

Facultad de Agronomía



Universidad Central de Venezuela

Alcance 78

**MANEJO DE SUELOS PARA UNA
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

Zenaida Lozano



Revista de la Facultad de Agronomía

Iniciada por el Dr. E.G. Vogelsang en 1952

La **REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA** es una publicación de carácter científico y tecnológico dedicada a divulgar trabajos originales e inéditos que resalten la problemática de la agronomía tropical. La Revista es editada por la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela con sede en el *Campus* de la ciudad de Maracay, y son admitidas contribuciones de investigadores de otros países en idioma inglés, francés o portugués.

EDITOR JEFE

Dayana Pérez

COMITÉ EDITORIAL

Guillermo Perichi
Ricardo Ramírez
Shelly Alemán
Shimazu Martínez

ASISTENTES DE EDICIÓN

Rodolfo Marcano
Jeenmely López

DIAGRAMACIÓN

Jeenmely López

DISEÑO DE PORTADA

Jeenmely López

WEB MASTER

José C. Pinzón

DIRECCION POSTAL (POSTAL ADDRESS)

Revista de la Facultad de Agronomía
Universidad Central de Venezuela
Apartado 4579, Maracay 2101. Aragua.
VENEZUELA

Telefax.: (0243) 5507120

E-mail: revistaagronomiaucv@gmail.com

<http://www.saberucv.ve.gov>

Esta publicación es indizada por:

Agris FAO

Latindex

CAB Abstracts

REDIB

Revencyt

REVIS (IICA, Costa Rica)

Maize Abstracts

Crop Science Database

Grasslands and Forage Abstracts

Poultry Abstracts

Soil Science Database

Soils and Fertilizers Database

Abreviatura recomendada:

Rev. Alcance. Agron. (UCV)

Depósito Legal: AR2024000031

ISBN 978-970-18-4261-3

ISSN: 001-8285

ISBN: 978-980-18-4261-3





UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

REVISTA ALCANCE



Alcance 78

Abril, 2024

MANEJO DE SUELOS PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE

DEPÓSITO LEGAL: AR2024000031

ISBN: 978-980-18-4261-3

ISSN: 001-8285

EDICIÓN DIGITAL

ZENAIDA LOZANO PÉREZ

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

Víctor Rago Alujas
Rector

María Fátima Garcés
Vicerrectora Académica

José Balbino León
Vicerrector Administrativo

Corina Aristimuño
Secretaria

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Aida Ortiz
Decana

Yasmin Gudiño
Directora de Escuela

Daniel Vargas
Coordinador Académico

Carmen Liendo
Coordinadora de Investigación

Rafael Mejías
Coordinador de Extensión

Marta Barrios
Directora de la Comisión de Estudios de Postgrado

José Antonio Cañizales
Coordinador de Estaciones Experimentales

Juan Fernando Marrero C.
Director-Secretario del Consejo de la Facultad

Esta Revista se publica bajo el auspicio del
Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV



Saber UCV
<http://saber.ucv.ve>
Ventana al conocimiento
Repositorio Institucional de la Universidad Central de Venezuela

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar el más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me brindaron apoyo y colaboración en los proyectos de investigación que realizamos durante los últimos años, en especial a las siguientes:

A Rosa Mary Hernández, Carlos Bravo, Yuzmary Espinoza, Deyanira Lobo, Lorenzo Velásquez, Jesús Peña, Manuel de Jesús Mujica, Carmen Rivero, Lesly Malpica, María del Mar Alguacil, Emma Torrecilla, Antonio Roldán, Pilar Torres, Jimmy Morales, Marcia Toro, Elizabeth Pérez, Elizabeth Ramírez, Ignacio Castro, Francisco Ovalles (†), Juan Carlos Rey, María Alejandra Rodríguez, Franklin Mora, Alexander Puentes, Gustavo Rodríguez, Hugo Cánchica (†), Adriana Ojeda, Rolando González, Isabelita González, Ronelly Caballero, Jacqueline Saddy, Marisabel Albano, Karina Sánchez, Sandra Lorena Vera, Parken González, Starling Rodríguez y Mavelys Delgado, compañeros en las fases de campo y laboratorio de los diferentes proyectos, y cuyos esfuerzo se reflejan en parte de los productos considerados para este Trabajo de Ascenso.

Al personal técnico, administrativo y de apoyo del Equipo de Trabajo en Ciencia del Suelo, por la ayuda prestada y el apoyo moral en todo momento, como me vienen a la mente: Ana Teresa Torres, Marilyn Aular, Rosalba Mora, Denys Martínez, Yessenia Torres, Elizabeth Valecillo, Luis Domínguez, Luis Trocel, Oscar Yegres, Marysabel Ciangherotti, Glenys Torrelba, Agustina Guevara y muy especialmente a Karenina García, siempre dispuesta a ayudarme en todo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), especialmente al personal de los Campos Experimentales Turén y Agua Blanca; al dueño y al personal de la finca Cucurucho (Colonia Tovar); y a la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR), Estación Experimental La Iguana, por permitir el uso de sus instalaciones y por el apoyo desinteresado en la fase de campo de los diferentes ensayos.

