el departamento del Guaviare. Boletín técnico No. 20. CORPOICA-PRONATTA. Villavicencio, Meta, Colombia. 24p.

SIEVERDING, E.1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Coopertion-Federal Republic of Germany (GTZ). 367p.



CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agricultura de Conservación

LA BIOFERTILIZACIÓN: UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA LA NUTRICIÓN VEGETAL

Luis Armando Castilla Lozano I.A, *M.Sc, Ph.D* FEDEARROZ. arrozibague@telesat.com.co
Martha M. Bolaños Benavides Biól, *M.Sc, Ph.D* CORPOICA.
marthabolanos@telesat.com.co

INTRODUCCIÓN: La fertilidad y productividad de un suelo, es el resultado de la interacción de diversos factores, entre los cuales están los químicos, físicos y biológicos. La fertilidad depende de una dinámica ecológicamente favorable y equilibrada en todos los nutrientes que forman parte del suelo. En condiciones naturales, existe equilibrio ecológico que se ha alcanzado a través del tiempo. No obstante, el uso del suelo para la agricultura, modifica necesariamente este equilibrio.

El manejo integrado de nutrientes se define como el conjunto de prácticas que se aplican al suelo o a la planta en función de la fertilidad natural, las necesidades del cultivo, el clima, la consideración de la fertilidad física, química y biológica, la oferta y tipo de fertilizantes, el nivel tecnológico del productor y la conservación del ambiente, para lograr alta productividad agrícola.

Manejar la fertilidad y los nutrientes de manera integral debe incluir criterios de enmienda orgánica e inorgánica, cultivos tolerantes a condiciones adversas de fertilidad del suelo, y uso eficiente de fertilizantes (dosis, época de aplicación y fuentes). Por otro lado, es urgente adecuar las técnicas en el diagnóstico y recomendación de los fertilizantes de acuerdo con el uso de genotipos de mayor potencial de rendimiento. Al igual que es necesario avanzar en la investigación en el uso de fertilizantes eficientes, tanto sólidos, para aplicación edáfica como líquidos buscando mayor eficiencia de los mismos asociados a los sistemas de riego. Adicionalmente, dentro de los criterios de sostenibilidad, se requieren estudios del impacto de los fertilizantes en el ambiente. Se deben contemplar los criterios económicos donde se consideran las deficiencias de alimentos de los países, su producción y las economías del mercado. Finalmente, es necesario mejorar el proceso de asistencia técnica en el uso de los fertilizantes y en el manejo integrado del suelo para lograr mayor disponibilidad de nutrientes y obtener mayor productividad, rentabilidad y protección al ambiente.



MANEJO INTEGRAL DE LA FERTILIDAD Y DE LOS NUTRIMENTOS DEL SUELO

Los problemas físicos y químicos del suelo son resueltos por prácticas de labranza y por la aplicación de enmiendas y fertilizantes, sin embargo, en los últimos años, el manejo de la fertilidad reconoce la importancia de procesos biológicos suelo e incluso de procesos bioquímicos como la actividad enzimática.

Es así, como cada día se publican resultados positivos acerca de la importancia de la simbiosis micorrízica en la mayoría de los cultivos de interés económico, debido a los incrementos en el aprovechamiento de los nutrientes y el agua. Igualmente existen muchos reportes sobre el efecto benéfico de los organismos del suelo sobre la nutrición y sanidad de los cultivos. Por lo tanto, la biota del suelo constituye una fracción primordial de la biodiversidad terrestre. La mayoría de la energía capturada por la vegetación es utilizada por la biota edáfica para una serie de funciones esenciales de la integridad y productividad del sistema. Estas funciones comprenden la descomposición, ciclaje de nutrientes, síntesis y mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), la modificación de la estructura del suelo, la regulación de la composición atmosférica y el control biológico de las plagas y enfermedades del suelo.

Hay una amplia gama de “bio-tecnologías del suelo” con el potencial para incrementar y mantener la productividad, pero por lo general están sub-utilizadas en la agricultura.

El manejo directo de la biota del suelo incluye la inoculación de especies de la biota del suelo, bacterias fijadoras de N_2 , hongos formadores de micorrizas, solubilizadores de fósforo, agentes controladores de plagas o enfermedades y macrofauna benéfica como las lombrices de tierra. El manejo indirecto es llevado a cabo por la manipulación de plantas y los sistemas de cultivo, la materia orgánica y la labranza con sentido conservacionista del suelo.

Para alcanzar el uso potencial de la biota del suelo a través del manejo indirecto del agroecosistema, se necesita establecer las relaciones entre los factores de manejo, la calidad de los insumos orgánicos, la composición de los grupos funcionales de la biota edáfica y el efecto neto en los procesos del suelo, estos conocimientos deben generarse mediante investigación.

A pesar de que el papel de varios organismos está bien establecido en una gran gama de funciones esenciales del ecosistema, aún no es clara la escala de diversidad (de especies o de niveles taxonómicos inferiores o superiores) necesaria para mantener esas funciones. Hay acuerdo en que una variedad de organismos del suelo efectúan procesos similares (organismos redundantes) y que pueden ser surtidos unos con otros en términos funcionales. Sin embargo, es necesario determinar indicadores de niveles críticos del conjunto funcional de la biota edáfica para mantener los procesos indispensables del suelo al igual que los medios para manejarlos.





Las poblaciones bióticas del suelo y los procesos que efectúan, cumplen varias funciones e influyen en las propiedades, en interacción con el medio ambiente físico y químico del ecosistema. Las funciones del ecosistema son aprovechadas y explotadas por el hombre para obtener los “servicios del ecosistema”, que incluyen ciclos de nutrientes, movimientos y almacenamiento de agua, erosión del suelo, control de plagas y desintoxicación química. La sostenibilidad de la producción agrícola es dependiente del mantenimiento de la integridad funcional de ciertos de estos servicios, mientras que otros tienen un significado ambiental mayor.

Una de las metas del uso sostenible de la tierra es el mantenimiento de la producción vegetal a niveles aceptables mientras no se comprometa la integridad del ecosistema. El uso de insumos orgánicos y el incremento de carbono en el sistema, han sido generalmente atribuidos al uso sostenible de sistemas de tierra. El desarrollo de estrategias de manejo sostenible del suelo implica un mejor conocimiento de procesos críticos que controlan los funcionamientos del recurso suelo.

Mejoras en la condición del suelo han sido frecuentemente asociadas con aumentos en el contenido de MOS. La importancia de la MOS en la fertilidad tiene que ver con su influencia sobre varias propiedades del suelo. La MOS actúa simultáneamente como fuente y sumidero de nutrientes, además afecta la estructura física del suelo y el régimen hídrico. También sirve de fuente de energía para la biota edáfica y por lo tanto influye en los procesos biológicos del suelo.

Por lo tanto, se hace necesario adoptar una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos integrando una combinación de fertilizantes químicos, abonos orgánicos, y biofertilizantes, todo ello dentro del marco de la sustentabilidad o sostenibilidad que es la tendencia surgida como contraposición a la revolución verde para reducir los daños causados al ambiente y a la salud de la humanidad por los métodos indiscriminados que se han empleado.

La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido los biofertilizantes son un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable de reducir los insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos.

LA BIOFERTILIZACION

Los Biofertilizantes pueden definirse como productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, aunque en poblaciones bajas y que al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial son capaces, mediante su actividad biológica, de poner a disposición de las plantas una parte importante de las sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo, así como suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento.



La importancia de estos bioproductos radica en su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo uso de recursos no renovables; además tiene las ventajas de que los procesos microbianos son rápidos y los biopreparados pueden aplicarse en pequeñas unidades para solucionar problemas locales específicos.

Uno de los grandes problemas de rentabilidad de la agricultura es la baja eficiencia de la fertilización y el uso inadecuado de los fertilizantes inorgánicos, lo cual con lleva a buscar estrategias que mejoren su eficiencia, al igual que es necesario el uso de fuentes eficientes para suplir a las plantas de los nutrientes necesarios para la producción.

La biofertilización es una alternativa viable para la agricultura tropical, que permite proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios, reducir costos de producción y disminuir el efecto de contaminación ambiental.

Según la Red de acción en alternativas al uso de agroquímicos (RAAA, 2005), La **Biofertilización** consiste en el uso de microorganismos para mejorar la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas en la solución del suelo. Los ejemplos más conocidos de biofertilización son: las bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*), algas (*Azolla*), hongos que viven en las raíces de las plantas (micorriza) y solubilizadores de fósforo, permitiéndoles mayor absorción de los nutrientes y protección contra plagas y enfermedades.

Estos microorganismos se pueden inocular o aplicar al suelo para facilitar su multiplicación. Por ejemplo actualmente se produce comercialmente inóculos a base de *Rhizobium*, *Azotobacter* y de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO (FBN)

El nitrógeno es uno de los elementos más ampliamente distribuidos en la naturaleza, en la atmósfera se halla en forma de dinitrógeno (N_2), donde representa alrededor de 78%. La cantidad de nitrógeno en la litosfera es solamente de 25% de la presente en la atmósfera; además, el nitrógeno de la litosfera se encuentra en forma muy estable en rocas primarias y sedimentarias, calculándose que tan sólo 0.03% del nitrógeno de la litosfera se encuentra en el suelo y que de éste sólo una proporción muy pequeña está en forma asimilable por los seres vivos. Por tanto el nitrógeno de la litosfera tiene una participación muy baja en el ciclo del nitrógeno de la biosfera y la mayor parte del nitrógeno necesario para el crecimiento de las plantas proviene en último término de la atmósfera. El N_2 es relativamente inerte, pero puede reaccionar con otros compuestos convirtiéndose en productos asimilables por las plantas y por otros organismos.

En la fijación industrial, la principal vía de producción de fertilizantes nitrogenados es la reacción Haber-Bosch, mediante la cual el N_2 es reducido a NH_4^+ por el H_2 a temperaturas y presiones muy altas aproximadamente 500 grados centígrados y 350 atm. Lo anterior





permite corroborar que la producción y utilización de fertilizantes nitrogenados de síntesis química conlleva un costo considerable, al ser su producción dependiente de la energía derivada de los combustibles fósiles y constituye un riesgo potencial de contaminación y eutrofización de las aguas dulces por lixiviación del NO_3^- de los suelos.

La primera vez que se obtuvo artificialmente el N_2 del aire, fue con motivo de la primera guerra mundial, luego se repitió el proceso para obtener el nitrógeno fertilizante; este consistió en sustituir la acción de la enzima nitrogenasa, la cual es sintetizada sólo por bacterias fijadoras, por alta presión y temperatura necesarios para romper el triple enlace que presenta la molécula de N_2 en el aire, el hidrógeno para incorporar al nitrógeno y formar NH_3 se obtiene del gas metano (Orozco, 1999).

La cantidad de N_2 fijado en la naturaleza es de aproximadamente 200 millones de Tm. por año. De esta cantidad, 5% es fijado por oxidación en las descargas eléctricas de las tormentas, del N_2 a ácido nítrico en presencia de O_2 y vapor de agua, y 95% restante es fijado por microorganismos (Aparicio y Arrese, 1996). Este último proceso se denomina fijación biológica de nitrógeno.

La fijación biológica de nitrógeno representa, una alternativa económica ecológicamente limpia frente a la fijación química. Además, la fijación biológica desempeña un papel muy importante en la economía del nitrógeno en la práctica agrícola, ya que la cantidad de nitrógeno disponible en la mayoría de los suelos cultivados es baja, particularmente en el trópico y en la actualidad no puede ser suplementada a escala mundial por la producción de fertilizantes. No obstante, los beneficios potenciales de la FBN en la agricultura no podrán ser aprovechados en su totalidad hasta que no se conozcan en profundidad los factores abióticos y bióticos que influyen sobre ella, así como sus mecanismos de actuación (Aparicio y Arrese, 1996).

Existen en la naturaleza tres grandes sistemas de fijación de nitrógeno por los microorganismos procarióticos: en forma libre, asociados a una planta o en simbiosis formando una estructura especial constituida para tal fin. La fijación libre y simbiótica, representa 50 y 120 millones de Mg de N/año respectivamente, mientras que por fertilizantes se aportan 80 millones (Legard y Giller, 1995).

Los organismos fijadores de nitrógeno tienen la facultad de sintetizar nitrogenasa y obtienen carbón e hidrógeno de la materia orgánica del suelo o de exudados radicales en la rizosfera de las plantas cuando son bacterias heterotróficas libres, o directamente de las plantas cuando son simbióticas. También hay autotróficas, es decir, que obtienen carbón del CO_2 del aire tal como obtienen N_2 (Orozco, 1999).

Experiencias de campo demuestran que la FBN por medio de la asociación leguminosa (alfalfa, trébol, frijol, etc.) y *Rhizobium*, ascienden a cifras considerables de nitrógeno fijado en el suelo (50-400 kg/ha/año).





Las bacterias libres aplicadas en forma de biopreparados a partir de *Azotobacter* pueden ser usadas para cualquier cultivo y de esta manera incrementar su población en el suelo. Estas bacterias utilizan el nitrógeno atmosférico para formar su propia célula; se multiplican rápidamente y proporcionan muchas ventajas, como regular el crecimiento de las plantas, producir hormonas y favorecer la solubilidad y mineralización de la materia orgánica agregada al suelo como abono. Estos microorganismos tienen la ventaja de ser aplicadas a cualquier cultivo, en cualquier época de desarrollo de la planta, antes o durante la siembra, en la germinación, en los aporques y en los trasplantes.

En el cultivo de arroz, estudios recientes han indicado que en algunos genotipos (IR 42) la FBN asociada al cultivo puede contribuir hasta con 30% de las necesidades de nitrógeno, y se están realizando esfuerzos para seleccionar genotipos promisorios y aislar bacterias diazotróficas como *Azotobacter* y *Azospirillum* que sean eficientes en la FBN en este cereal.

Estudios adelantados en el cultivo del arroz sobre inoculación con las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* produjeron plantas de arroz más vigorosas, con mayor biomasa aérea y radical especialmente en las líneas interespecíficas CT13941 y CT16049 cuando recibieron 50 % de la fertilización nitrogenada. La inoculación favoreció el crecimiento de los cultivares de arroz cuando se fertilizó con 50% de N, en dosis diferentes no se presentó efecto sobre esta variable. Cuando no se inoculó, se encontró que a mayor N más altura de planta, sin importar el cultivar.

Dentro de los resultados encontrados se determinaron diferencias entre los fenotipos estudiados, donde la Línea interespecífica CT16049 presentó mayor altura que los otros fenotipos a los 60 dde, sin embargo, a la cosecha este efecto no apareció.

En biomasa la tendencia fue similar en las dos épocas de evaluación (60 dde y cosecha), donde la concentración de N en espiga fue la variable de menor coeficiente de variación. En este parámetro se encontraron diferencias entre cultivares, donde *O. rufipogon* presentó respuesta a dosis bajas de N más la inoculación de las BFN, y las variedades comerciales como Fedearroz 50 a las dosis más altas de este nutrimento sin inoculación. El uso de nitrógeno por las Líneas interespecíficas de arroz presentó mayor eficiencia agronómica, cuando las plantas recibieron dosis medias de fertilizante nitrogenado más la inoculación con las BFN *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense*, presentando los valores más altos las líneas CT13941, CT14524 y CT16049-1 superando a los testigos.

La mayor recuperación aparente de nitrógeno se obtuvo con el fenotipo silvestre *O. rufipogon* con 50% de N más la inoculación. Además se presentaron diferencias entre cultivares en esta variable, donde la Línea interespecífica CT16049-1 con 50% de N más la inoculación superó a la variedad comercial Fedearroz 50.



La eficiencia fisiológica fue alta en las líneas interespecíficas CT16049-2 y CT13941 superando a los otros cultivares, con 100% de N sin inoculación.

El rendimiento de las Líneas interespecíficas CT13941 y CT13943 se incrementó con la inoculación de las BFN y la aplicación de 50% de la fertilización nitrogenada superando a los demás cultivares, presentándose como alternativas eficientes en esta tecnología.

La calidad de molinería se vio favorecida con la inoculación de las BFN, donde el índice de pilada se incrementó cuando se realizó la fertilización nitrogenada con 50% de N. En grano partido no se vio efecto por la inoculación.

La población de *Azotobacter* sp y *Azospirillum* sp se incrementó con la inoculación de las BFN más la aplicación de 50% de Nitrógeno, siendo mayor la concentración de *Azospirillum* sp a la cosecha. La Línea interespecífica CT16049-1 presentó alta asociación con *Azotobacter* sp en los tratamientos sin inoculación. La inoculación de las BFN presentó buena asociación con los cultivares Fedearroz 50, Bg90-2, y las líneas interespecíficas CT16049 y CT13943. Cuando no se aplicó N la población de las BFN *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum amazonense* fue menor cuando se realizó la inoculación posiblemente por competencia entre ellas por el nitrógeno.

Las líneas interespecíficas CT13941 y CT13943, obtuvieron los mayores rendimientos con diferencias estadísticas, con la inoculación de las BFN, sin embargo, el efecto fue diferente en cada cultivar para obtener mayores rendimientos.

La Línea interespecífica CT13943 presentó mejor asociación con las BFN ya que mostró incrementos en su población en el suelo rizosférico de este cultivar en comparación con la Línea interespecífica CT13941, sin embargo, este último cultivar se vio favorecido por la inoculación en la eficiencia agronómica, además presentó mayor recuperación aparente de nitrógeno y eficiencia fisiológica.

Diferentes estudios han mostrado la importancia del dualismo biológico-orgánico en la planta de arroz, dentro de los principales resultados se tienen que: Con relación al rendimiento de la planta de arroz, se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos, encontrándose diferencias entre fuentes de materia orgánica (**), proporción de la fertilización (**), y aplicación de biofertilizantes (*). En la interacción fuentes de materia orgánica y fertilización se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$). La interacción fuente de materia orgánica, dosis de fertilización y aplicación de biofertilizantes presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$).

De acuerdo con estos resultados la biofertilización se convierte en una alternativa viable desde el punto de vista económico y ambiental en el cultivo del arroz, lo cual redundará en mayor aprovechamiento de la fertilización y en reducción de costos en un rubro que tiene la tendencia siempre a subir.





En la aplicación de biofertilizantes con base en bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter* y *Azospirillum*) y un hongo solubilizador de fósforo (*Penicillium*), la interacción con la fuente de materia orgánica (compost), y la dosis de fertilización son fundamentales para encontrar una respuesta positiva a su aplicación, por lo que su recomendación debe partir de un buen juicio técnico para que esta sea eficiente y no se convierta en un gasto adicional sino en una opción viable económicamente (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimiento del arroz (Kg. /ha) bajo aplicaciones de biofertilizantes, compost y diferentes porcentajes de la fertilización, Ibagué, 2005.

% FERTIL	BIOF 1*	BIOF 2*	BIOF 3*	BIOF 4*	TESTIGO	MEDIA
0	4250	4750	3125	3500	2625	3650
50	6500	6375	6750	5375	4137	5827
75	8375	8375	9750	9750	8137	8877
100	9625	10125	9873	9375	9125	9624
MEDIA	7187	7406	7374	7000	6006	

*Numero de aplicaciones de un biofertilizante

MICORRIZAS

Otros microorganismos que tiene gran potencial como biofertilizantes son los hongos formadores de micorrizas (HMA). Las micorrizas se definen, como la asociación simbiótica, mutualística, benéfica entre las raíces de las plantas superiores (más de 80 %) con los micelios de los hongos del suelo (Zigomicetos); a tal punto que pueden suplir o complementar la fertilización de síntesis química.

Existen diferentes tipos de micorrizas de acuerdo a como se asocian con las células de las raíces de las plantas, pudiendo encontrarse dentro de las raíces (endomycorrizas) o fuera de ellas (ectomicorrizas).

Algunos beneficios de los hongos formadores de micorrizas son:

- Incremento notable en la superficie de absorción de los pelos radicales más la que se produce por la cobertura producida por el hongo.
- Mejoramiento de la absorción iónica y acumulación más eficiente y selectiva, especialmente en el caso del fósforo.
- Solubilización de minerales que se encuentran en el suelo, facilitando su absorción por las raíces de las plantas.
- Incremento de la vida útil de las raíces absorbentes; las raíces micorrizadas persisten durante mayor tiempo que las raíces no micorrizadas.
- Resistencia de raíces a infecciones causadas por hongos patógenos, tales como *Phytophthora* spp. *Pythium* spp., *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia*. Además, las micorrizas confieren tolerancia a las plantas al ataque de plagas como los nemátodos.



•Incremento de la tolerancia de la planta a las toxinas del suelo (orgánica e inorgánica), valores extremos de acidez del suelo y mayor resistencia a las sequías.

En el caso de las raíces, tubérculos y hortalizas donde el efecto de la micorrización sobre el suministro de nutrimentos fue estudiado a través de la aplicación de fertilizantes minerales, se encontró que en la mayoría de los cultivos, con la aplicación de 50-70% de las recomendaciones de fertilizantes, se obtuvieron los máximos rendimientos y una micorrización eficiente e inclusive en yuca solo se requirió de 25% de la dosis de fertilizantes, indicando en cualquiera de los casos un incremento sensible en la eficiencia de la toma de nutrientes por acción de la simbiosis.

En café la mayor influencia de la micorrización se ha presentado sobre la absorción del N y el P; sin embargo, en el caso de las raíces y tubérculos, cultivos potasófilos, los mayores efectos se presentan sobre la absorción de P y K, sugiriendo la importancia de los requerimientos de las plantas sobre el efecto encontrado. La simbiosis permite a la planta acceder a los diferentes nutrientes, siendo mayores los efectos comparativos sobre aquellos elementos que son más limitantes.

En Colombia existe gran diversidad de los HMA, en ecosistemas cafeteros se encontraron más de 26 especies, las cuales mostraron cierta tolerancia a condiciones de estrés por toxicidad de aluminio, deficiencia y/o exceso de nutrimentos, estrés hídrico. La diversidad y población de estos simbiosis también mostró asociación con el grado de fertilidad del suelo, principalmente con el contenido de materia orgánica y con los cultivos asociados a café (Bolaños, 2000).

SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

En diferentes plantas se ha demostrado los beneficios de la interacción con microorganismos, por ejemplo haciendo que las fuentes insolubles de fósforo se vuelvan disponibles para la planta, papel desarrollado por hongos levaduriformes, filamentosos, bacterias y actinomicetes, que tienen la capacidad de solubilizar complejos de fosfatos minerales insolubles, especialmente los formados con calcio. Adicional a su papel directo sobre la solubilización del P, los microorganismos implicados pueden mejorar el crecimiento de las plantas al incrementar la eficiencia de la fijación simbiótica de nitrógeno, aumentar la disponibilidad de otros elementos traza como Fe y Zn, además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal (Gyaneshwar *et al.*, 2002 citado por Sánchez y otros, 2005).

Normalmente la rizósfera es la zona del suelo donde existe una mayor proporción de microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF), puesto que los exudados radicales y detritus vegetal promueven el sustrato energético para que sea posible su actividad solubilizadora. Estos microorganismos son ubicuos, aunque la cantidad presente varía de acuerdo al tipo de suelo. En general, se puede afirmar que las bacterias solubilizadoras son





mucho más abundantes que los hongos con la misma capacidad (50% de la población total de un suelo dado pueden ser bacterias solubilizadoras, mientras que solo 0.1 – 0.5 % corresponde a hongos solubilizadores). La mayoría de los MSF, solubilizan complejos Ca-P y solo unos pocos pueden solubilizar complejos Fe-P o Al-P; por lo tanto, pueden más ser efectivos en suelos calcáreos donde los complejos con calcio están presentes y su efectividad en otros tipos de suelos puede garantizarse con un suplemento de roca fosfórica (Gyaneshwar *et al.*, 2002 citado por Sánchez y otros, 2005).

BIOFERTILIZACIÓN Y RIZOSFERA

La rizosfera es la interfase que existe entre el suelo y la raíz, esta zona es rica en exudados producidos por las raíces como parte del proceso de translocación de fotosintatos (Bolaños y Castilla, 2006). Los exudados sirven de sustrato para los microorganismos, de allí, que es en la rizosfera donde se encuentra la mayor población de estos, la cual puede ser de hasta 100 veces mayor que en el suelo no rizosférico (Katznelson, 1946, en Mengel y Kirkby, 2000). A su vez, los microorganismos influyen en la liberación de carbono desde las raíces, proceso conocido como rizodeposición. Se da así un ciclo que contribuye a mejorar la disponibilidad de nutrimentos en la rizosfera.

Por lo expuesto anteriormente, es pertinente considerar el efecto rizosfera cuando se pretende aplicar biofertilizantes, ya que se han encontrado evidencias de cambios químicos drásticos que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Hinsinger, 1998). Los resultados de estudios realizados por diferentes investigadores permiten concluir que es necesario investigar estas alternativas para usarlas eficientemente y lograr que se conviertan en soluciones prácticas, económicas, y de uso cotidiano en bien de la productividad del sector agropecuario.

BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO Y ARRESE. 1996. Fijación de nitrógeno. Fisiología y Bioquímica vegetal. España. 9: 193-213.
- BOLAÑOS, B. M. M. y CASTILLA, L. L. A. 2006. La Rizosfera. En: Biofertilización: Alternativa viable para la nutrición vegetal.
- BOLAÑOS, M. M.; RIVILLAS, C. A.; SUÁREZ, S. 2000. Identificación de micorrizas arbusculares en suelos de la Zona Cafetera Colombiana. En revista Cenicafé. Vol.51, No.4.
- CASTILLA. L. A. 2007. La biofertilización en el manejo integrado de nutrimentos para la nutrición Vegetal. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Ibagué. Tolima
- CASTILLA. L. A. 2002. Manejo integrado de nutrimentos. Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Ibagué. Tolima.
- HINSINGER, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. En: Advances in Agronomy Vol 64: 225 - 265.



LEGARD, S. F. AND GILLER, E. K. 1995. Atmospheric N₂ fixation as an alternative source. *In*: Nitrogen fertilization in the environment P.E Bacon (Ed) Marcel Dekker Ink N.Y 443-486.

MENGEL, K, y KIRKBY, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute, Basel, Swizerland. 692 p. ISBN: 3-906535037.

OROZCO, H. 1999. Biología del Nitrógeno: conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Tomo I. Universidad Nacional de Colombia. Medellín ISBN: 958-9352-11-1.

RAAA, 2005. en www.raaa.org 2006. Manejo ecológico de los suelos. Red de acción en alternativas al uso de agroquímicos.

SÁNCHEZ, J.; VALENCIA, H.; VALERO, N. 2005. Producción de ácido indol acético por microorganismos solubilizadores de fosfatos presentes en la rizósfera de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del páramo El Granizo.p: 178-193. En: Estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia / ed. María Argenis Bonilla Gómez. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Unibiblos. ISBN: 958-701-481-2. 353 p.



LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS COMO SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD PARA EL SECTOR AGROPECUARIO

Jesús María Pedraza Roncancio*
SENA Colombia

Presento un saludo muy especial a los participantes y mi agradecimiento a los organizadores que me brindaron la oportunidad de dirigirme a Ustedes con un tema sobre el cual estamos construyendo conocimiento y con el cual aspiramos a generar cultura de la calidad y ante todo a producir en forma sostenible, con el convencimiento de generar desarrollo más que crecimiento económico.

La FAO como organismo mundial promotor de una Agricultura sostenible y la seguridad Alimentaria del planeta, viene desarrollando grandes esfuerzos por contribuir a que todos los países el mundo generen las condiciones normativas y logísticas que permitan aplicar unas Buenas Prácticas Agrícolas, tratando de crear cultura de la Calidad.

Mi presentación la he tomado de los materiales que viene trabajando la FAO y de los lineamientos de política del Ministerio de Agricultura de Colombia, y de la norma NTC 5400 de BPA para Colombia.

CONTEXTO Y ENFOQUE FAO DE LAS BPA

El Plan de Acción de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación y los Objetivos de Desarrollo para el Milenio imponen a los gobiernos la obligación de reducir el hambre a la mitad para el año 2015. La FAO afirma en sus informes que los progresos son lentos en el logro de esta meta y estima además que la producción mundial de alimentos se tendrá que aumentar en el 60% para eliminar los déficit de las necesidades de nutrición, hacer frente al crecimiento de la población y tener en cuenta los cambios en las dietas en las tres próximas décadas.

En la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en septiembre de 2002, los gobiernos convinieron en un Plan de Aplicación y se lanzaron Iniciativas voluntarias por parte de los gobiernos, los organismos internacionales, el sector privado, organizaciones no gubernamentales (ONG) y organizaciones de la sociedad civil. Entre ellas cabe mencionar actividades destinadas a promover la agricultura sostenible y la gestión de los recursos naturales para contribuir a la seguridad alimentaria, el acceso a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, y el mejoramiento de los medios de vida, en particular con referencia al Capítulo 14 del Programa 21 sobre Fomento de la agricultura y del desarrollo rural sostenible. Se espera que la agricultura garantice la seguridad alimentaria en un conjunto de entornos, actualmente y en el futuro.



El logro de estos objetivos está influido por múltiples factores, entre ellos la evolución tecnológica, social y económica, y las políticas y los programas estatales conexos. Estos factores resultan amplificadas por la mundialización, que está modificando progresivamente la forma y el lugar en el que se producen, elaboran y comercian los alimentos y los productos agrícolas. En todas partes del mundo el consumidor se preocupa cada vez más por la sostenibilidad ambiental, económica y social, las repercusiones en la salud pública y la inocuidad de las prácticas y los productos agrícolas. Los elaboradores y vendedores al por menor deben atender a las demandas previstas del mercado con la oferta de alimentos disponible en una cadena alimentaria extendida. Los agricultores deben tener la capacidad de efectuar nuevas opciones con respecto a la agricultura y la tecnología para hacer frente a las demandas de una dieta inocua y sana en respuesta a nuevos reglamentos y normas, el cambio de las estructuras globales de consumo, el mejor acceso al mercado (mediante el suministro de alimentos inocuos) y las posibilidades potenciales de incorporar un valor añadido. Los gobiernos aportan el marco propicio político y regulador, en particular en lo que respecta a la inocuidad de los alimentos, la producción agrícola y el comercio, al mismo tiempo que tratan de alcanzar los objetivos de la seguridad alimentaria.

Si bien las BPA responden, en parte, al crecimiento de la demanda de una agricultura mundializada, el enfoque es también válido en el contexto de sistemas alimentarios locales. La agricultura depende de sistemas viables alimentarios comunitarios y locales que aportan a los agricultores y consumidores el mecanismo para beneficiarse de una relación más estrecha entre producción y mercado, facultando a las comunidades locales mediante la creación y el mantenimiento de recursos financieros y humanos dentro de la comunidad. Es preciso tomar en consideración las dificultades y limitaciones concretas que afrontan los productores en pequeña escala de los países en desarrollo al formular políticas y programas para elaborar y promover las BPA.

El enfoque basado en la cadena alimentaria con respecto a la inocuidad y calidad de los alimentos, elaborado en el documento COAG/2003/5, reconoce que la responsabilidad del suministro de alimentos que sean inocuos, sanos y nutritivos está compartido a lo largo de toda la cadena alimentaria por todos los que participan en la producción, la elaboración, el comercio y el consumo de alimentos. El enfoque basado en la cadena alimentaria con respecto a la inocuidad y calidad de los alimentos implica que las BPA deben aplicarse a lo largo de la cadena alimentaria para hacer mayor hincapié en las prácticas de producción primaria.

APLICACIONES ACTUALES DE LAS BPA SEGÚN FAO

Los gobiernos, las ONG y las organizaciones de la sociedad civil y el sector privado, están poniendo en práctica las aplicaciones de las BPA para atender a las necesidades de los agricultores y a las exigencias específicas de la cadena alimentaria, pero no de una manera



integral y coordinada. En muchos casos la elaboración de BPA en los planos internacional y nacional se ve completada con adaptaciones más concretas para uso en el plano local. A continuación se dan unos pocos ejemplos de aplicaciones actuales.

Los gobiernos, los organismos internacionales y las ONG promueven métodos de agricultura sostenible como la lucha integrada contra las plagas, la gestión integrada de los nutrientes y la agricultura de conservación, entre otras, destinados a mitigar riesgos ambientales y sociales concretos en un conjunto de sistemas de producción y explotación agrícola. La lucha integrada contra las plagas se describe como una práctica recomendada en el Código de Conducta sobre los Plaguicidas. Estos métodos son especialmente adecuados para los agricultores en pequeña y mediana escala de los países en desarrollo y contribuyen a la producción de alimentos y a la seguridad alimentaria locales y conservan los recursos naturales.

Las ONG están asimismo esforzándose por ocuparse de las buenas prácticas, en particular con respecto a la producción de alimenticios. Por ejemplo, el proyecto de mejoramiento del banano, administrado por una coalición de grupos de conservación no lucrativos, coordinado por la Alianza de Selvas Tropicales, promueve la sostenibilidad mediante la certificación de las explotaciones bananeras basada en nueve principios rectores. Estos principios, entre otros elementos, abarcan las prácticas de producción, la protección de la fauna y flora silvestre y la seguridad del trabajador.

Un ejemplo concreto del enfoque de las BPA es el de las normas precisas relativas a la producción orgánica destinadas a lograr agroecosistemas sostenibles óptimos. Estas normas se han elaborado detenidamente con el fin de proporcionar una base para satisfacer las demandas crecientes del consumidor de una producción sin el uso de fertilizantes químicos, plaguicidas, organismos genéticamente modificados y otras prácticas proscritas por la agricultura orgánica. Las directrices del Codex relativas a los alimentos orgánicamente producidos se refieren al propio proceso de producción y tienen por objeto proteger al consumidor contra pretensiones engañosas, proteger a los productores orgánicos de descripciones engañosas y orientar a los gobiernos en el establecimiento de normas relativas a la producción, la elaboración y el etiquetado de productos orgánicos.

Para reducir al mínimo o evitar la contaminación de los alimentos, se aplica una versión concreta de las BPA dentro de los códigos de prácticas establecidos relativos a la inocuidad de los alimentos, en el marco del Codex Alimentarius. La Comisión del Codex Alimentarius elabora y adopta normas, directrices y textos conexos sobre todos los aspectos de la inocuidad y la calidad de los alimentos que reflejan un consenso internacional. Las normas del Codex son puntos de referencia para el establecimiento y la armonización de normas nacionales. El Codex prescribe que las BPA en el uso de plaguicidas comprenden “todo uso inocuo autorizado a nivel nacional, en las condiciones existentes, de los plaguicidas





necesarios para un control eficaz y fiable de las plagas”. Las condiciones concretas comprenden cualquier etapa de la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución y la elaboración de productos alimenticios y piensos. Las Buenas Prácticas Agrícolas en este contexto se utilizan para establecer niveles máximos de residuos con respecto a los plaguicidas y están asimismo reconocidas en el Código Internacional de Conducta sobre la Distribución y Utilización de Plaguicidas.

Si bien el Codex Alimentarius define de manera concreta las BPA en el contexto del uso de plaguicidas, el Código de Prácticas (Principios Generales de Higiene Alimenticia) y otros códigos más específicos abordan las buenas prácticas en la producción primaria, así como los sistemas posteriores a la producción. Algunos programas nacionales han ampliado el uso de la expresión Buenas Prácticas Agrícolas para referirse a las prácticas destinadas a reducir al mínimo los riesgos microbianos para la inocuidad de los alimentos en los productos frescos.

Como parte del proceso de consulta que desembocó en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS), las ONG y las organizaciones de la sociedad civil, con inclusión de grupos de agricultores, han destacado algunos elementos fundamentales de las BPA. Entre éstos cabe mencionar: la actuación por medio de mecanismos basados en la comunidad para establecer buenas prácticas a partir de un amplio conjunto de enfoques y sistemas, muchas de las cuales combinan la agricultura tradicional basada en los conocimientos locales con la agricultura moderna; el otorgamiento de poder a los productores y el fortalecimiento de las organizaciones de agricultores para que empiecen a adoptar BPA; el reconocimiento de la importancia de unos rendimientos equitativos para los agricultores de las inversiones en sostenibilidad ambiental; y la concentración de los esfuerzos en alimentos producidos por el hombre, inocuos y de alta calidad que tengan en cuenta la seguridad alimentaria.

LAS BPA EN COLOMBIA

MARCO CONCEPTUAL Y LINEAMIENTOS

Tomado de: **PLAN NACIONAL PARA LA IMPLEMENTACION DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Diciembre de 2004**

Con el propósito de prevenir los riesgos asociados a la producción primaria y controlar los procesos, se han desarrollado las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) las cuales reúnen las condiciones y prácticas operativas recomendadas para asegurar la inocuidad, la protección ambiental y el bienestar de los trabajadores con un enfoque preventivo aplicado a toda la cadena.





Estos esquemas que surgieron inicialmente como Códigos de Prácticas orientados a la higiene de los alimentos, ocupándose de la prevención de los riesgos a lo largo de la producción, la cosecha y la poscosecha de productos agroalimentarios, hoy se ocupan tanto de los atributos del producto como de los atributos del proceso, tales como la sostenibilidad y la seguridad y bienestar de los trabajadores.

Las Buenas Prácticas Agrícolas cobijan las acciones involucradas tanto en la producción, como en el transporte y la comercialización de productos alimenticios de origen agrícola, pecuario y pesquero, orientadas a asegurar la inocuidad de los productos, proteger el medio ambiente y la salud y bienestar de los trabajadores; mediante prácticas ambientalmente sanas, higiénicamente aceptables y económicamente factibles, dando garantía de ello.

El marco de orientación sobre las Buenas Prácticas Agrícolas se encuentra conceptualizado en cuatro lineamientos generales: Inocuidad, Protección Sanitaria, Sostenibilidad Ambiental, y Salud; Seguridad y Bienestar Social. A partir de estos principios los sectores públicos y privados deberán interactuar en la construcción de las directrices específicas de gestión y cumplimiento para los diferentes sistemas de producción.

INOCUIDAD

El principio de inocuidad propende por ofrecer a los consumidores alimentos sanos, a través del cuidado en el desarrollo de prácticas productivas que minimicen los riesgos (físicos, químicos y biológicos) que pueden llegar a afectar la salud. A partir de este lineamiento, las estrategias de producción de alimentos, se deberán orientar a:

Prevenir, evitar o minimizar riesgos de contaminación originados en la producción primaria que puedan ocasionar Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), mediante el desarrollo de programas y actividades.

Diseñar, validar y establecer guías de Buenas Prácticas Agrícolas por tipo de producto o productos.

Diseñar, establecer y ejecutar programas de divulgación, capacitación y sensibilización enfocados en la manipulación higiénica de los alimentos desde la producción primaria hasta el consumidor final.

Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de trazabilidad en la actividad agrícola, acorde con las necesidades específicas de cada producto.

Implementar un sistema de manejo de información que permita comunicar al productor y los demás actores involucrados en la cadena agroalimentaria, posibles problemas o situaciones relacionados con la inocuidad de los alimentos.





PROTECCIÓN SANITARIA: Las empresas del sector agrícola y pecuario deben contar con estrategias y modelos integrales para la prevención y control de problemas fito y zoonosarios, de manera tal que permitan realizar un manejo sanitario de los productos agropecuarios requerido por los diferentes mercados, así como para efectuar un manejo y uso racional y eficiente de los insumos agropecuarios. Las acciones deben enfocarse hacia:

Uso de agroquímicos y medicamentos veterinarios aprobados por el ICA y que cuenten con su respectivo registro de comercialización y venta para el respectivo fin. La utilización de los insumos agrícolas debe estar condicionada a recomendaciones técnicas y usos descritos para los mismos por parte del fabricante.