Al personal del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS), por el apoyo en los análisis de actividades enzimáticas y biodiversidad de hongos micorrízicos.

A todas aquellas personas que en este momento no recuerdo, pero que me apoyaron de una u otra forma en la consecución de esta meta,

...Muchas Gracias

COMPENDIO

Con el objetivo de evaluar algunas alternativas de manejo sostenible de los suelos en tres zonas agroecológicas de Venezuela, se realizaron ensayos de campo y evaluaciones en suelos de: los llanos occidentales, la cordillera de la costa central y las sabanas bien drenadas del estado Guárico. En los llanos occidentales se evaluaron diferentes sistemas de labranza y rotaciones en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), como manejo alternativo a la labranza intensiva y monocultivo tradicionales en la zona. En la cordillera de la costa central se evaluaron los efectos del uso agrícola con el cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) sobre las propiedades químicas, biológicas y bioquímicas del suelo, así como de la pedregosidad superficial y la pendiente sobre algunas propiedades hidrológicas del suelo, y se propusieron manejos alternativos de fertilización y control de competidores bióticos para el cultivo de duraznero, en comparación con el manejo tradicional con altas dosis de insumos químicos. Para las sabanas bien drenadas se planteó la introducción de especies forrajeras de mayor calidad bioquímica (gramíneas o leguminosas), como cultivos de cobertura para la siembra directa de maíz/frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), con diferentes fuentes de fertilización fosforada y posterior pastoreo con ganado bovino, como alternativa a la ganadería extensiva. Los sistemas de manejo propuestos afectaron gran parte de las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas del suelo, especialmente en las capas más superficiales. Los efectos observados estuvieron relacionados con la intensidad de labranza, la cantidad y calidad de los residuos incorporados o dejados en superficie y la fuente de fertilización utilizada (inorgánica, orgánica o microorganismos). A pesar de que muchas de estas propiedades evaluadas son dinámicas y estuvieron sujetas a la época de medición y las condiciones climáticas, pudieran ser usadas como indicadores del cambio que se produce en el suelo debido las prácticas de manejo. También se debe tener en cuenta la variabilidad espacial de los atributos edáficos para una mejor interpretación de los resultados.

Palabras clave: Agricultura sostenible; cultivos de cobertura; labranza de conservación; rotación de cultivos; tipos de fertilización.

ABSTRACT

In order to evaluate some soil sustainable management alternatives in three Venezuela agroecological areas, field experiments and evaluations were carried out: the western plains soils, the north-central mountain range soil, and the Guárico state well-drained savanna soils. In the western plains, tillage and rotation systems in maize cultivation (*Zea mays* L.) were evaluated, as an alternative management to traditional monoculture and intensive tillage. In the north-central mountain range, the effect of agricultural use with peach crop (*Prunus persica* (L.) Batsch) on chemical, biological and biochemical soil properties, as well as rock fragments and slope effects on some soil hydrological properties were evaluated, and alternative fertilization and control of biotic competitors for peach cultivation were proposed, compared to traditional zone management with high doses of chemical inputs. For well-drained savanna, the introduction of forage species of higher biochemical quality (grasses or legumes) was proposed, such as cover crops for no tillage corn/beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), with different phosphorus fertilization sources, and subsequent grazing with cattle, as an alternative to extensive livestock. The proposed management systems affected some physical, chemical, biological, and biochemical soil properties, especially in the more superficial layers. The observed effects were related to the tillage intensity, the quantity and quality of residues incorporated or left on the soil surface, and the used fertilizer source (inorganic, organic or microorganisms). Although many of these properties evaluated are dynamic and were subject to the time of measurement and climatic conditions, could be used as indicators of the soil change due to management practices. The spatial variability of the edaphic attributes must also be taken into account for a better results interpretation.

Keywords: Sustainable agriculture; cover crops; conservation tillage; crop rotation; fertilization types.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
REVISTA ALCANCE

Alcance 78

Abril, 2024

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
COMPENDIO	01
ABSTRACT	02
INTRODUCCIÓN GENERAL	12
Referencias bibliográficas	17
CAPITULO I: SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN DOS SUELOS DE LOS LLANOS OCCIDENTALES	20
Introducción	20
Descripción de los sitios y factores experimentales	21
Muestreo y análisis con fines de caracterización y evaluación	22
Evaluación de los sistemas de manejo propuestos	25
I. Sistemas de labranza para el cultivo de maíz en el suelo Agua Blanca	25
II. Sistemas de labranza y rotación de cultivos en el suelo Turén	35
Referencias bibliográficas	43
CAPÍTULO II: TIPOS DE FERTILIZACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN UN SUELO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA CENTRAL	48
Introducción	48
Área de estudio	49
Descripción de los ensayos	49
I. Efecto del uso sobre la fertilidad integral del suelo	49
II. Efecto de la pedregosidad y la pendiente sobre las propiedades hidrológicas del suelo	50