Promoción del uso de técnicas complementarias de control de plagas y enfermedades fito y zoonosarias, enfatizando a la prevención, tales como planes de diagnóstico de plagas y enfermedades, implementación de programas de manejo integrado de plagas mediante sistemas de control biológico, genético, cultural y físico.

Desarrollo y definición de programas de monitoreo y control de plagas, enfermedades fito y zoonosarias, de manera sistemática y metódica, diseñados por entidades, y técnicos competentes en dichos temas, en la cual se planteen cronogramas, planes de uso y todas las especificaciones técnicas y de seguridad, en la cual se deben desarrollar las mismas.

Establecimiento de planes para la vigilancia y cumplimiento de la normativa, y el control de plagas y enfermedades fito y zoonosarias, mediante Sistemas de Vigilancia Epidemiológica.

Desarrollo, definición y establecimiento de niveles de tratamiento para las diferentes plagas y enfermedades fito y zoonosarias en las actividades productivas.

Programas tendientes a realizar un correcto y adecuado transporte y almacenamiento de productos y subproductos de origen animal y vegetal.

Establecimiento de planes orientados a garantizar, en los sistemas de producción, el bienestar animal especialmente encaminado al uso adecuado de medicamentos y biológicos veterinarios, control de fuentes de estrés como el hacinamiento, mala disposición de las fuentes de agua, falta de sombriío, y condiciones de limpieza de instalaciones y regulación del sistema de transporte adecuado por especie y demás lineamientos dictados por los organismos internacionales.

SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.: Las actividades agrícolas y pecuarias enmarcadas en el esquema de las Buenas Prácticas Agrícolas deberán encaminarse hacia una producción



consciente del compromiso integral con el manejo y protección del medio ambiente, siendo este un mecanismo de desarrollo de toda la “Política Nacional de Producción Mas Limpia” cuyas principales estrategias están orientadas a

Desarrollar la actividad productiva enmarcada en las medidas y recomendaciones planteadas por las guías ambientales elaboradas para cada sector productivo.

Realizar un uso racional del recurso hídrico en las actividades agrícolas mediante procesos de capacitación, sensibilización u reconversión tecnológica.

Realizar un uso racional de los recursos naturales y disminuir la contaminación ambiental mediante programas de reconversión tecnológica.

Establecer mecanismos y programas de manejo y disposición final de recipientes y residuos de agroquímicos, acorde con lo estipulado por la legislación ambiental colombiana.

Definir e implementar un sistema de indicadores de gestión ambiental, como estrategia de seguimiento, control y planificación de la Política de Producción más Limpia en el sector agropecuario y pesquero.

Desarrollar prácticas tendientes a la protección y conservación de ecosistemas naturales, así como áreas remanentes de bosques, mediante la ayuda de programas de reforestación y conservación de áreas cercanas a fuentes naturales de agua, vías, límites con comunidades.

SALUD, SEGURIDAD Y BIENESTAR SOCIAL.

Los sistemas de producción enmarcados en el esquema de las Buenas Prácticas Agrícolas deben realizarse de una manera sostenible desde el punto de vista de social. Es por ello que la actividad agropecuaria debe desarrollarse de manera tal que no afecte las condiciones de bienestar social, salud y seguridad de los trabajadores involucrados en la actividad productiva para ello, las actividades de la cadena agroalimentaria deben encaminarse a:

Desarrollar programas que permitan garantizar una cobertura de seguridad social integral a todos los trabajadores de la cadena agroalimentaria, bajo el Sistema General de Seguridad Social.

Definir mecanismos que permitan controlar, incentivar y dar seguimiento al pago salarial de los trabajadores del sector agrícola, de manera tal que este cumpla con el salario mínimo estipulado por el gobierno, lo pactado en negociaciones sindicales o pactos colectivos.



Establecer programas que permitan controlar los riesgos inherentes a la actividad desarrollada, mediante el establecimiento de programas de prevención de riesgos profesionales y factores de riesgos, así como el manejo de situaciones de emergencia.

Establecer un sistema para socializar la información y fortalecer la divulgación y capacitación sobre riesgos inherentes a las prácticas agrícolas conexas, así como los medios de prevención, que beneficien a los distintos actores de la cadena

LAS ACCIONES DE LAS INSTITUCIONES DE APOYO:

Desde año 2002, en Colombia se han venido desarrollando varias iniciativas Institucionales tratando de crear los cimientos para el desarrollo e implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas tratando de dar respuesta a las demandas de los empresarios exportadores, sin embargo los esfuerzos han sido pocos y aislados.

Hoy cuando el Ministerio ha dado pautas para el trabajo estas acciones tienden a fortalecerse e integrarse, es así como el SENA creó el Programa Nacional de BPA, para que a través de las acciones regulares de formación desde los Centros de formación y a través de la cofinanciación de proyectos con recursos Ley 344/96 se pueda contribuir a avanzar en la creación de una cultura de la calidad con énfasis en BPA. En este frente de trabajo se han cofinanciado alrededor de 25 proyectos dirigidos a empresas y organizaciones de productores en alianza con empresas de comercialización para el mercado Internacional y mercado especializado nacional

Por su parte otras Instituciones como la Corporación Colombia Internacional CCI, el Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola y Asohofrucol, gestionan proyectos y recursos para apoyar a los exportadores en el proceso de implementación y certificación de las BPA.

La CCI por su parte lidera un proyecto con recursos el BID-FOMIN para homologar la norma Colombiana de BPA con EUREPGAP y las normas de BPA de Estados Unidos y Japón, buscando generar las herramientas para que los empresarios Colombiano puedan aprovechar las oportunidades de exportación de sus productos a estos países.

COFINANCIACIÓN DE PROYECTOS DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA CON RECURSOS SENA LEY 344/96

El SENA destina el 20% de sus ingresos a las acciones de Innovación y desarrollo Tecnológico productivo, con el propósito de fortalecer a las empresas en la solución de problemas tecnológicos permitiéndoles elevar sus niveles de competitividad.

En este sentido a través de proyectos se apoyan iniciativas empresariales tendientes a generar o mejorar sus procesos productivos, a desarrollar nuevos productos o servicios.



Para el Sector Agropecuario se cuenta con la línea programática de acción denominada Buenas Prácticas Agrícolas, a través de la cual se apoya a los empresarios u organizaciones de productores, comercializadores, exportadores, procesadores de productos agropecuarios para que a través de alianzas en cadena presenten propuestas tendientes a resolver uno o varios problemas, e implementen las Buenas prácticas Agrícolas, elevando con ello los niveles de competitividad.

En el segundo semestre de 2005, se tiene previsto abrir convocatoria de proyectos con énfasis en BPA, allí los productores de plátano organizados de todo el país podrán presentar sus propuestas y acceder a recursos para en una acción conjunta sector público y privado se puedan poner a tono con las exigencias del mercado mundial.

BIBLIOGRAFÍA:

- FAO/OMS, Codex Alimentarius, Higiene de los Alimentos Textos básicos, segunda edición 2002.
FAO. Memorias Taller Mejoramiento de la Calidad de inocuidad de las Frutas y Hortalizas Frescas, Un enfoque Práctico. Cochabamba marzo de 2004
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, Plan Nacional para implementar Buenas Prácticas Agrícolas. Diciembre de 2004
ICONTEC, Documento en proceso de construcción de Norma NTC de BPA para Colombia, Junio de 2005.
SENA, Documento Programático Programa Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas, mayo de 2006



SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA

I.A. Joao Celso Rauber



CONTENIDO

- I. HISTORICO
- II. COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA
- III. MEDIO AMBIENTE Y AGRICULTURA CONSERVADORA
- IV. ADECUACION AL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA
- V. FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA
- VI. EXPERIENCIAS EN SABANAS – LLANOS ORIENTALES

I- HISTORICO

a) ORIGEN

Los primeros ensayos ocurrieron en el sur de Brasil, en los departamentos río grande del sur y Paraná, en la década de los setenta.

b)-MOTIVO

Contener el proceso erosivo provocado por las aguas lluvias.





Con el aumento de la agricultura mecanizada, el proceso erosivo se manifestó de forma agresiva inicialmente se busco minimizar ese efecto, con la construcción de terrazas, evaluando el manejo integrado en microbasias, “construcción de terrazas colectivas” controlando, almacenando o descargando el agua de las lluvias, el proceso erosivo se mantiene entre las terrazas.

El evento de la siembra directa, freno el proceso erosivo

c)- DIFICULTADES INICIALES

No habían sembradoras adecuadas al sistema ;

No había herbicidas eficientes para realizar la desecación (quema).

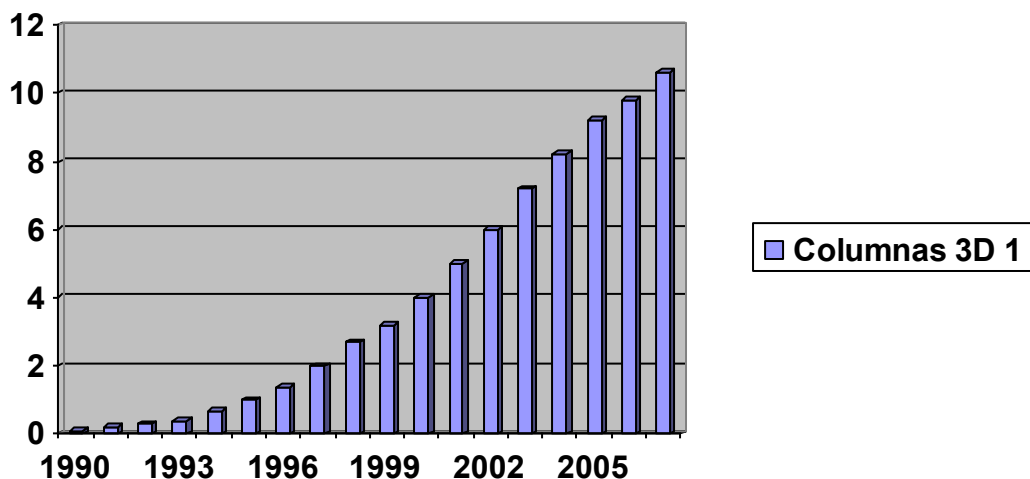
El herbicida – glifosato, viabilizo el control químico de las malezas formadoras de cobertura.

Hoy existen sembradoras de alta calidad para realizar la siembra directa.

d) CERRADOS BRASILEROS

La siembra directa en los cerrados brasileros tiene inicio en la década de los ochenta. La formación de la asociación de la siembra directa en los cerrados, (apdc) permitió rápidamente, el intercambio de experiencias , bien como agrego el sistema los cuerpos de investigación, resultando en adaptación rápida por la mayoría de los agricultores , trayendo resultados económicos y especialmente benéficos ambientales como cultivar sin proceso erosivo.

AREA DE SIEMBRA DIRECTA EN CERRADO BRASILERO

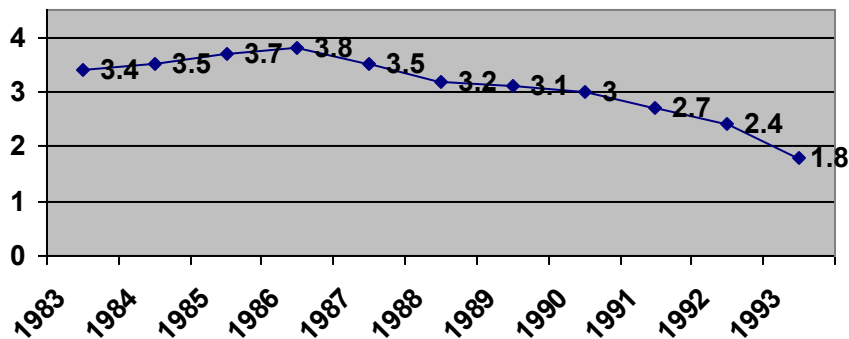




II- COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA

a) EN SIEMBRA CON LABRANZA CONVENCIONAL

COMPORTAMIENTO DE SIEMBRA CONVENCIONAL



Materia orgánica inicial 3.4%,
Materia orgánica perdida 1.6%

Materia orgánica final 1.8%

CONSIDERACION PARA PENSAR EN EL MODELO :

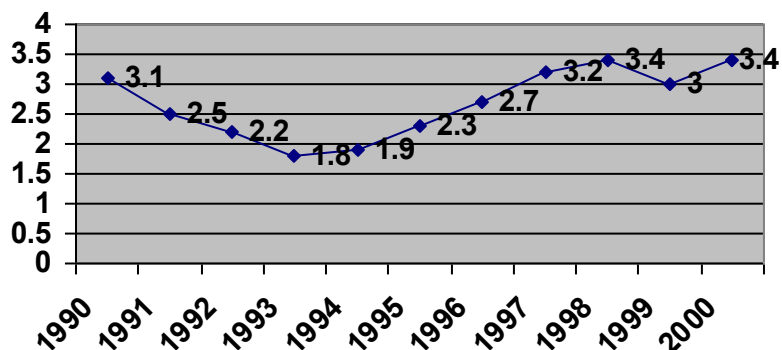
Siendo 3.4 → 100% en el suelo
1.8 → x

$x = 53$ → materia orgánica final

Es decir que perdimos 47% de la materia orgánica en 10 años, prácticamente 5% anual. Por esta causa se pueden desertificar ambientes "frágiles" como son los llanos orientales y cerrados brasileros.

b) EN SIEMBRA DIRECTA

COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA EN ROTACION DE MAÍZ /SOYA





La materia orgánica se redujo en los 3 primeros años, tanto en la siembra directa como en la convencional.

La reacción positiva se manifestó después de la descomposición de aproximadamente 15 toneladas de materia seca.

El crecimiento de la materia orgánica presente en el suelo, fue más significativa después que actividad biológica se estableció en el nuevo ambiente.

III- MEDIO AMBIENTE: AGRICULTURA COSERVADORA

a) ADAPTACION AGRICULTURA DE SUELOS: EXTRUCTURA FISICA

ARENAS → FRAGILIDAD

ARCILLAS → FERTILIDAD

LIMO → COMPACTANTE, CON AGUA SOLTA

b) LEGISLACION AMBIENTAL

Observación:

Nascentes / cursos de agua

Áreas de protección y preservación permanente

Áreas de reserva legal → % de la propiedad.

Buscar unir las áreas de protección y reserva entre vecinos, creando grandes áreas de preservación.

c) EROSIBILIDAD POR LAS LLUVIAS : La capacidad de producir erosión de las aguas lluvias depende básicamente: velocidad de caída libre (energía cinética), peso (tamaño de gota) e intensidad mm/hora y declividad

d) ERODIBILIDAD DE LOS SUELOS: Factor que determina el grado de exposición que un suelo presenta en proceso de erosión, provocado por lluvias con fuerza erosiva.

Infiltración de aguas de las lluvias

BRASIL

COLOMBIA

LLUVIAS mm	AGUA PERDIDA LT/10M2	LUVIAS mm	AGUA PERDIDA LT/10M2
227	0.26	25	2.8
453	0.54	20	0.9
189	0.14	55	8
287	0.63	25	1
118	0.04	55	10
267	0.62	28	3
289	0.74	40	4.5
140	0.06	42	4.3
78	0.03	40	2
352	1.30	20	3
309	0.64	30	5.5
334	1.20	65	6
TOTAL 3.043	6.2	TOTAL 445	51 LITROS



e) PROCESO EROSIVO.

El agua de las lluvias que no se infiltra esta escurre sobre el suelo presentando potencial erosivo.

En el proceso erosivo perdemos agua, suelos, correctivos, fertilizantes, también materia orgánica.

En suelo desnudo el impacto de la gota de lluvia, pulveriza los agregados del suelo, disminuido la porosidad, dificultando la infiltración.

En siembra directa, el impacto de la gota de lluvia, es amortiguado por la capa vegetal muerta, sobre el suelo y su infiltración es mejorada por acción del sistema radicular de cultivos y la actividad biológica.

EROSIONES



IV-ADECUACION A EL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA

1) SUELOS

Corrección: adecuar el pp., neutralizar Al^{+} → aluminio (elemento fitotóxico) y fertilizar adecuadamente

Descompactar: no se inicia y no se permanece practicando siembra directa en suelo compactado.

La compactación de suelos en siembra directa es fruto de un mal manejo.

Un buen manejo mejora la estructura de los suelos, a través del sistema radicular y actividad biológica.

2) MAQUINARIA:

La operación de siembra es realizada por la sembradora que corta la paja con un disco, abre el surco con cincel donde deposita el abono y en este mismo surco deposita las semillas.

Desaparecen las operaciones tradicionales de preparado del SUELO





3) PRACTICANTES

Tener conocimientos y aplicar los fundamentos básicos de la siembra directa.

Tener conocimiento real de sus lotes como: si los suelos están descompactados cuales son las malezas presentes, etc..

Estar de acuerdo con un proyecto agronómico a mediano y largo plazo

V- FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA.

COBERTURA MUERTA

ROTACION DE CULTIVOS

MANEJO

V.1. COBERTURA MUERTA

a) FUNCION PRIMERA

Proteger los suelos del impacto de las gotas de lluvia, disipando su energía cinética.

b) SEGUNDA

La materia vegetal muerta, depositada sobre el suelo, es el alimento para la actividad biológica, de la fauna y la flora de los suelos.

c) TERCERA

La cobertura muerta es fuente cicladora de nutrientes, que son sacados del suelo por el sistema radicular que son depositadas sobre el suelo al descomponerse.

b- LA COBERTURA FORMA UN NUEVO AMBIENTE

Con cobertura muerta la temperatura del suelo disminuye y reduce la variación térmica.

La luminosidad disminuye

La humedad aumenta

Este nuevo ambiente favorece el establecimiento de población de insectos, hongos y bacterias, habitantes del suelo asociados al proceso de descomposición de la masa vegetal.

La cadena alimenticia de los habitantes del suelo, debe ser estimulada, iniciando por los trituradores, descomponedores y transformadores para permitir la actividad de los enemigos naturales.

CADENA ALIMENTICIA DE LOS INSECTOS

AGRUPACION

A) CUANTO AL HABITO DE ALIMENTAR

FITOFAGOS: consumen plantas – sistema radicular. “materia viva”

ZOOFAGOS: predadores de otros insectos

SAPROFAGOS: animales y vegetales en descomposición

NECROFAGOS: Consumen Vegetales Muertos

GEOFAGOS: comen tierra





B) CUANTO AL SISTEMA DIRECTO

DEPENDIENTES

-CONSUMIR PAJA

-CICLO ANUAL DEFINIDO

FAVORECIDOS

-CICLO ANUAL INDEFINIDO

-CICLO ANUAL LARGO

-REPRODUCCION EN EL SUELO

REPRIMIDOS

-CICLO BIOLÓGICO MENOR

-REPRODUCCION EN LA SUPERFICIE

-AMBIENTE LOCAL ADVERSO

C) CUALIDADES DE COBERTURA Y PLANTAS PARA COBERTURA

a) la producción anual de materia vegetal debe estar alrededor 12 ton.

b) su descomposición debe ser lenta, relación c/n (alta), ya que en suelos frágiles como los cerrados y llanos, con climas tropicales, la descomposición es bastante acelerada debido a la humedad y temperaturas altas.

c) en la descomposición, tanto del sistema radicular, como en las plantas de cobertura no deben producir sustancias con acción alelopática para los cultivos futuros.

D) CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS PARA COBERTURA

DESEABLES

NO DESEABLES

1. Producir bastante masa vegetal.	1- Producir poca masa vegetal, ocupando grandes espacios, tipo arbusto.
2. Tener sistema radicular agresivo para estructurar el suelo	2- Emitir sustancias alelopáticas por el sistema radicular.
3. Ser de fácil control químico	3- Ser de difícil control químico
4. Establecimiento uniforme, con distribución homogénea de masa vegetal sobre los suelos.	4- Ser hospederos de enfermedades e insectos nocivos para el cultivo
5. Tener características agrónomicas de plantas cultivadas como producción de semilla y maduración uniforme	6- Desarrollo en ciclo desuniforme, y dormancia en la semilla
	7- Formadora de macolla

E) COBERTURA CON MALEZAS

1- producción de poca masa vegetal y de baja calidad

2-son plantas de difícil control en su mayoría

3- su establecimiento normalmente ocurre en focos, con distribuciones desuniformes sobre el lote.

4- muchas forman “ macolla” dificultando la calidad de siembra.

5-son hospederos de enfermedades e insectos



6- producen semillas con dormancia, germinando en los cultivos y compitiendo como invasoras permaneciendo viables por varios años.

7- su desuniformidad en la distribución sobre el lote de siembra, dificulta la calibración de maquinas en el suelo, siendo también propensas al atascamiento.

V-2 ROTACION DE CULTIVOS: A) el equilibrio en la cadena alimentaria que habita en el suelo, apenas se manifiesta quedando cultivados de forma diversificada interrumpiendo ciclos.

B) en monocultivos las plantas emiten exudados que con el pasar del tiempo crean fauna y flora del suelo especialistas, resultando en enfermedades radiculares endémicas.

C) los residuos vegetales de los cultivos también se tornan fuente de inóculo para enfermedades de la parte aérea.

D) los residuos vegetales de los cultivos deben ser cubiertos por masa vegetal, diferente al cultivo anterior, sucesivamente.

V-3 MANEJO: Por manejo entendemos las estrategias agronómicas y operativas de acción necesarias, para cultivar en siembra directa.- para tener sucesos no podemos errar en las estrategias y labores

PLANIFICACION: Definir un programa agronómico de cultivo plurianual (3/4 años) y una productora de masa vegetal.

Certificarse que los suelos estén adecuados en corrección / fertilización y estructurados, también con maquinaria adecuada.

La siembra directa exige controles químicos de la cobertura vegetal existente en el momento de la siembra (quema) , sabiendo cuando quemar, con cuanto (dosis) quemar , y con cuales productos.

VI- EXPERIENCIAS EN LOS LLANOS ORIENTALES



PRÁCTICAS ADECUADAS DE MANEJO DE NUTRIENTES: DEL ENFOQUE GLOBAL A LAS CONDICIONES LOCALES

Paúl Fixen¹ y José Espinosa²

INTRODUCCIÓN

Para desarrollar una discusión acerca de las Prácticas Adecuadas de Manejo (PAM) de nutrientes es necesario primero definir las en el enfoque global. El primer reto es definir que son las PAM. Se han ofrecido muchas definiciones en las últimas dos décadas sobre las PAM, con variaciones que dependen del interés del encargado en definir las. Varios ejemplos se presentan a continuación.

Las PAM incluyen prácticas de conservación de suelo y agua, otras técnicas de manejo y acciones sociales que se implementan en una región en particular como herramientas efectivas y prácticas para la protección ambiental (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, ASDA-ARS; Sharpley et al., 2006).

Un conjunto de prácticas agronómicas y de manejo del suelo y del cultivo que conducen al mejor óptimo uso de los insumos aplicados para la producción y que resultan en un mínimo de efectos adversos para el ambiente. Es un requisito para el uso eficiente y ambientalmente amigable de fertilizantes. Importante para todos los suelos, cultivos y tipo de fertilizantes (FAO; Tandon y Roy, 2004).

Las PAM son acciones diseñadas para ahorrar dinero usando el historial del lote y el análisis de suelo para reducir el gasto en fertilizantes y mantener el rendimiento (Retos de las PAM; Anónimo, 2006).

Métodos de producción agrícola que aseguran el óptimo crecimiento de las plantas y minimizan los efectos ambientales negativos (Universidad de Carolina del Norte; Lilly, 1991).

Prácticas desarrolladas a través de investigación que han sido probadas a través de implementación por los productores para lograr el óptimo potencial de rendimiento de sitio, eficiencia del uso de los insumos y protección ambiental (Instituto de la Potasa y el Fósforo; Griffith y Murphy, 1991).

La primera definición claramente se enfatiza la protección ambiental, sin mencionar producción o rentabilidad. La segunda es más explícita refiriéndose a la mejor forma posible de usar los insumos, pero el significado específico de la definición no es claro. La tercera definición es parte de un programa diseñado a reducir el uso de fertilizantes, pero

1 Coordinador de los programas de América, International Plant Nutrition Institute (IPNI), Brookings – Estados Unidos. Correo electrónico: pfixen@ipni.net

2 Director para la Oficina del Norte de Latinoamérica, International Plant Nutrition Institute (IPNI), Quito – Ecuador. Correo electrónico: jespinosa@ipni.net





admite también que lo mejor que puede esperar al seguir estas prácticas es mantener el y no mejorar el rendimiento, objetivo que no llena las expectativas de las futuras demandas de la agricultura. La cuarta definición explícitamente menciona la necesidad de prácticas que promuevan la nutrición óptima del cultivo conjuntamente con la protección ambiental. La última definición hace un fuerte énfasis en la productividad obtenida PAM e incluye además la eficiencia del uso de los insumos y la protección ambiental. Las últimas dos definiciones incorporan un objetivo primario en el uso de fertilizantes: la producción económica óptima basada en buena investigación.

LÍMITES EN LA AMPLITUD TÉCNICA DEL MARCO GLOBAL QUE NO LIMITEN LA UTILIDAD DE LAS PAM

Otro reto en delimitar el carácter global del las PAM de nutrientes es definir la amplitud técnica del marco global. Mucha investigación en el mundo han demostrado los meritos de una adecuada fertilización y los méritos de otras tecnologías de producción y conservación. El reto es de llegar a PAM de nutrientes específicas que al mismo tiempo se conjuguen con la variedad de PAM de agronómicas y de conservación apropiadas para el cultivo.

La ciencia y la experiencia claramente muestran que el impacto de las PAM en el rendimiento, calidad y rentabilidad del cultivo y en el control de la pérdida de nutrientes al agua o al aire está fuertemente influenciado por prácticas agronómicas (población, cultivar, labranza, manejo de plagas, etc.) y prácticas de conservación (terrazas, cultivo en fajas, manejo de residuos, cobertura, etc.). Las prácticas definidas con suficiente especificidad, para que sean útiles para tomar decisiones sobre el uso de nutrientes en el campo, son a menudo prácticas adecuadas solamente cuando se encuentran en el apropiado contexto de otras las PAM agronómicas y de conservación. La mejor práctica de manejo de nutrientes puede ser totalmente ineficiente si el sistema de cultivo en el cual se está empleado tiene otras deficiencias relacionadas con el manejo del cultivo.

LÍMITES EN LA PROFUNDIDAD TÉCNICA DEL MARCO GLOBAL QUE NO LIMITEN LA UTILIDAD DE LAS PAM

Un aspecto importante en la creación de un marco global de trabajo es conocer que tan profunda o detallada debe ser la versión global. Por un lado, mucho detalle puede restringir apreciablemente la especificidad las PAM de nutrientes y generar implicaciones tecnológicas que no pueden ser generalizadas a escala global. Por otro lado, un cuadro de trabajo muy general no provee suficiente uniformidad a los resultados de la utilización de las PAM para poder demostrar los beneficios de estas prácticas.



DETERMINACIÓN DE LA AUDIENCIA

La descripción de las PAM de nutrientes ocurre a todo nivel y escala de especificidad. Por un lado, existen publicaciones que describen en forma general las PAM (se deben aplicar fertilizantes de acuerdo a las recomendaciones basadas en los análisis de suelo, no aplicar más fertilizantes de lo recomendado, aplicar fertilizantes solo a cultivos en crecimiento, etc.), mientras que otras publicaciones describen detalladamente la forma, tipo y época de utilización específicos de las PAM (Lilly, 1991). Claramente, la audiencia para la primera publicación es la misma que para la segunda. Las dos tienen utilidad, pero la primera sirve para comunicar los aspectos generales de las PAM a una audiencia no técnica, sin práctica diaria en el quehacer agronómico, mientras que la segunda es específica para agricultores, técnicos de campo y consultores.

Para ser más efectivo, el marco global de las PAM de nutrientes debe dirigirse a una audiencia específica. Un marco global completo puede desarrollarse con suficientes detalles para servir de estructura para prácticas locales detalladas, de sitio específico, donde la audiencia son los agricultores, técnicos de campo y consultores. Sin embargo, una presentación mucho más simple y visual del mismo marco global puede ser útil para presentar el proceso al público con poco conocimiento tecnológico y a las autoridades que toman decisiones.

FUNDAMENTO DEL MARCO GLOBAL DE LAS PAM

Los principios deben basarse en ciencia

El marco global de las PAM debe basarse en principios científicos que permitan desarrollar las mejores prácticas de manejo. Los principios servirán como guía para escoger las prácticas con mayores probabilidades de alcanzar los objetivos del manejo de nutrientes. La aplicación del insumo apropiado, en la dosis apropiada, en el momento adecuado y en el lugar correcto. Estas prácticas deben ofrecer la mayor probabilidad de alcanzar los objetivos, antes que garantizar que los objetivos van a ser alcanzados. La **Figura 1** ilustra la complejidad del manejo de nutrientes en los sistemas agrícolas.

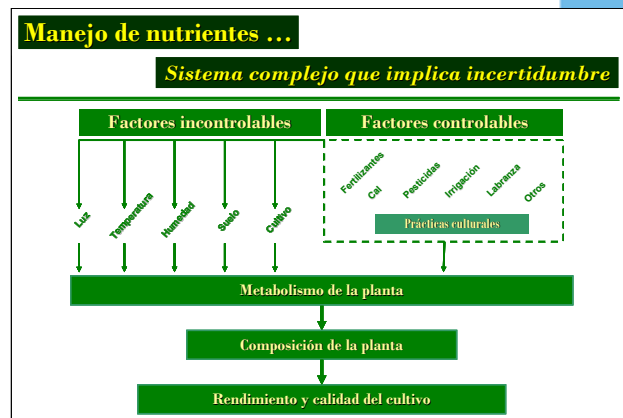


Figura 1. Complejidad del manejo de nutrientes en sistemas agrícolas (Fixen, 2005).

Muchos factores influyen marcadamente el crecimiento y metabolismo de la planta y por esta razón, las necesidades de nutrientes no son totalmente controlables resultando en considerable incertidumbre de cuales serán las dosis, sitio y época de aplicación en un sitio específico y en una determinada época del año. Lo mejor que puede hacer el encargado de manejo de nutrientes es emplear aquellas prácticas disponibles que tienen la mayor probabilidad de llevarle hacia la correcta decisión de manejo de nutrientes. La ciencia permite definir estas prácticas.

Las prácticas deben probarse a través de implementación por los agricultores

Los conocimientos basados en ciencia ofrecen solamente parte del fundamento del marco global de trabajo de las PAM de nutrientes. La parte complementaria se encuentra en la definición 5 de las PAM mencionadas arriba en este artículo, es decir: las PAM deben ser probadas a través de implementación por los agricultores. En ocasiones, la ciencia puede llegar a desarrollar prácticas que simplemente no pueden ejecutarse en el campo. Puede ser, por ejemplo, que el requerimiento de tiempo o trabajo sea muy alto, o que una aparente PAM entre en conflicto con otra PAM. Por lo tanto, la facilidad de ejecutar la práctica en forma simple debe ser parte del fundamento y la evaluación más segura de esta facilidad se logra probando la PAM en lotes de agricultores.

Flexibilidad del marco de trabajo

El conocimiento científico no es estático y cambia a medida que se expande. De igual manera, las PAM son dinámicas y evolucionan a medida que la ciencia y la tecnología amplían la comprensión de cierto principio y las oportunidades de uso. La experiencia práctica enseña al observador perspicaz que funciona y que no funciona bajo las condiciones específicas del sitio.

La **Figura 2** ilustra esquemáticamente como las herramientas de decisión, basadas en principios científicos, pueden facilitar la integración de múltiples factores, específicos del sitio, en una predicción del tipo de insumo, dosis, época y sitio correcto de aplicación. Esa predicción lleva a una decisión de manejo y una acción asociada.

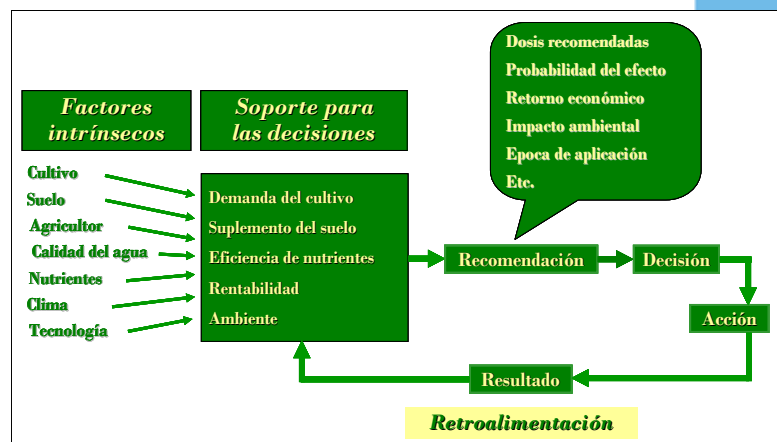


Figura 2. Proceso de toma de decisiones en manejo de nutrientes (Fixen, 2005),

Con el tiempo se conoce el im-pacto económico, agro-nómico y ambiental de la acción y esa experiencia sirve para retroalimentar el proceso y afinar las decisiones de manejo, permitiendo así mejores predicciones en el futuro.

Al considerar los varios posibles factores que pueden influenciar la naturaleza de las PAM de nutrientes es evidente la necesidad de la flexibilidad. Algunos de estos factores y sus repercusiones en manejo local de nutrientes se describen a continuación:

Cultivo: Generalmente se considera el potencial del rendimiento y el valor del cultivo. En algunos casos el contenido de nutrientes en los tejidos o el color de las hojas. También se incluyen varias prácticas culturales que pueden influenciar el manejo de nutrientes.

Suelo: A menudo se relacionan con los índices de suplemento de nutrientes del suelo u otras propiedades físicas, químicas o biológicas que influencian el ciclo de nutrientes y el crecimiento del cultivo.

Agricultor: Pueden incluir el tipo de tenencia de la tierra, disponibilidad del capital, oportunidad de costos, experiencia/educación del agricultor y de los técnicos y consultores locales y los objetivos filosóficos del manejo de nutrientes.

Insumos: Incorporan información sobre fuentes de nutrientes disponibles como fertilizantes comerciales o residuos de corral, compost y otros materiales que aportan nutrientes, costo de estos materiales y costo de aplicación.

Calidad del agua: Pueden incluir restricciones en la aplicación de nutrientes en zonas cercanas a cuerpos de agua o consideraciones debidas a la calidad de la tabla de aguas.

Clima: Se pueden usar modelos de simulación para definir las prácticas de manejo de acuerdo a las condiciones climáticas, pero también se puede usar información en casi tiempo real para un ciclo de crecimiento específico y pronósticos de clima de corto plazo.

Tecnologías relevantes: Disponibles en el sitio y que puedan acertadamente tener influencia en la definición de las mejores prácticas de manejo. Por ejemplo, el afinamiento de las dosis y épocas de aplicación de N durante el ciclo de crecimiento puede lograrse con tecnologías de sensores electrónicos en unos sitios y en otros con tablas de comparación de colores.

La naturaleza dinámica, de sitio específico, de las PAM de nutrientes y la importancia de la flexibilidad local condicionan la adopción de estas prácticas.

Ejemplo de un marco global de trabajo para implementar PAM de nutrientes en dos situaciones diferentes

En el marco global de trabajo, considerando los retos y características discutidas anteriormente, se pueden diseñar diversas posibilidades y una de ellas se presenta en la **Figura 3**. Este marco de trabajo tiene 5 partes: metas, objetivos, principios, prácticas y evaluación. Las primeras tres partes son consideradas globales mientras que la cuarta y la quinta son consideradas locales. A continuación se describen cada una de las partes de este marco propuesto.



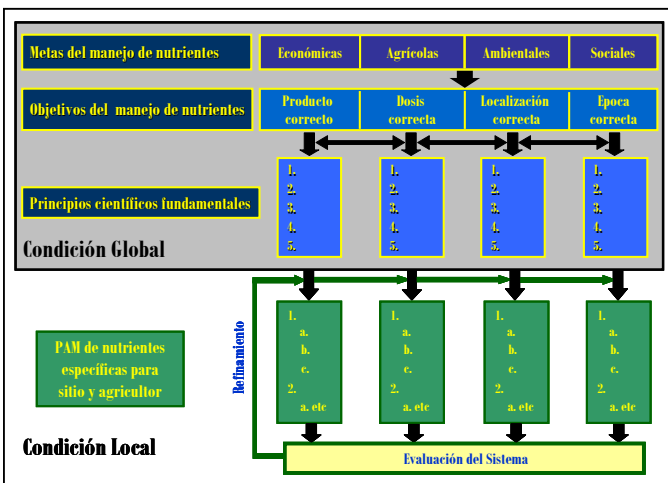


Figura 3. Marco de trabajo del cual se pueden adoptar PAM de nutrientes (Fixen, 2007).

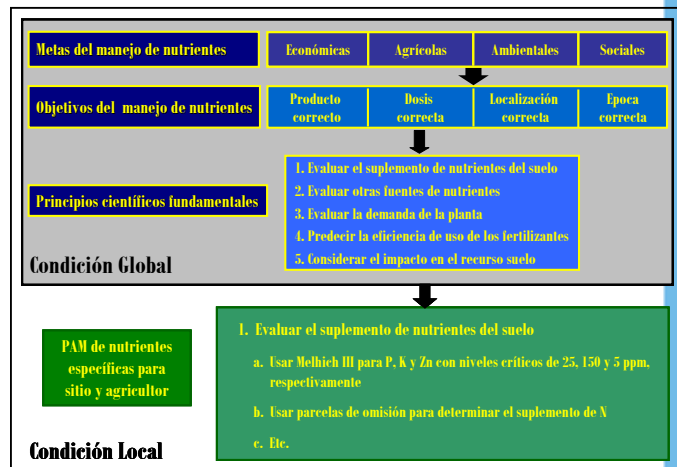


Figura 4. Ejemplo de un marco global de trabajo con PAM de nutrientes (Fixen, 2007).

Metas del marco global de las PAM de nutrientes: Es importante indicar adecuadamente estas metas en el marco global. A menudo solo se consideran tres categorías, pero en este caso se incluyen las metas agronómicas teniendo en cuenta las interacciones de manejo de nutrientes con otros factores de la producción.

Objetivos del manejo de nutrientes: El objetivo fundamental es aplicar el producto adecuado a la dosis, localización y época adecuados. Las flechas horizontales conectando los objetivos del manejo de nutrientes ilustran que existen considerables interacciones entre los cuatro objetivos. Por ejemplo, la época y sitio de localización de nutrientes a menudo están influenciados por el material a utilizarse. La dosis será correcta solo si el material, sitio, localización y época de aplicación son los apropiados. Los cuatro objetivos se logran (o no) como un grupo, debido a que en el campo existe un sistema de producción.

Principios científicos fundamentales: Estos principios se discutieron anteriormente en este artículo y en este marco global sirven de enlace entre el segmento global del marco y las PAM específicas para el sitio donde está localizado el productor. La literatura actual que discute las PAM, en su mayoría, no relaciona las PAM con principios científicos.





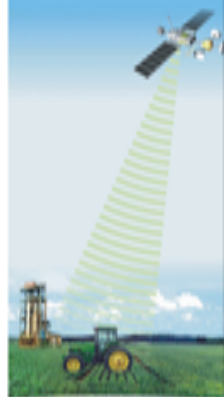
Este es un vacío crítico en el concepto, ya que estos principios básicos son el fundamento que los técnicos y consultores locales usan para ajustar las PAM a las condiciones locales. Esencialmente mantienen la flexibilidad para crear unas verdaderas PAM específicas para el sitio y el agricultor. La intención del marco global es presentar los principios de modo que su aplicación sea esencialmente universal para definir las PAM cualquiera sean las condiciones locales. PAM de nutrientes para sitio y agricultor específicos: Estas son acciones que pueden ser practicadas por los agricultores, técnicos locales, consultores y proveedores de servicios. Por esta razón, son muy específicas y van más allá del segmento global del marco de trabajo. En la **Figura 4** se muestran un par de ejemplos de PAM relacionadas con el objetivo dosis correcta. Se enlistan cinco principios bajo el casillero de dosis correcta, siendo el primero el evaluar el suplemento de nutrientes nativos del suelo. Un criterio universal para determinar la dosis correcta es algún procedimiento para determinar la habilidad del suelo de suplir nutrientes. Si existe suficiente investigación de soporte para los análisis de laboratorio (suelos y tejidos) y existe fácil acceso al servicio, buenos análisis de laboratorio son una PAM que se basan en ese principio. En otros casos, se pueden usar parcelas de omisión para determinar el suplemento de nutrientes del suelo y éstas pueden ser más apropiadas como PAM. El apropiado nivel tecnológico de las PAM está influenciado por varios factores específicos del suelo y del agricultor

Evaluación: Como lo indica el proceso delineado en la **Figura 2**, la retroalimentación local es importante para el refinamiento de las PAM específicas para sitio y agricultor. Debido a que los objetivos de manejo de nutrientes se alcanzan (o no) en conjunto, lo que se evalúa es el sistema antes que las prácticas asociadas con objetivos individuales de manejo. En muchas regiones existe la necesidad de una guía clara sobre la apropiada evaluación para determinar el progreso alcanzado en la búsqueda de manejo global de nutrientes.

Ejemplo de PAM en la producción de palma aceitera en plantaciones con buen soporte técnico

En los últimos años, se han logrado sustanciales progresos en el desarrollo de PAM de manejo del cultivo y de nutrientes en palma aceitera. Esto permite alta productividad y rentabilidad con el uso eficiente y efectivo de los insumos y recursos disponibles (Witt et al., 2005). Para mantener la ventaja en la producción de aceite de palma, en comparación con la producción global de otros aceites vegetales, la fuerza gerencial y laboral deberá emplear tecnología avanzada para cumplir con su responsabilidad.

Actualmente, uno de los factores importantes en la producción de palma aceitera es el mayor escrutinio público demandando una producción respetuosa del ambiente. En el futuro, los incrementos en la producción deben lograrse mediante la intensificación del manejo del cultivo en áreas ya establecidas y con la cuidadosa expansión a áreas con condiciones ambientales favorables en términos de calidad de los recursos e infraestructura.





Se sugiere, como en el ejemplo de la **Figura 3**, que el marco global de trabajo para la implementación de las PAM de manejo de nutrientes en la producción de palma aceitera debe tener cuatro componentes: económico, agronómico, ambiental y social. Las PAM de nutrientes en la producción de palma son conocidas y se han publicado en diferentes sitios. Estas prácticas, que consideran los cuatro factores descritos arriba, se enumeran a continuación:

Evaluación del nivel de nutrientes en las hojas.

Determinación de las relaciones entre cationes (K:Mg:Ca; N:P; N:K:B.)

Determinación de la presencia de síntomas de deficiencia en el campo.

Rendimiento por hectárea o por palma.

Crecimiento vegetativo (grosor de peciolo, incrementos en el tamaño de la planta, tasa de producción de hojas).

Vegetación de cobertura (plantas indicadoras, síntomas de deficiencia en la leguminosa de cobertura).

Todo esto determinará la dosis de nutrientes a aplicarse. La época (fraccionamiento de la dosis utilizada) estará determinada por la dinámica de las lluvias en el sitio donde se encuentre la plantación y el sitio de aplicación deberá definirse entre aplicación al plato o aplicación al voleo entre hileras. Esto también dependerá de las condiciones de la plantación. Existe la suficiente flexibilidad para diseñar las PAM de manejo de nutrientes para la plantación, tomado en cuenta aun variaciones entre lotes de producción. Sin embargo, es interesante el enlace de estas PAM de nutrientes con otras PAM del cultivo para lograr observar el efecto total del manejo integrado en el rendimiento y en los factores incluidos en el marco global.

Cuando se utilizan efectivamente las PAM de nutrientes y las PAM del cultivo, el rendimiento debería estar limitado solamente por el clima, el material sembrado y la condición específica del suelo como textura, profundidad de enraizamiento o agua. A continuación se enumeran las PAM del cultivo en palma que se complementan con las PAM de nutrientes para optimizar el rendimiento a volúmenes cercanos al potencial de producción del sitio (Witt et al., 2005).

Recolección completa de la fruta suelta y tiempo más corto entre rondas de cosecha.

Mantenimiento óptimo del crecimiento de las palmas y de la producción de racimos a través de un manejo cuidadoso del material vegetativo de las palmas (deshoje, remoción de palmas improproductivas).

Mantenimiento de un óptimo sistema radicular para absorción de nutrientes por medio de adecuada disponibilidad de agua (drenaje, conservación de agua).



Mejoramiento de contenido de materia orgánica y del suplemento de nutrientes nativos del suelo a través de la cobertura con leguminosas, utilización de residuos del cultivo (racimos vacíos, residuos de la procesadora), control de erosión, óptima eficiencia de uso de los fertilizantes a través de plataformas libres de malezas y correcta colocación de los fertilizantes.

El efecto de el marco global de trabajo en las PAM de nutrientes, enlazadas con las otras PAM del cultivo se demostró con trabajo de campo en Indonesia, donde se compararon los efectos de las PAM (nutrientes y cultivo) en lotes selectos, frente a lotes con manejo tradicional. Estos efectos se presentan en la **Figura 5**.

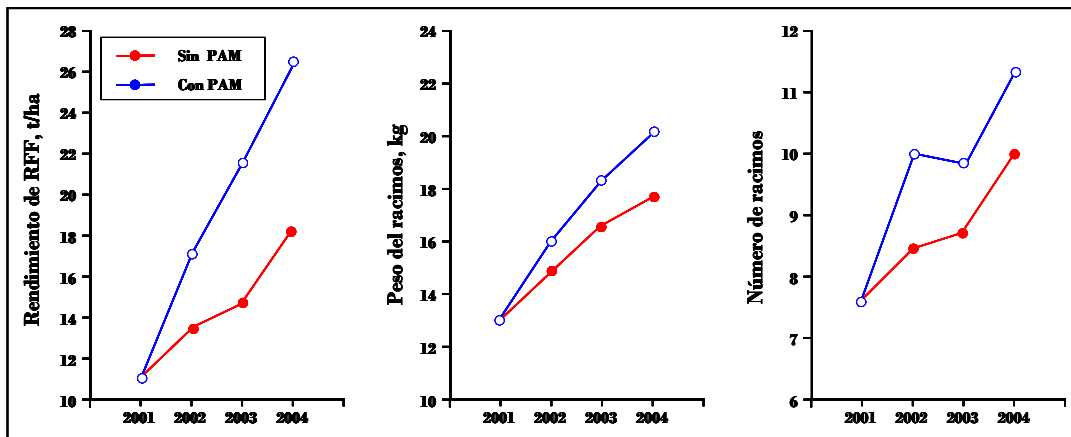


Figura 5. Efecto de las PAM (nutrientes y cultivo) en el rendimiento y componentes del rendimiento de lotes de palma aceitera (Witt, et al., 2005).

Ejemplo de PAM en la producción de café con pequeños productores

Gran parte de la producción de café de Perú se localiza en el Nororiente de país, en fincas pequeñas localizadas en suelos moderadamente fértiles, ubicados en pendientes pronunciadas. Los bajos rendimientos son denominador común en la producción de café en esta zona debido al agotamiento de los nutrientes del suelo en los campos de producción que, en su mayoría, son fertilizados solamente con residuos de plantas y residuos de corral. Casi no se usan fertilizantes minerales en la producción de café en la zona. En estas condiciones, los rendimientos bajan a menos de 10 quintales de café pergamino seco por hectárea. El agotamiento de los suelos produjo, además de los bajos rendimientos y baja rentabilidad, efectos secundarios que eran visibles. Desde el punto de vista económico, la baja rentabilidad no permitía ahorro y en consecuencia los productores no podían pensar en ninguna inversión para mejorar las parcelas. Esta condición incrementaba el malestar familiar y los problemas sociales asociados con la pobreza. Desde el punto de vista ambiental, es claro el deterioro de los suelos debido al balance negativo de nutrientes. La producción de biomasa era baja y la cobertura pobre, lo que expone al suelo a problemas graves de erosión.



La necesidad de un marco global de trabajo para el diseño de PAM de nutrientes para mejorar rendimientos era evidente debido a que el principal factor limitante de la producción era el desgaste progresivo del suelo por la continua producción de café sin reponer los nutrientes exportados en la cosecha. Los insumos producidos en las fincas (material vegetal de las podas, residuos del beneficio del café y residuos de corral) no eran suficientes para mantener rendimientos altos y rentables (Zapata y Espinosa, 2006). Las metas del marco global de trabajo siguen siendo económicas, agronómicas, ambientales y sociales.

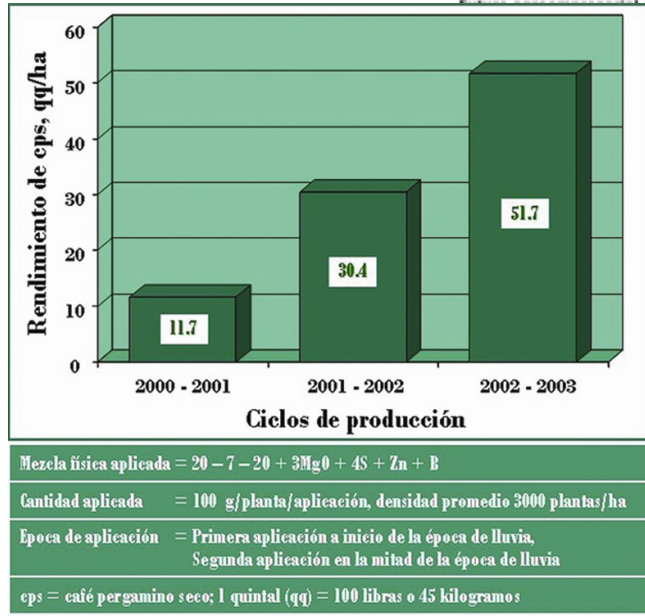


Figura 6. Efecto de las PAM (nutrientes y cultivo) en el rendimiento de de café en lotes de pequeños productores en el Nororiente de Perú (Zapata y Espinosa, 2006).

El objetivo de determinar la dosis correcta de nutrientes en los objetivos el marco de trabajo debía cambiar radicalmente si se compara con la condición expli-cada anteriormente para palma aceitera, debido a que los pro-ductores de café no tienen acceso a análisis de suelos o análisis foliar. Las dosis de nutrientes a aplicarse provienen de la com-binación de datos de extracción de nutrientes publicados en la literatura y de estudios de absorción de nutrientes condu-cidos en la zona. Basándose en esta información, y conociendo las condiciones de los productores, se fijó una meta de rendimiento de 40 – 60 quintales de café pergamino seco por hectárea. Esta es una meta de rendimiento realista para café creciendo con 30 - 50% de sombra, condiciones dominantes en el área. El estudio presentado en la **Figura 6** se diseño para probar el efecto de la aplicación de una dosis definida de nutrientes en un periodo de tres años. Conociendo que los suelos estaban desgastados se esperaba respuesta efectiva en rendimiento en el segundo y tercer ciclo de producción. Era importante demostrar la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes, sin embargo, era más importante aun demostrar que, debido al deterioro de las plantas, se observan respuestas en rendimiento luego que las plantas han logrado reponer la biomasa perdida por el agotamiento constante de los nutrientes del suelo. Esta biomasa es la que soporta el rendimiento posterior de la planta. Se determinó entonces que la PAM para la dosis de nutrientes era la aplicación de 100 g por planta de la fórmula 20-7-20-3Mg-4S + micros dos veces al año. Se determinó también que la PAM para lograr el objetivo de la época correcta aplicación de fertilizante sugería la aplicación de la dosis una vez al inicio de las lluvias y otra a mediados de la época



lluviosa. Se definió que la PAM para sitio de aplicación de fertilizante era la aplicación del material en la parte superior de la corona del árbol para evitar el arrastre por erosión. Estas PAM de nutrientes están diseñadas para cumplir con las metas del marco global de trabajo.

Con estas PAM se asegura la indispensable reposición de los nutrientes al suelo para mantener una producción rentable, agrónomicamente posible para el sitio, ambientalmente amigable y socialmente aceptable. Sin embargo, estas metas deben cumplirse con el complemento de las PAM del cultivo como el manejo de la poda de la planta de café y manejo eficiente de la sombra.

Bibliografía

Anónimo. 2006. Take the BMP Challenge. En línea en http://mbpchallenge.org/Nutrient_BMP_CHALLENGE.htm.

Darst, B.C. and L.S. Murphy. 1994. Keeping agriculture viable: Industry viewpoint. *J. Soil and Water Conservation* 46(2):8-14.

Fixen, P.E. 2005. Decision support systems in integrated crop nutrient management. Proceedings N° 569. International Fertilizer Society, Cork, UK. 1-32.

Fixen, P.E. 2007. Can we define a global framework within which fertilizers BMPs can be adapted to local conditions. Proceedings of the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices, Brussels, Belgium, March 7-9, 2007.

Griffith, W.K. and L.S. Murphy. 1991. The development of crop production systems using best management practices. Potash and Phosphate Institute.

Lilly, J.P. 1991. Soil facts: Best management practices for agricultural nutrients. North Carolina Cooperative Extension Service. AG-439-20.

North Carolina State University (NCSU). 2007. Best management practices. On line at [http://www.Ces.ncsu.edu/gaston/environment\(bmps.htm#farm](http://www.Ces.ncsu.edu/gaston/environment(bmps.htm#farm)

Sharpley, A.N., T. Daniel, G. Gibson, L. Bundy, M. Cabrera, T. Sims, R. Stevens, J. Lemunyon, P. Kleiman, and R. Parry. 2006. Best management practices to minimize agricultural phosphorus impacts and water quality. USDA-ARS 163, Washington, D.C.

Tandon, H.L.S. and R.N. Roy. 2004. Integrated nutrient management – A glossary of terms. FAO-UN and Fertilizer Development Consultation Organization, Rome, Italy.

Witt, C., T. Fairhurst, and W. Griffiths. 2005. The need to increase profitability in oil palm plantations: Matching crop and nutrient management principles with evolving strategies. Proceedings of the 5th National Seminar, Johor Bahru, Malaysia, June 2005.

Zapata, R., y J. Espinosa. 2007. Entrenamiento agrónomico y crédito para fertilizantes como generadores de cambios sociales y ambientales en el cultivo de café en el Nororiente de Perú. *Informaciones Agronómicas* 64:1-7.



CONFERENCIAS TEMÁTICAS

Agroenergía

DESARROLLO AGROEMPRESARIAL A PARTIR DE LA CAÑA EN LOS LLANOS ORIENTALES. PROYECTO LA BALSA – PUERTO LOPEZ, META

Dr. Alejandro Roa

Inversiones Nacionales Bionergy. Bogotá, Colombia

Colombia es un país que encuentra en el campo su principal actividad productiva, de donde gran cantidad de familias derivan su sustento. No obstante, sido un país en que el sector agrícola no ha evolucionado de acuerdo a sus potenciales, tanto en climas como la diversidad de suelos. Si bien las tierras colombianas se caracterizan por tener gran fertilidad y aptitudes agrícolas, muchas de ellas se encuentran abandonadas o indebidamente explotadas, causa y efecto de la condición de país en desarrollo. La precaria situación del campesino colombiano no solo se debe al conflicto interno que ha tenido que enfrentar Colombia durante décadas, sino también a las condiciones de inequidad que lo han causado y de él se derivan, dificultando el apoyo gubernamental en las diversas actividades productivas del agro.

PANORAMA ACTUAL

Migraciones campo - ciudad. El campesino deja el campo por diversas razones y busca otras opciones en los distintos sectores de la economía, generando un impacto negativo en sus familias y la sociedad rural. Si por un lado cree encontrar un futuro más seguro en el sector industrial o comercial de las ciudades - causando en realidad desequilibrios urbanos de sobrepoblación – por otro las consecuencias que del abandono del área laboral en la que ha desarrollado su experiencia y capacidad de trabajo, son evidenciables en el contexto social de Colombia - factor que disminuye su productividad y a la vez su aporte como individuo a la comunidad-.

Ingreso. La agricultura, tanto la manual de parcela como la mecanizada de mayores extensiones, no goza de rentabilidad estable, por causas bien conocidas relacionadas con la comercialización. La falta de oportunidades que presenta el agro y los pocos recursos que se obtienen del campo, son puntos claves que en el pasado han llevado al campesino a entrar al mundo ilegal de los cultivos ilícitos, que es sólo el comienzo de todos los problemas conocidos internacionalmente.



ALTERNATIVA DE DESARROLLO

Promoción social. Es por esto que desarrollar la actividad agrícola de los Llanos se convierte en la mejor herramienta para erradicar los males que trae la inseguridad y brindar mayores posibilidades al individuo para desarrollarse en comunidad, a partir del criterio de productividad como vehículo de prosperidad social. Si se lleva una alternativa de desarrollo al dueño de tierras y al campesino, que proponga un negocio estable y rentable a partir del cultivo tecnificado de sus tierras, se logra una posibilidad sostenible de crecimiento rural que dignifica la vida diaria y genera crecimiento. Esto no sólo evitará las connotaciones negativas derivadas del tráfico de drogas, sino que también permitirá un desarrollo social dentro de un ámbito de paz, tranquilidad y calidad de vida.

Autosuficiencia Energética. La producción de una planta de alcohol carburante, brinda garantía en el área económica, ambiental y social, es una alternativa de desarrollo que responde a los requisitos del campo llanero para alcanzar las metas de desarrollo esperadas. Al ligar la producción agrícola con el consumo de combustibles, se está generando una estabilidad y una rentabilidad sin precedente en los sistemas productivos regionales. Si se elabora un producto de demanda mundial (energía) a partir de la actividad agrícola (caña de azúcar), se está construyendo una vía que puede marcar la diferencia en el desarrollo del agro, lo que hoy se conoce como agroenergía.

Salud, educación y capacitación. Es verdad que la vida en el campo se ha caracterizado por tener un alto índice de necesidades básicas insatisfechas, en temas como vivienda, salud, educación y servicios. Es precisamente en el sector rural en donde los proyectos de alcohol carburante generarán un alto impacto positivo para la comunidad, ya que es precisamente allí donde se encuentran las familias vinculadas al proyecto agroindustrial, y es a ellas a quienes va destinado más del 70% de los costos de producción, lo que necesariamente se reflejará en salud, educación, infraestructura y demás indicadores de calidad de vida.

ESLABONES DE LA AGROINDUSTRIA

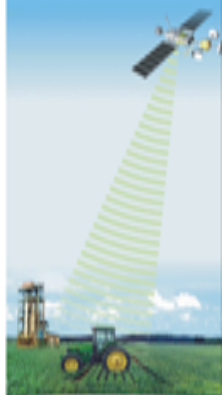
Cultivo, cosecha, alce y transporte de caña de azúcar.

Transformación de caña en alcohol

Alcohol insumo de la industria química: Alcoquímica, por ejemplo insumo para la producción de Biodiesel o la industria de licores.

Subproductos como vinazas, útil para la fertilización de suelos, Gas carbónico, insumo de la industria y Bagazo, fuente de energía transformable en energía eléctrica.

Alcohol con especificaciones carburantes: Biocombustible



POTENCIAL DE PRODUCCIÓN EN LOS LLANOS ORIENTALES

Los Llanos Orientales de Colombia representan la mayor oferta ambiental para agricultura tecnificada del país y tal vez del mundo. Por sus posibilidades de mecanización, riego y drenaje natural, clima, brillo solar y pluviosidad, sin mencionar ventajas comparativas en costos de producción, es la región con mejores posibilidades para localizar un proyecto de esta naturaleza.

Expertos con más de 40 años de experiencia en la agroindustria cañera, afirman que la región reúne las mismas características de clima y suelos del Valle del Cauca en los inicios de esta actividad.

UNIDADES DE NEGOCIO O POLOS DE DESARROLLO

Las unidades de negocio asociadas a la agroindustria de alcohol carburante son diversas. Cada una de estas corresponde a las demandas productivas, tecnológicas y comerciales requeridas para la planta de producción, pero a su vez, suma aquellas que son generadas por la misma instalación y operación de éstas.

Los diferentes elementos identificados en la agroindustria de alcohol carburante asociados al cultivo de caña de azúcar se traducen en cuatro principales polos de desarrollo empresarial para la zona en la que se implementan:

- Desarrollo de Cultivo
- Desarrollo de Infraestructura
- Desarrollo Tecnológico
- Desarrollo Comercial

Basados en experiencias directas podemos anticipar que los Llanos Orientales tienen el potencial y la vocación natural para satisfacer los requisitos inherentes a estos elementos, así como las condiciones para asimilar las transformaciones generadas por la realización de estos proyectos. Bioenergy S.A., consciente de lo anterior, adelanta las actividades preliminares a una toma de decisiones tendientes a la ejecución de un proyecto específico en la zona. Pretendemos con esto aportar nuestra labor a la transformación de la región y acceder a un escenario de equidad y prosperidad.



CONFERENCIAS MAGISTRALES

Agroenergía



POTENCIALIDAD DE LA CAÑA DE AZUCAR EN EL SUBSECTOR PANELERO Y SUS DERIVADOS

Ingeniero de Alimentos Néstor Durán Castro
Gerente Asociación Colombiana de Paneleros, ACOPANELEROS

I. INTRODUCCION: LA PANELA es un producto obtenido de la evaporación de los jugos de la caña de azucar, por deshidratación de los mismos mediante procesos físicos de evaporación del agua originalmente presente, que conserva todas sus características bromatológicas, nutricionales y sensoriales, condición que la convierten en una alternativa alimenticia de consumo que cumple cualitativamente con todos los requerimientos de vitaminas, carbohidratos, proteínas, grasas, agua y minerales exigidos dentro de una dieta para ser considerada un alimento completo.

Tabla 1. Composición para cada 100 gramos de panela

Carbohidratos	Mg	Vitaminas	Mg
Sacarosa	78	Provitamina	2.00
Fructosa	7	Vitamina A	3.80
Glucosa	7	Vitamina B1	0.01
Minerales en mg		Vitamina B2	0.06
Calcio	100	Vitamina B5	0.01
Magnesio	90	Vitamina B6	0.01
Fósforo	90	Vitamina C	7.00
Sodio	30	Vitamina D2	6.50
Hierro	13	Vitamina E	111.30
Manganeso	0.5	Vitamina PP	7.00
Zinc	0.4	Proteínas	280mg
Flúor	6.0	Agua	
Cobre	0.9	Calorías	312

Fuente: Instituto Anboisse de Francia.





A pesar de aportar la panela cualitativamente todos los grupos de nutrientes requeridos, para ser considerada un alimento completo, sobresalen tres tipos de carbohidratos y nueve minerales, como aparecen en la Tabla número 1, elaborada por el Instituto Anboisse de Francia, dándole alta importancia nutricional dentro de la dieta alimenticia y recomendándose especialmente para la población infantil y madres en etapa de lactancia.

A la panela se le conoce con diversos nombres “chancaca” en Perú y Chile, “papelón” en Venezuela, México y Guatemala, en la India, y probablemente en muchas otras partes del Oriente el producto se llama “jaggery”, o a veces, “gur” o “gul. La FAO registra la panela en sus cuentas como “azúcar no centrifugado”, pero en la actualidad se elabora su norma Kodex internacional, se gestiona su desdoblamiento arancelario ante la OMA y el pasado 23 de mayo de 2006, Mincomercio y el Icontec lograron que la OMS definiera una partida subarancelaria diferente a la del azúcar, para la panela como alimento, de tal manera que el producto se beneficiará del Sistema Generalizado de Preferencias, permitiéndole entrar con cero arancel en el mercado europeo y poder contar con mayores garantías y facilidades de comercialización.

II-IMPORTANCIA SOCIOECONOMICA.

La producción de panela es una de las principales actividades agropecuarias de Colombia. En el año 2006 la caña panelera contribuyó con el 4,2% del valor de la producción de la agricultura sin café y con el 1,9% de la actividad agropecuaria nacional, ocupó el noveno puesto 9 en contribución al valor de la producción superando a productos como el maíz, arroz seco, cacao, frijol, sorgo, plátano de exportación, tabaco, algodón, soya, trigo y cebada, entre otros.

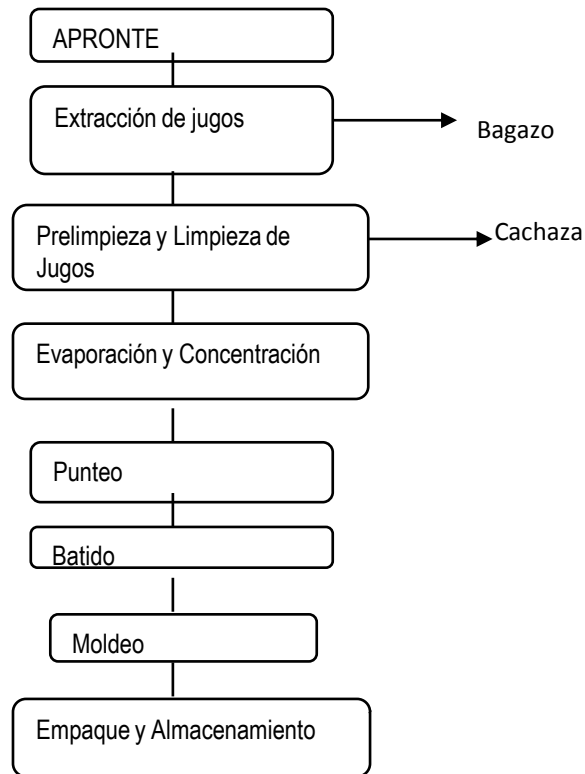
Se estima que existen en Colombia cerca de 70.000 unidades agrícolas que cultivan la caña panelera y 15.000 trapiches en los que se elabora panela y miel de caña, genera anualmente más de 25 millones de jornales y se vinculan a esta actividad alrededor de 350.000 personas, es decir el 12% de la población rural económicamente activa, siendo así el segundo renglón generador de empleo después del café, el área sembrada y la mano de obra que vincula, se valora en 550 millones de dólares anuales.

De igual manera, participa con el 11.8% del área destinada a cultivos permanentes y con el 6,5% del área total cultivada en Colombia, lo que lo ubica en el quinto lugar entre los cultivos del país, solamente superado por el café, maíz, arroz, plátano y algodón. Es un producto de economía campesina, producido en casi todo el país durante y base de los ingresos de 236 municipios, en doce departamentos.



III-DIAGRAMA DE FLUJO PRODUCTIVO

Grafica 1. Diagrama de flujo de producción de la panela.



IV-MERCADO

1.-Mercado Nacional.

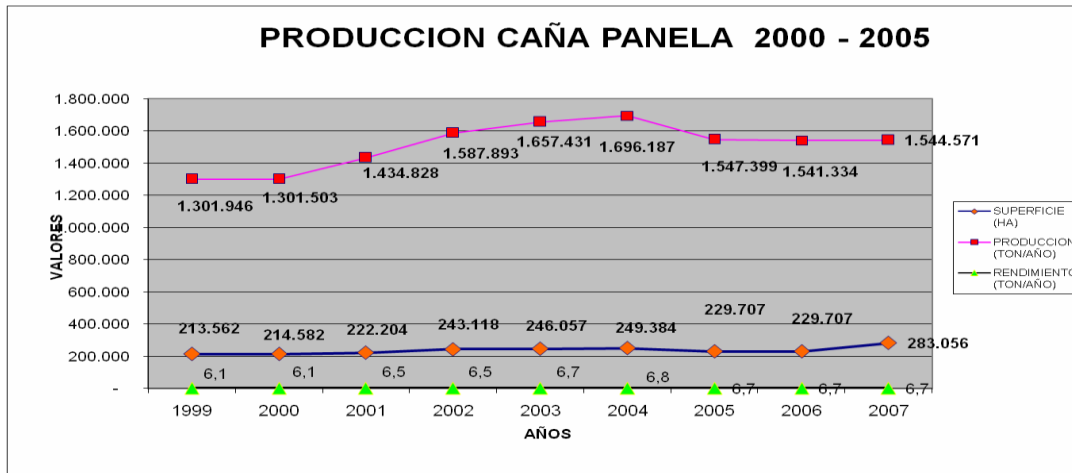
El consumo aparente de panela en Colombia ha venido creciendo a una tasa de 3,3% anual a partir de 1994, pasando de 1.237.328 Tm. en 1994 a 1.544.571 Tm. en 2007. El comportamiento del consumo aparente se explica por la dinámica de la producción, toda vez que las importaciones y las exportaciones han sido marginales sin alcanzar a superar el 1% del consumo aparente; esto significa que la producción se destina casi en su totalidad al consumo doméstico. En la última década el crecimiento de consumo fue mayor al crecimiento vegetativo de la población (1,8%), lo que conllevó a un crecimiento del consumo per cápita, principalmente a partir del año 2002. Mientras en 1994 este era de 32,7 Kg./Hab, en el 2002 subió a 36,1 Kg./Hab.; para ubicarse en el año 2004 en 37,3 Kg./Hab.

El consumo de panela representa el 2,18% del gasto en alimento de los colombianos y en algunos departamentos alcanza a representar hasta el 9% del gasto en alimentos, a nivel mundial los colombianos son los mayores consumidores de panela en el mundo con más de 34,2 Kg./Hab.

La panela puede dirigirse al mercado para consumo final en panela en bloque, granulada o en polvo; también como insumo de la industria de alimentos para consumo humano o de alimentos concentrados para animales.



Grafica de produccion de panela y area sembrada en caña para panela 1999-2007.



Fuent : C.C.I. Sipsa.

SUPERFICIE CULTIVADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO CAÑA PANELERA EN COLOMBIA. DISTRIBUCIÓN POR DEPARTAMENTOS EN 2004

Departamento	Superficie (Ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (Tm/Ha)	Superficie Part.(%)	Producción Part.(%)
Santander	23.348	358.100	15,3	9%	21%
Cundinamarca	59.361	255.221	4,3	24%	15%
Boyacá	19.386	260.778	13,5	8%	15%
Nariño	19.874	169.673	8,5	8%	10%
Antioquia	38.880	157.854	4,1	16%	9%
Huila	11.626	116.513	10,0	5%	7%
Tolima	14.296	76.474	5,3	6%	5%
Caldas	16.590	86.218	5,2	7%	5%
Cauca	12.229	53.808	4,4	5%	3%
Norte Santander	10.335	44.723	4,3	4%	3%
Valle	5.018	25.144	5,0	2%	1%
Bolívar	2.151	16.786	7,8	1%	1%
Risaralda	4.023	21.537	5,4	2%	1%
Caquetá	3.194	16.732	5,2	1%	1%
Cesar	2.825	13.004	4,6	1%	1%
Meta	1.122	8.275	7,4	0%	0%
Putumayo	1.830	4.195	2,3	1%	0%
Arauca	981	3.729	3,8	0%	0%
Chocó	1.574	2.655	1,7	1%	0%
Quindío	284	2.431	8,6	0%	0%
Sucre	269	1.417	5,3	0%	0%
La Guajira	53	424	8,0	0%	0%
Córdoba	136	496	3,6	0%	0%
Total general	249.384	1.696.186	6,8	100%	100%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.





SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO



2-Mercado Internacional.

Según cifras de la FAO, veinticinco países en el mundo producen panela y Colombia es el segundo productor después de la India. Para el periodo 1998-2002, la India concentró el 86% de la producción mundial, mientras que Colombia cerca del 13,9%, haciéndose evidente que la producción mundial de panela se concentra en éstos dos países.

Otros países como Pakistán, China y países latinoamericanos como Brasil, México y Perú, presentan producción de panela, pero en niveles mas bajos. Paquistan antiguo segundo productor mundial, decrecio en 8,6%, pero aumentaron Japon y Panama, con tasas del 11,5% y 9,2% respectivamente.

Puesto	País	1992	2002	Acumulado Producción 1998-2002	Part (%) 1998-2002	Crecim.(%) 1992-2002
1	India	8.404.000	7.214.000	42.448.000	86,1%	-1,1%
2	Colombia	1.175.650	1.470.000	6.858.840	13,9%	1,9%
3	Pakistán	823	600	2.872	0,0058%	-8,2%
4	Myanmar	183	610	2.486	0,0050%	11,5%
5	Bangladesh	472	298	2.145	0,0043%	-1,3%
6	China	480	400	2.112	0,0043%	-2,1%
7	Brasil	240	210	1.320	0,0027%	1,2%
8	Filipinas	101	127	565	0,0011%	2,1%
9	Guatemala	56	44	228	0,0005%	-2,8%
10	México	51	37	183	0,0004%	-4,6%
11	Perú	25	28	129	0,0003%	0,7%
12	Kenya	25	23	120	0,0002%	-0,6%
13	Honduras	32	21	106	0,0002%	-6,7%
14	Haití	40	21	106	0,0002%	-8,6%
15	Uganda	13	15	75	0,0002%	1,6%
16	Nigeria	24	14	74	0,0002%	-4,8%
	Mundo	9.582.301	8.686.525	49.319.714	100,0%	-0,8%

Fuente: FAO. Cálculos Observatorio Agrociencias

Balanza Comercial Relativa

Con excepción del año 2002, Los indicadores muestran que Colombia tiene claras ventajas competitivas en el mercado de la panela, no obstante, este producto es básicamente de consumo interno y pese a la existencia de exportaciones crecientes, éstas se dirigen básicamente a países donde el consumo de panela está establecido. Los principales destinos de exportación de panela son Venezuela y Estados Unidos, países que concentraron el 34% de las exportaciones colombianas de panela.





V-PERSPECTIVAS Y PROYECCION

LA PANELA es un producto alimenticio con excelentes potencialidades de consumo, dado que reúne las características exigidas por el mercadeo moderno: condición natural, alto valor nutritivo y versatilidad, es por lo tanto un producto que elaborado con mejoramientos tecnológicos, mayor eficiencia, buenas condiciones higienicosanitarias, cálculos de costos de producción, asociatividad y estudios de mercados tiene inmensas posibilidades de exportación y también de competitividad en el nuevo milenio. La agroindustria de la panela como generadora de nuevos productos podría incursionar a través de programas de investigación y desarrollo en las líneas de Nuevos Productos Alimenticios, Alcoholes, Medicina y Cosmetología.

1-SECTOR ALIMENTOS.

1.1. BEBIDAS

Bebida Refrescante Carbonatada (gaseosa) a partir de miel de caña.

Bebida refrescante No carbonatada con sabor a frutas (jugos).

1.2. CONFITERIA:

Dulce Duro (solamente con Panela).

Dulce Blando (panela, leche, etc.)

1.3. CONSERVAS:

Mermeladas.

Compotas.

Bocadillos de frutas

Dulces Untables Tipo Conserva.

Frutas en Almibar de Caña.

Mieles Invertidas (hidrólisis de sacarosa).

Alimentación Animal.

2. SECTOR MEDICINAL.

2.1. Cicatrizante.

2.2. Desinfectante.

3. SECTOR ALCOHOLES.

4. SECTOR COSMETICO.

4.1. Mascarillas.

4.2. Debridaciones.

4.3. Limpiezas Faciales

4.4. Cremas cosméticas.



5-FORMAS DE PRESENTACION

El mercadeo moderno exige en la actualidad productos con formas de presentación más acordes en el mercadeo moderno, en presentaciones higiénicas, unipersonales, de disolución inmediata y fácil dosificación, la panela puede cumplir con la totalidad de estas exigencias.

5.1 Panela Pulverizada: Producto obtenido a mayor temperatura de punteo y pH, proveniente de cañas preferiblemente recién molidas y con índices de madurez perfectos, que puede ser elaborado mecánicamente o manualmente, con una granulometría determinada y cuya humedad interna no debe ser superior al 3,0%. Esta forma de presentación requiere un mercadeo especializado, tiene ya un valor agregado y puede añadirse sabores naturales o con características idénticas a estos.

DIFERENTES FORMAS DE PRESENTACION DE PANELA.



CIAT
CENTRO INTERNACIONAL
DE AGROPECUARIA
INVESTIGACIONES Y
ENSAYOS TROPICALES



5.2. Miel

Producto intermedio en la elaboración de la panela, que conserva todos sus nutrientes y puede ser utilizado para consumo humano directo, con hidrólisis de la molécula de sacarosa lo que garantiza su no cristalización o para alimentación animal.



Las mieles vírgenes se caracterizan por su alto contenido de sacarosa y las inveridas por el de azúcares reductores o sea glucosa y fructosa.

Los resultados de diversas investigaciones muestran la necesidad de articular el desarrollo tecnológico a una estrategia más amplia de desarrollo del sector panelero, el cual requiere por lo menos de los siguientes componentes. Primero, la creación de capacidad empresarial en los productores de panela a través de la formación integral del recurso humano, la cual le permita un manejo más efectivo de su producción y comercialización.

Segundo, el fortalecimiento del capital social, el cual permita a los productores crear una capacidad organizativa para aprovechar nuevas oportunidades y nichos de mercado, a través de una agricultura ampliada que permita establecer alianzas estratégicas que integren y articulen mejor la cadena agroindustrial.

Tercero, el desarrollo de nuevos productos y mercados, los cuales permitan ampliar la demanda por el producto debido a que cualquier cambio tecnológico trae como consecuencia un aumento en la oferta, y por lo tanto, la reducción en los precios del producto.

Se requiere a mediano plazo, el diseño de un plan estratégico a nivel nacional orientado hacia la modernización de este subsector y a la ampliación de los mercados internos y externos, este debe ser amplio, definido de acuerdo a las demandas del sector, articular a los diferentes actores de la cadena. Muy probablemente, este plan estratégico requiera especialización por regiones, agroecologías, escalas de producción y nivel tecnológico.



De igual forma, se requiere establecer alianzas estratégicas gremio-entidades gubernamentales y privadas, con el fin de transferir la tecnología generada al productor y lograr una mayor cobertura en la adopción de la misma. asimismo se requiere la conformación de una red de investigadores, especialistas y empresarios líderes vinculados con el sector.



Esta figura presenta un sistema técnico de producción de panela, con control de variables, sistema de vapor para transferencia de calor, tanques de sedimentación y el cumplimiento de la normatividad para panela, definido en la resolución 779 del Ministerio de Protección Social.

BIBLIOGRAFIA.

Duran C. N, Artículo técnico, Producción de Panela, 2007.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agrocadenas Colombia. Exportaciones, importaciones, balanza comercial. 1994 – 2003

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Observatorio Agrocadenas Colombia. Área, producción y rendimientos. 1994 – 2003.

RANGEL C. Entorno tecnológico, estudio de caracterización ocupacional del subsector de la panela, Sena Boyacá 2.006

RODRIGUEZ B. Gonzalo. “La panela en Colombia frente al nuevo milenio”. En Corpoica – Fedepanela. Manual de Caña de Azúcar. Bogotá. 2000

URPA's, UMATA's. Evaluaciones agropecuarias. Minagricultura y Desarrollo Rural. Oficina de Información y Estadística. Años 1998 a 2003



BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA

David f. Cala Hederich
Director ejecutivo, 2007

El planeta se ha dirigido hacia los biocombustibles, alcohol y biodiesel, para utilizarlos inicialmente a un nivel del 10%, para mitigar los contaminantes adversos ambientales de los combustibles fósiles, principalmente el bióxido de carbono CO₂ causante del calentamiento global

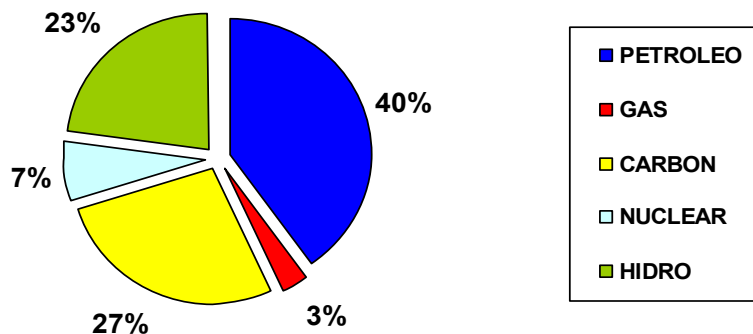
Diariamente se queman en el planeta cerca de 21 millones de toneladas que van en forma de contaminantes a la atmósfera que es la cáscara de la manzana de la tierra, lo cual según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático ha incrementado la concentración de CO₂ en cerca de un 40% desde la revolución industrial. Dicha concentración de se puede duplicar o aún triplicar, con efectos impredecibles, en los próximos 100 años.

Para reemplazar el 10% de los combustibles fósiles por biocombustibles se requerirán cerca de 40 millones de hectáreas en el planeta en términos de caña de azúcar equivalente, la mitad para alcohol y la otra mitad para biodiesel.

Es importante aprender lo positivo y lo negativo del desarrollo del petróleo en el planeta. Se deben utilizar altas tecnologías no solamente en la industria fabril sino también en el agro, para lograr un desarrollo menos entrópico en la industria de los biocombustibles, en el cultivo de la tierra, en el tratamiento de los desechos para producir productos de mayor valor agregado y abonos que restituyan la calidad de la tierra.

Se espera un gran auge de los biocombustibles en los próximos 20 años como antecesores de la tecnología del Hidrógeno (celdas de combustible) el cual se puede obtener del alcohol. No se descarta en el mediano plazo el impulso de la energía nuclear de mínima contaminación y máxima producción de energía.

CONSUMO DE ENERGÍA MUNDIAL





El medio Oriente contribuye con el 30% de la producción mundial

La producción actual de bioetanol carburante mundial es del orden de más de 110 millones de litros / día, 48 millones/día de Brasil y 52 millones/día de Estados Unidos quienes en este tema tienen un plan de desarrollo muy agresivo para el 2017. La producción mundial de biodiesel es de cerca de 11 millones de litros/día, siendo los principales productores Alemania, Francia, Estados Unidos, Austria e Italia.

Colombia inició la producción de alcohol carburante gracias a la iniciativa del congreso de la República con el apoyo de CORPODIB para establecer la Ley 693 de 2001 que obliga el uso inicialmente, del 10% de bioetanol en las gasolinas colombianas.

El sector azucarero ya está produciendo un poco más de un millón de litros/día como lo muestra la tabla y que cubren cerca del 60% de las necesidades del país.

Tabla 1. Producción Nacional Actual Alcohol Carburante

<i>Ingenio</i>	<i>Producción (L/ día)</i>	<i>Fecha de Entrada</i>
Incauca	300.000	Octubre 27 de 2005
Providencia	250.000	Octubre 26 de 2005
Manuelita	250.000	Marzo 24 de 2006
Mayagüez	150.000	Marzo 8 de 2006
Risaralda	100.000	Marzo 11 de 2006
Total	1.050.000	

Es probable que el próximo futuro se incremente esta producción por parte de los ingenios azucareros

Existen otros proyectos en el país en proceso de cierre financiero y/o estudio para cubrir el resto del país a nivel del 10% de etanol y/o incrementar el porcentaje de alcohol en la gasolina y exportación en los mercados internacionales, como se muestra en la siguiente tabla.





<u>Proyecto</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Producto</u>	<u>Miles l/d</u>
Maquiltec	Boyacá	Remolacha	300
Bioenergy	Llanos Orientales (Puerto López)	Caña	300
ECB	Costa Atlántica	Caña	300 c/u (3 plantas)
Alcol S.A.	Santander-Boyacá	Caña	300

En estudio, unos más avanzados que otros (Tolima, Casanare, Cundinamarca (Guaduas)

Amparado por regulaciones gubernamentales y próxima ley la producción de biodiesel entrará en vigencia en Enero de 2008 utilizando inicialmente el 5% de biodiesel en el ACPM.

Colombia tiene una gran oportunidad de participar en el mercado mundial, digamos entre un 3 al 5% tanto en bioalcohol como biodiesel.

Lo anterior significaría unos 2 millones de hectáreas, una para bioalcohol y otra para biodiesel.

HECTAREAS REQUERIDAS EN COLOMBIA PARA CONSUMO NACIONAL

	%	Millones Litros/día	Miles Has	Empleos
ALCOHOL CARBURANTE	10	1,7 ⁽¹⁾	100	108750
	25	4,25	250	272250
	KTon/año			
BIODIESEL DE PALMA	5	200 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾	15600
	10	400	100	31200
	20	800	200	62400

FUENTE: FEDEPALMA- CORPODIB



- Hay varios proyectos en proceso de cierre financiero.
- Hoy Hay aprox. 160 mil Has de palma en producción lo cual equivale a 640 mil Ton/año.
- Aproximadamente 4 Ton de aceite de palma /Ha.

RESUMEN PROPUESTA PROGRAMA DE EXPORTACIÓN

	ML/D	ML/AÑO	MTON/AÑO	Ha x 1000	EMPLEOS X 1000
ALCOHOL CARBURANTE (EXP)	10	3650		600	650
CONSUMO NACIONAL 25%	4,25	1551		250	270
SUBTOTAL ALCOHOL CARBURANTE	14,25	5201		850	920
BIODIESEL (EXP)			3	750	235
CONSUMO NACIONAL 20%			0.8	200	63
SUBTOTAL BIODIESEL			3.8	950	298
TOTALES (ALCOHOL + BIODIESEL)	14,25	5201	3.8	1800	1218

FUENTE: CORPODIB

Colombia dispone actualmente de unos 20 millones de hectáreas disponibles para la agricultura, 4 de ellas actualmente están en uso.

CORPODIB

www.corpodib.com
corpodib@cable.net.co

Avenida 15 No. 106-32, Of. 401
TELEFAX: (571) 629 3421 / 6293185

BOGOTA, D.C. - COLOMBIA



RESUMEN PÁNEL DE EXPERTOS

Moderador: Ricardo Espinosa Herrán.
Secretario cadenas productivas. Secretaria e Agricultura del Meta.

Relator: Jaime Gómez Naranjo
Jefe Estación CIAT. Villavicencio.

El panel se inicia con una felicitación al comité organizador, expresada por el moderador del panel Ing. Ricardo Espinosa, por la excelencia del certamen, el destacado grupo de conferencistas nacionales e internacionales, por la calidad de las presentaciones magistrales y por la pertinencia de los temas lo cual ha permitido tener un evento exitoso.

En el panel se discutieron los siguientes temas, con amplia participación y sin limitación para los participantes:

Los Biocombustibles como fuente energética, frente al Hidrógeno.

Los especialistas fueron enfáticos en expresar que la fuente energética del futuro, seguramente va a ser el hidrógeno, pero que el paso previo antes de llegar a ese fin, es la biomasa la que permitirá mejorar los niveles de oxigenación de los carburantes, con las mezclas de etanol y biodiesel.

2. Preocupación por incremento en los precios de los alimentos.

Varios miembros del auditorio expresaron su preocupación por el incremento del precio de los alimentos, por cuanto el mayor volumen de cultivos en el mundo lo representa el maíz, arroz y el trigo, que coincidentalmente, dos de ellos, se utilizan como materia prima en la elaboración del etanol.

Los especialistas del panel manifiestan que para nuestro caso no hay competencia entre combustibles y alimentos, por las grandes áreas que existen en la Orinoquia y los nuevos proyectos se realizan en áreas nuevas que generan otros polos de desarrollo, en donde no habrá deforestación ni arrasamiento de biodiversidad, sino que se mejora el paisaje y se hacen manejos ambientales y de suelo, de acuerdo a la fragilidad del ecosistema. La producción de Biocombustibles generará un mercado que hoy el agricultor no tiene.

3. Son los biocombustibles la solución a la disminución de las reservas futuras del petróleo?

Los expertos lo manifestaron en las conferencias, los Biocombustibles no van a reemplazar al petróleo, pero si son los oxigenantes reductores de un volumen importante en su



consumo mundial, que unidos a otras formas de energía, participan en ese sueño de la humanidad de romper la dependencia absoluta de las fuentes energéticas fósiles.

4. Se expresa la preocupación por que cuando se habla de biocombustibles no se anexa el tema social y más bien se observa que estas grandes empresas incrementan la brecha social entre patronos y obreros?

Miembros del auditorio mostraron su preocupación por la parte social, en especial el hecho de que no se están mejorando los sistemas de contratación en algunos proyectos agroenergéticos, en donde los grandes beneficiados serán los propietarios del proyecto, sin verse una redistribución del ingreso.

El representante de Petrotesting argumenta que en su caso se están haciendo contratos con los trabajadores, en los cuales se respetan y se le reconocen todos los beneficios de ley. El especialista Cala manifiesta que en este punto debe haber una mayor intervención del Estado, a la vez una mayor vigilancia para evitar que no se vulneren los derechos laborales de los trabajadores. Se deben generar más espacios de discusión sobre la responsabilidad social empresarial en estos temas, además que se deben generar discusiones, con participación del gobierno regional.

5. Hay preocupación por el balance energético en el proceso de producción de los biocombustibles.

En otras palabras, que se considere el rendimiento energético de la producción de etanol, teniendo en cuenta la relación entre las calorías que proporciona el biocombustible obtenido y las consumidas en el proceso de obtención. Se hace referencia a que hay varios criterios respecto a la eficiencia del proceso, según la materia prima utilizada, pero que hasta el momento, en el trópico el rendimiento energético de la caña de azúcar es mucho mayor que la del maíz (8 veces).

6. Análisis del tema de las vinazas.

Los especialistas manifiestan que a las vinazas no se les puede mirar como un contaminante, ya que son un caldo de materia orgánica con muriato de potasio, extraído del mismo suelo por la planta, a partir del cual se puede producir fertilizante, para retribuir lo consumido por el cultivo, generando luego suplementos alimenticios para el ganado, y además, biogás.

7. El tema de la investigación.

Preocupa que algunos de los nuevos desarrollos no tengan en cuenta la investigación, especialmente de manejo de suelos, que se ha desarrollado hasta este momento en los Llanos, sobre todo en la altillanura que requiere condiciones especiales y en donde los proyectos productivos deben estar de acuerdo a las condiciones agroecológicas y ambientales de los ecosistemas protegiendo los recursos naturales.





Igualmente, se hace referencia al desestímulo creado con el manejo nacional de los Centros de Desarrollo Tecnológico, en especial CORPOICA, en donde los recursos y la reducción de talento humano, lo colocan en una proporción famélica que no permite asegurar un desarrollo armónico del saber, frente a los retos que los mercados y la competencia internacional exigen.

Si bien la investigación realizada por la empresa privada es importante, se requiere que un organismo oficial, con importante masa crítica, dirija la investigación en Colombia.

Algunos de los participantes expresan que es un error del Estado el actual direccionamiento de CORPOICA, con el financiamiento de proyectos cortoplacistas, descuidando la investigación básica que requiere de mucho tiempo y de un manejo mediante fondos especiales, no se puede depender de la investigación que hagan las empresas corporativas sin éxito. Se mira con gran preocupación la pérdida de investigadores de gran experiencia a nivel local, sin que haya el relevo generacional idóneo.

8. La necesidad de la aplicación de la agricultura de conservación

Hay unanimidad en la importancia de que todos los proyectos consideren los principios de la agricultura de conservación, como son la mínima remoción del suelo, las coberturas vegetales y una selección razonable de rotación de cultivos. Aquí se referencia el caso de la yuca que puede rotarse con sorgos dulces, y pasturas. El representante de Petrostesting manifiesta que en el proyecto está considerada la rotación de cultivos, la ganadería y el aprovechamiento de los efluentes de la producción de etanol, para fertilizantes, para suplementos de alimentación animal y producción de Biogás. Se concluye que los proyectos no pueden desconocer las leyes de la naturaleza.

9. La universidad debe vincularse más a las cadenas productivas y a los gremios de la producción.

Unánime el criterio de que la academia, participe en forma directa, sin timidez, en estos temas, mas aún cuando la investigación se está haciendo al andar. Igualmente se deben crear nuevas carreras y tecnologías, que formen profesionales y técnicos que puedan manejar con eficiencia estos nuevos retos. Los empresarios, las universidades, los centros de investigación y el sector productivo deben integrarse en la solución de la problemática que se genere al asumir estos nuevos desafíos.

Por último, se recomienda implementar la investigación práctica que hace el CIAT en bioenergía con Jhon Loke sobre el uso de diferentes biomásas como fuentes energéticas que viene haciendo en el eje cafetero y en los Llanos, en donde se puedan generar biocombustibles a partir de residuos orgánicos y otras alternativas para pequeños productores.



HOJAS DE VIDA

CONFERENCISTAS Y MODERADORES



Alejandro Roa. Arquitecto. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Especialización: desarrollo regional. Universidad de los Andes.

Cargo: Director de infraestructura. Bioenergy S.A.

Experiencias: estructuración de proyectos en Colombia y el área del Caribe, específicamente distritos de riego con énfasis en comercialización y recientemente proyecto de alcohol del río Suárez y en la actualidad proyecto alcohol Puerto López (Meta).

Conferencia: Desarrollo agroempresarial a partir de la caña en los llanos orientales. Proyecto la balsa. Puerto López, meta.

Alfonso Santos Montero. Ingeniero Metalúrgico y Mecánico. Universidad Libre y Nacional de Colombia. Especialización: Control de Calidad. Universidad Autónoma de México.

Cargo: Secretario Federación Nacional de Biocombustibles.

Experiencias: Ex-Rector de la Universidad Libre y Universidad de Cundinamarca, Ex-Senador de la República, Ex-Secretario de obras públicas de Cundinamarca, Ex-Gerente de la Empresa de Licores de Cundinamarca.

Conferencia: Política, perspectivas nacionales e internacionales de la agroenergía: alcoholes carburantes y biodiesel.

Alvaro Rincón Castillo. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá. Doctorado en ciencias agropecuarias con énfasis en fisiología de cultivos. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Cargo: investigador en forrajes tropicales. CORPOICA

Experiencias: 8 años en el centro de investigaciones en Carimagua. 12 años en el centro de investigaciones La Libertad, en forrajes.

Conferencia: Productividad de la asociación de maíz pastos en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano.

Ana Torrado Pacheco. Ingeniera química. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá. Maestría: química. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Cargo: asesora de gerencia. ICA.

Experiencias: especialista en análisis de residuos de plaguicidas; entrenamientos en laboratorios de Alemania, Brasil y Guatemala. Responsable del área de residuos de plaguicidas del laboratorio nacional de insectos agrícolas del ICA por más de 20 años. Coordinadora del grupo inocuidad en las cadenas agroalimentarias agrícolas del ICA – hasta feb.2007.

Conferencia: Tecnologías limpias para la producción agrícola.



Andrés J. Peña Q. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira. Maestría: meteorología. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Cargo: estudiante. Universidad Nacional de Colombia.

Experiencias: presenta resultados parciales de trabajos realizados con recursos del CIAT, CORPOICA, Universidad Nacional y Universidad de los Llanos.

Conferencia: Variabilidad espacial de los atributos químicos y físicos de los suelos de la altillanura, Llanos orientales, (Estación Taluma).

Andrés Méndez. Nacionalidad Argentina. Ingeniero Agrícola. PhD.

Cargo: Coordinador proyecto “Desarrollo y aplicación eficiente de máquinas precisas y agrocomponentes. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA, Manfredi, Argentina.

Conferencia: Máquinas precisas y agrocomponentes.

Carlos Castilla C. Ingeniero agrónomo. Virginia Tech University. Especialización: suelos tropicales- sistemas agroforestales. Virginia Tech University. Doctorado: suelos. North Carolina State University.

Cargo: investigador principal. CORPOICA C.I. La Libertad. Villavicencio.

Experiencias: 30 años de ejercicio profesional en diferentes entidades: CIAT, CENICAÑA, CENIPALMA, ICRAF. 30 años.

Moderador jornada de Agroenergía.

Carmen Rosa Salamanca Solís. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Master en suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia.

Cargo: investigador master principal. CORPOICA.

Experiencias: manejo de la fertilización y nutrición de cultivos uso y evaluación de los biofertilizantes, rizobio y micorrizas; manejo de sistemas de producción maíz – soya y evaluación de la dinámica nutricional de los microorganismos benéficos del suelo. 19 años de experiencia en investigación en suelos de los Llanos orientales.

Conferencia: Eficacia de la cepa ICA J-96 de Bradyrhizobium japonicum en nuevas variedades de soya en la altillanura colombiana.

Carmenza Pérez Fagua. Ingeniera agrónoma. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. UPTC.

Conferencia: Evaluación de la problemática de las heladas que afectan el cultivo de papa (*solanum tuberosum* L.) en los municipios de Siachoque, Toca y Úmbita en el departamento de Boyacá

César Andrés Cortés Bello. Ingeniero Agrícola. Estudiante Maestría en Ingeniería – Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Interés académico en suelos, mecanización y variabilidad espacial.





Experiencia en: variabilidad espacial y temporal de propiedades físicas y químicas en suelos para cultivos transitorios, usando geoestadística; balances hídricos y comportamiento de variables climáticas en cultivos de flores bajo invernadero. Además, conocimientos y manejo adecuado de software aplicados a su campo profesional, incluyendo sistemas de información geográfica (SIG), programas de hidrología e hidráulicos, estadísticos, geoestadísticos, estructurales y gráficos.

Conferencia: Evaluación de la variabilidad espacial y temporal de la resistencia a la penetración en suelos de la sabana de Bogotá.

César Augusto Salamanca Cachay. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia.

Cargo: Auxiliar de Investigación. Universidad Nacional de Colombia. Experiencias: Área de Suelos

Conferencia: Evaluación del manejo de la fertilidad por sitio específico en un cultivo comercial de arveja (*pisum sativum*) en la sabana de Bogotá.

Darío Cárdenas García. Médico Veterinario Zootecnista. Universidad de Caldas. Maestría producción animal. Universidad Convenio ICA Universidad Nacional. Doctorado en bioquímica nutricional. Universidad Aberdeen (Reino Unido).

Cargo: director regional del ICA para el Meta, Vichada, Guanía, Guaviare y Vaupés. ICA.

Experiencias: 31 años como investigador en el área de ciencias animales y de protección a la producción pecuaria. Administrador de ciencias y tecnología en el centro de investigaciones Carimagua y La Libertad con el ICA y CORPOICA. Premio agrícola nacional otorgado por el IICA (Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola). Premio COLCIENCIAS en 1995 y gestor de proyectos agropecuarios sostenibles.

Moderador: Jornada de agricultura de conservación

David F. Cala H. Ingeniero químico.

Cargo. Director ejecutivo de la corporación para el desarrollo industrial de la biotecnología y producción limpia, CORPODIB.

Experiencia: Dirección y gerencia en plantas de refinación de petróleos de ECOPETROL. 32 años de Experiencia en diversos campos: estudios en temas de gas natural y gas natural comprimido vehicular, GNVC; formación a nivel universitario en combustibles alternos, alcohol carburante, GNVC, biodiesel, gas propano, celdas de combustibles. Cargos gerenciales en varias universidades como: Industrial de Santander (UIS), Universidad Javeriana, Corporación Tecnológica de Bolívar (Fundador), la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga (Fundador).

Conferencia. Desarrollos industriales de la agroenergía en Colombia.

Dilsa Maribel Hernández Fonseca. Ingeniero agrónomo. Universidad pedagógica y tecnológica de colombia, UPTC.



Cargo. joven investigador Colciencias–UPTC. Grupo interinstitucional de investigación en suelos sulfatados ácidos tropicales, categoría B Colciencias

Conferencia. Rehabilitación agrícola de suelos sulfatados ácidos en el altiplano cundiboyacense.

Egbert Spaans. Nacionalidad holandés. Maestría: suelos tropicales, universidad: Agrícola Wageningen, Holanda. Phd: física de suelos. Universidad: Minnesota, Estados Unidos. Doctorado: en suelos.

Experiencias: nueve años profesor de suelos de la Universidad EARTH. Socio-fundador y Presidente de ALIA2. Consultor internacional de Agricultura de precisión.

Conferencia: Implementación exitosa de agricultura de precisión en cultivos de caña de azúcar, banano y palmito.

Enrique Murgüeito. Médico Veterinario Zootecnista. Universidad Fundación CIPAV. Cargo: director ejecutivo CIPAV.

Experiencias: 25 años trabajo investigación y desarrollo sistemas sostenibles ganaderos. Premio al mérito científico internacional Foundation for Science. Consultor para Banco Mundial, FAO y BID en ganadería y medio ambiente en América Latina.

Conferencia: Aplicación del pago por servicios ambientales para la ganadería sostenible.

Fernando Munévar M. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá. Master ciencia del suelo. North Carolina State University – USA. Doctorado: ciencia del suelo. North Carolina State University – USA.

Cargo: asesor. CENIPALMA.

Experiencias: ex presidente sociedad colombiana de la ciencia del suelo.

Conferencia: Oportunidades de los biofertilizantes y el reciclaje de nutrientes en la producción sostenible de palma de aceite.

Fernando Murillo Rengifo. Ingeniero Agrónomo. Universidad del Tolima.

Cargo: Secretario de agricultura, ganadería y desarrollo rural del Meta. Gobernación del Meta.

Experiencias: 20 años laborando en el sector productivo como asistente técnico y agricultor.

Conferencia: Competitividad y oportunidades para un desarrollo económico y sostenible

Gabriel Fernando Becerra. Ingeniero Agrónomo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC

Cargo: Asesor técnico. Cosechar Ltda.

Experiencia. Biosistemas 1987-1989 Desarrollo; Fedearroz 1990-1996, investigación; Orius Ltda. 1997-2000, investigación y desarrollo; Agroecológicos de Colombia: 2002-2006.

Conferencia: Respuesta del arroz a la aplicación de Silicio t Zeolita.





Gabriel Romero Caicedo. Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Especialización: Desarrollo rural. Universidad Nacional de Colombia. Maestría: ingeniería agrícola. Universidad Nacional Agraria de Lima, Perú. Cargo: Director regional de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Experiencia: profesor durante 28 años de la Universidad de los Llanos. Rector Uniminuto, sede Villavicencio y catedrático en la Universidad Santo Tomás.

Moderador: Jornada sobre agricultura de precisión

Hernán Ceballos. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Doctorado en mejoramiento de cultivos. Cornell University (USA). Cargo: coordinador proyecto yuca (CIAT) y profesional asociado Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Experiencias: mejoramiento de maíz, yuca, resistencia a enfermedades y genética cuantitativa.

Conferencia: Mutaciones en yuca que reducen los costos de producción de bioetanol.

Hugo Eduardo Castro Franco. Ingeniero Agrónomo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC. Magíster en Manejo de suelos, programa posgraduados ICA – Universidad Nacional de Colombia. Cargo: Profesor Asociado Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Coordinador Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Categoría B COLCIENCIAS.

Conferencia: Mejoramiento químico integral de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales enclantes

Jaime Gómez Naranjo. Ingeniero Agrícola. Universidad del Valle y Universidad Nacional de Colombia. Especialización en gestión ambiental y recursos naturales. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Cargo: Jefe estación CIAT. Villavicencio

Experiencias: durante los últimos 20 años ha estado representando al CIAT en la región de los Llanos orientales.

Moderador: Jornada sobre agricultura de precisión y relator del panel de agroenergía.

Jaime Humberto Bernal R. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. M. Sc. fisiología de cultivos. Estudiante de doctorado en fisiología de cultivos, área de sorgos dulces para producción de etanol. Universidad Nacional de Colombia. Cargo: investigador, master principal. CORPOICA C.I. La Libertad. Villavicencio.

Experiencias: coordinador de investigación, CORPOICA La Libertad. Investigación en fisiología y mejoramiento de sorgos dulces, fisiología de maíz, soya y algodón.

Conferencias: Sorgos dulces como alternativa agroenergética.



Jaime Jaramillo. Ingeniero civil. Universidad Nacional de Manizales. Especialización: sensores remotos y teledetección. Maestría en economía ecológica. Universidad Autónoma de Barcelona (España).

Cargo: director proyecto alcohol carburante. Grupo Petrotesting Colombia. Experiencias: diez años en el CIAT como director de grupo de planificación rural; comité de cafeteros de Caldas; analista de sistemas de información geográfica.

Conferencia: Desarrollo agroempresarial a partir de la yuca en los llanos orientales. Proyecto Cantaclaro. Puerto López, Meta.

Javier Carbonel González. Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional De Colombia – Sede Valle. Maestría: Ingeniería de Sistemas. Universidad del Valle.

Superintendente de la Estación Experimental CENICAÑA
Experiencias: Jefe de la Estación del CIAT y CENICAÑA.

Conferencia: Sistema de información en la Web para la Aplicación de agricultura por sitio específico en plantaciones de caña.

Javier Orlando Ordúz Rodríguez. Ingeniero agrónomo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Maestría en citricultura. Universidad Politécnica de Valencia – España. Doctorado: fisiología de cultivos. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Cargo: investigador. CORPOICA La Libertad. Villavicencio.

Experiencias: en citricultura, ecofisiología y frutas tropicales.

Conferencia: Evaluación de cuatro variedades de aguacate (persea americana millar) en suelos de la terraza alta del piedemonte del meta (1998-2007).

Javier Rodríguez Álvarez. Estudiante de décimo semestre de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Cargo: Actualmente está terminando tesis de grado en “Manejo Sostenible del suelo en sistemas de cultivos transitorios bajo la concepción de agricultura de precisión”. Igualmente está desarrollando su pasantía en el laboratorio de tratamientos cuarentenarios del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, con profundización en Manejo de especies ornamentales y problemas fitosanitarios en flores de exportación.

Conferencia: Manejo de la fertilización por sitio específico en un cultivo de maíz (Zea mays) en la sabana de Bogotá.

Jesús Hernán Camacho. Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Maestría: Máquinas Agrícolas. Universidad: Estatal de Campinas / Brasil.

Cargo: Profesor Asistente Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Experiencias: Maquinaria y mecanización Agrícola; Propiedades físicas del suelo; Variabilidad Espacial; Agricultura de precisión y Labranza de conservación.

Conferencia: Comportamiento de la variabilidad espacial de algunas propiedades físicas y su relación con el contenido de carbono orgánico.



Jesús María Pedraza. Licenciado en ciencias agropecuarias. Universidad del Valle. Especialización: manejo poscosecha y BPA (buenas practicas agrícolas). Universidad Concepción de Chile. Maestría: Administración educativa, Universidad del Valle. Cargo: coordinador nacional programa de buenas practicas agrícolas del SENA. Experiencias: coordinador de programas en poscosecha y de buenas practicas agrícolas y formulación y ejecución de proyectos sena ley 344 de 1996.

Conferencia: *Buenas prácticas agrícolas para la agroindustria.*

Joao Celso Rauber. Ingeniero agrónomo. Universidad Federal de Rio Grande del Sur. Especialización: siembra directa. Universidad Brasilia. Maestría: conservación de agua y de suelos. Universidad Brasilia.

Cargo: consultor. En ciudad de Puerto Alegre (Brasil) y los Llanos orientales de Colombia (Puerto López).

Experiencias: ALIAR S.A. (Colombia); Ampessan; Fundacion cerrados y manejo de insectos en el sistema de siembra directa.

Conferencia: *Evaluación del impacto de la siembra directa en el cerrado brasileiro.*

John B. Looke. Nacionalidad holandés. Ingeniero agrónomo. Magister. Research Specialist Tropical Biofuels & Crop and Agroecosystem Health Management

Cargo: Investigador International Center for Tropical Agricultura, CIAT.

Conferencia: *Alternativas para producir combustibles alternativos.*

José Espinosa. Ingeniero agrónomo. Universidad Central de Quito-Ecuador. Especialización: fertilidad de suelos. Michigan State University (EE.UU.). Doctorado: fertilidad de manejo de suelos. Universidad kentucky (EE.UU.).

Cargo: director de la oficina de América latina. Instituto Internacional de Nutrition de Plantas (IPNI)

Conferencia: *Mejores prácticas de manejo de nutrientes: del enfoque global a las condiciones locales.*

José Gobbi. Licenciado recursos naturales. Universidad Nacional de la Pampa – Argentina. Especialización: cuantificación y valoración ambientales y esquemas de pago de servicios ambientales en paisajes agropecuarios. Universidad de Florida – EE.UU. Maestría: desarrollo y conservación tropical. Universidad de Florida – EE.UU. Doctorado: Economía ecológica. Universidad de Florida – EE.UU.

Cargo: coordinador del proyecto regional sobre servicios ambientales del INTA (Argentina). Experiencias: coordinador del componente socio – económico y de políticas del proyecto Gef- silvopastoril (2003-2007). Consultor de distintos proyectos sobre sistemas de producción amigables con el ambiente. .

Conferencia: *Pago por servicios ambientales. que son? y que caracteriza su mercado ?*





Julian Villegas. Ingeniero civil. Universidad Javeriana.

Cargo: gerente Biocastilla S.A

Experiencias: gerente de palmeras Montelibano S.A; Fábrica nacional de grasas S.A; Palmeras de Yarima S.A; Palmeras Matupa Ltda; C.I Oleocoa S.A; Palmeras de Araguatos.

Conferencia: desarrollo del proyecto biocastilla para la producción de biodiesel.

Luis Alfonso Caicedo. Ingeniero Químico. Universidad Nacional de Colombia.

Especialización: Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Procesos Bioquímicos. Facultad de Química Universidad Federal Río de Janeiro.

Doctorado en Procesos Bioquímicos y Químicos. Universidad Federal Río de Janeiro. Cargo: Profesor asociado. Universidad nacional de colombia.

Experiencias: Director de procesos Químicos y Bioquímicos, Investigador en el área de tratamiento de residuos, fermentación alcohólica.

Conferencia: Impacto ambiental del alcohol carburante

Luis Armando Castilla Lozano. Ingeniero agrónomo. Universidad del Tolima. Maestría en ciencias agrarias, área de suelos. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Doctorado Ciencias agropecuarias – manejo de suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia – sede Palmira.

Cargo: Investigador. FEDEARROZ, Ibagué.

Experiencias: 20 años en manejo de suelos y del cultivo de arroz; director capítulo Tolima de la sociedad colombiana de la ciencia del suelo y miembro de junta directiva nacional.

Conferencia: Los biofertilizantes: una alternativa viable para la nutrición vegetal.

Marco Lorenzo Cunali Ripoli. Ingeniero Agrónomo. Escuela superior de agricultura “Luís de Smetroz” Universidad de Sao Paulo, Brasil. Especialización: Administración e economía agroindustrial. Universidad: Esalq/usp. Maestría: agricultura de precisión en mantenimiento en caña. Universidad: Esalq/usp. Doctorado: competencia mecanizada de caña de azúcar. Universidad: Unesp.

Cargo: planeamiento de producto/engentaría de ventas. Jhon Deere Brasil. Experiencias: Universidad de California (Uc Davis) consultor Ad doc de Fapesp (fundación de apoyo a presencia del estado de Sao Paulo, Brasil).

Conferencia: sector productor de alcohol carburante en brasil y sus características.

Mario Alberto Bragachini. Nacionalidad Argentino. Ingeniero agrónomo UNC. Maestría en Mecanización agrícola

Cargo: Coordina proyecto nacional de Agricultura de precisión. Instituto nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA. Estación Experimental Argentina Manfredi, Provincia de Córdoba. República Argentina.

Experiencia: Director de diferentes tesis de pregrado y maestría e integrante del comité evaluador de tesis. Docente en varias oportunidades de diferentes universidades.





Universidad Nacional de Córdoba, Universidad nacional de Río Cuarto, Universidad Nacional de Mar de la Plata. Coordinador técnico en las dinámicas de macro eventos, Expo Dinámicas, Expo Chacra, Todo Forraje, Mundo Lácteo, etc., más de 35 eventos desde 1990 hasta la fecha. Coordinador de 3 Exposiciones Dinámicas Internacionales, 2 en España de Siembra Directa y Agricultura de Precisión AAPREDID y 1 en Venezuela INTA. Autor de más de 30 trabajo INTA presentados en Congresos Científicos. Autor de más de 15 manuales técnicos de INTA publicados. Autor de más de 100 hojas informativas de INTA publicadas. Autor de más de 500 artículos técnicos de INTA publicados en medios gráficos del sector. Coordinador Técnico de dos páginas web muy visitadas www.agriculturadeprecision.org y www.cosechayposcosecha.org. Desde 1995 es Coordinador Nacional de Proyecto eficiencia de cosecha y aprovechamiento del forraje conservado PROPEFO - INTA. Desde 2004 hasta la fecha, es Coordinador del Proyecto Nacional Eficiencia de Cosecha y Postcosecha PRECOP, 45 técnicos y 13 Estaciones Experimentales involucradas. Desde 1999 hasta la fecha, Coordinador Nacional del Proyecto Agricultura de Precisión.

Conferencia (Video): Agricultura de precisión. Experiencia Argentina.

Martha Cecilia Betancurt. Contadora pública. Universidad Javeriana. Especialización: Gerencia administrativa con énfasis en el sector azucarero. Universidad del Valle.

Cargo: directora ejecutiva. PROCAÑA.

Experiencias: trabajó durante 14 años con el ingenio Mayanez, en distintas áreas, editora de calidad, directora de calidad, directora de personal.

Conferencia: Experiencias, perspectivas y apoyos del gremio cañero en la producción de alcoholes carburantes.

Mónica Cuellar Sánchez. Ingeniero químico. MBA en administración. Universidad de los Andes.

Cargo: Directora programa de usos alternativos. CENIPALMA.

Experiencia: doce años vinculada al sector palmicultor; desde hace cuatro años se ha especializado en la transformación química del aceite de palma y sus usos como biocombustibles.

Conferencia: Biodiesel de palma: una realidad en Colombia.

Nelson Augusto López. Ingeniero Agrónomo. Universidad de los Llanos. Maestría en desarrollo rural.

Cargo: Secretario de planeación y desarrollo territorial. Gobernación del Meta.

Experiencia. Investigador CEGA.

Conferencia: El Meta: competitividad y oportunidades para un desarrollo económico y sostenible.

Nestor Durán Castro. Ingeniero de alimentos. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Especialización: gerencia de planeación estratégica. Universidad Icesi U Deltih.





Cargo: gerencia asociación colombiana de paneleros. Acopaneleros.

Experiencias: investigador sector caña, Corpoica, CIMPA; gerente división industrial Lucerna (Valle); coordinador nacional centros de servicios de Fedepanela; gerente general de Fedepanela hasta julio de 2006.

Conferencia: *Potencialidades de la caña de azúcar en el subsector panelero y sus derivados.*

Oscar Eduardo Munévar García. Ingeniero agrónomo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC. Tunja.

Cargo: investigador Gissat. UPTC.

Experiencias: Joven Investigador Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Categoría B COLCIENCIAS

Conferencia: *Mejoramiento químico integral de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales enclantes.*

Olga Lucía Higuera Acosta. Ingeniero agrónomo. Universidad de los Llanos. Maestría: ciencias agrarias con énfasis en fitopatología. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá.

Cargo: investigación y transferencia de tecnología. Federación Nacional de Arroceros.

Experiencias: 12 años de trabajo con cultivo de arroz en el área de fitopatología y mejoramiento.

Conferencia: *Utilización de microorganismos biocontroladores y sustancias orgánicas para el control de Rhizoctonia solani en arroz.*

Ricardo Espinoza Herrán. Ingeniero Agrónomo. Universidad del Tolima.

Cargo: Coordinador regional del programa de cadenas productivas. Gobernación del Meta. Catedrático de la universidad del Meta.

Experiencias: Laboral en el sector público y privado, así como también en la parte gremial. Fue gerente regional del Incora, del ICA y consejero del consejo nacional de ciencia y tecnología de conciencias.

Moderador del panel sobre Agroenergía.

Samuel Caicedo Guerrero. Ingeniero agrónomo. Máster en producción de cultivos.

Cargo: Investigador CORPOICA.

Experiencia: Más de 20 años de investigación en cultivos semestrales y en sistemas de producción de la altillanura colombiana, desarrollados en el ICA y CORPOICA

Moderador: Jornada de agricultura de conservación.



III Encuentro Nacional de AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

PATROCINADORES

John Deere Latinoamérica, Internacional Plant Nutrition Institute, IPNI, CLAYUCA, Asesores líderes e integrales para la agricultura y el desarrollo S.A. Alía 2-Ecuador, Fedearroz, Cenicaña, Cenipalma. Federación Colombiana de Biocombustibles, Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia-Corpodib, Procaña, Acopaneleros, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigación de la Orinoquia Colombiana de Unillanos, Inversiones Nacionales Bioenergy, Biocastilla S.A, Petrotesting, CIPAV, ORIUS Biotecnología, Llano caucho, Fosfatos de Boyacá S.A, Nutrimón, Monómeros S.A., Pastos y Leguminosas, Calizas del Llano S.A, Microfertiza, Instituto de Turismo del Meta, Unidad de Licores del Meta.

GRUPO DE LOGÍSTICA

Nohora Janeth Moreno A. y Mireya Lucía Pineda R.
Asistentes CORPOICA C.I. La Libertad.

Astrid Liliana Quevedo M., Mariana Huayeck S., Diana Milena Barreto R.
Estudiantes de IX Semestre de Ingeniería Agronómica Cultivos II
Universidad de los Llanos.

Grupo de técnicos profesionales en Asistencia Administrativa
Jefe de Grupo: Blanca Estela Quevedo
SENA. Centro Multisectorial Villavicencio.

Miryam Janeth Barbosa - Cámara de Comercio de Villavicencio

Aura Mireya Restrepo
LlanoExóтик, operador profesional de congresos y convenciones.





Panorámica de Villavicencio

La Puerta del Llano

Aspectos generales

Gentilicio	Villavicense
Habitantes	305.918 hab.
Extensión	1.328 Km ²
Temperatura	27° C. prom.
Altitud	467 msnm.
Dist. a Bogotá	86 Km.



Villavicencio ofrece un gran número de actividades y placeres para vivir y disfrutar en el área urbana como en sus alrededores, con paisajes heterogéneos que la hacen aún más atractiva.

Incluya dentro de su itinerario visita a parques temáticos como Los Ocarros y Las Malocas, diviértase con city tours y recorridos turísticos que incluyen monumentos, sitios históricos, parques y los lugares más atractivos de la ciudad.

Discotecas, bares, tabernas, restaurantes, comidas rápidas, bolera, música de cuerda, centros folclóricos de música llanera, compras en centros comerciales y almacenes, cines, caminatas ecológicas, fincas agroturísticas, balnearios, clubes de pesca, etcétera, hacen de Villavicencio una excelente opción turística.



SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