III. Opciones de manejo de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero	50
Referencias bibliográficas	74
CAPÍTULO III: CULTIVOS DE COBERTURA Y TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN UN SUELO DE LAS SABANAS BIEN DRENADAS DEL ESTADO GUÁRICO	79
Introducción	79
Descripción del sitio y factores experimentales	80
Manejo del ensayo	81
Muestreo y análisis con fines de caracterización y diagnóstico	82
Evaluación del sistema de manejos propuestos.	83
I. Caracterización inicial del suelo.	83
II. Cambio en las propiedades y procesos del suelo por efecto de los cultivos de cobertura y tipos de fertilización	87
Referencias bibliográficas	118
CONCLUSIONES GENERALES	126

INDICE DE CUADROS

I-1	Métodos para la evaluación de las propiedades de los suelos y desarrollo del cultivo en los ensayos ubicados en los suelos Agua Blanca y Turén, estado Portuguesa.	24
I-2	Caracterización inicial de las propiedades físicas (n = 6) y químicas (n = 8) del suelo ubicado en el Campo Experimental de Agua Blanca, estado Portuguesa.	26
I-3	Propiedades químicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	28
I-4	Contenido de carbono y nitrógeno total del suelo afectados por la labranza y ecosistema de Bosque, a tres profundidades, bajo cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en la localidad de Agua Blanca, Portuguesa.	29
I-5	Densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad total, poros de aireación, poros de retención y cohesión en seco en tres profundidades de un suelo bajo cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) manejados con labranza reducida, convencional y siembra directa, comparado con el ecosistemas de bosque en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	30
I-6	Parámetros de desarrollo de raíces y rendimiento en grano del cultivo de maíz (ciclo 2010), bajo los diferentes tipos de labranza en el suelo Agua Blanca, estado Portuguesa.	34
I-7	Caracterización inicial de las propiedades físicas (n = 6) y químicas (n = 8) del suelo ubicado en el Campo Experimental de Turén, estado Portuguesa.	36
I-8	Propiedades físicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turen, estado Portuguesa.	37
I-9	Propiedades químicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turén, estado Portuguesa.	40
I-10	Rendimiento en grano del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.), bajo los diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos en el suelo Turén, estado Portuguesa.	43
II-1	Métodos usados para la evaluación de las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo en los ensayos ubicados en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	51
II-2	Características físicas, químicas y biológicas relacionadas con la fertilidad del suelo evaluado ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	55

II-3	Distribución de tamaño de partícula de la fracción fina del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	56
II-4	Caracterización inicial (n = 28) del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	59
II-5	Sustancias húmicas en índices de humificación en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua (n = 28).	61
II-6	Índices de humificación y relaciones entre las diferentes fracciones químicas de la materia orgánica para los tratamientos y profundidades evaluadas, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	67
II-7	Parámetros de biodiversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en raíces de duraznero (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	70
II-8	Niveles nutricionales en el tejido de las plantas de duraznero (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	73
II-9	Variables fenológicas y rendimiento del cultivo de duraznero (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	73
III-1	Descripción de las épocas de muestreo del ensayo ubicado en la Estación Experimental la Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	83
III-2	Métodos para la evaluación de las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo del ensayo ubicado en la Estación Experimental la Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	84
III-3	Caracterización inicial de las propiedades químicas del suelo (n = 108) en el ensayo ubicado en la Estación experimental la Iguana, municipio santa María de Ipire, estado Guárico.	85
III-4	Caracterización inicial de las propiedades físicas del suelo (n = 96) en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	86
III-5	Calidad de los cultivos de cobertura introducidos y las plantas presentes en la sabana natural (n = 36), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	87
III-6	Diferentes fracciones de P (mg·kg ⁻¹) en la capa superficial del suelo bajo los tipos de cobertura y fertilización, para la época de floración del segundo ciclo maíz-ganado, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	100

III-7	Propiedades físicas del suelo a las profundidades evaluadas bajo los tipos de cobertura y fertilización para la época después del pastoreo del ganado del tercer ciclo maíz-ganado, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	102
III-8	Correlaciones lineales de Pearson (r) entre los atributos ecológicos: densidad, riqueza y diversidad de familias de suelos macroinvertebrados y algunas variables edáficas en una sabana bien drenada de los llanos venezolanos ($n = 48$).	114

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Ubicación de los ensayos sobre sistemas de manejo sostenibles en los suelos Agua Blanca (ABL), Campo Experimental Agua Blanca, estado Portuguesa; Turén (TUR), Campo Experimental Turén, estado Portuguesa; Colonia Tovar (CTO), sector Cucurucho, municipio Tovar, estado Aragua; y Santa María de Ipire (SMI), Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	15
I-1	Distribución de los tratamientos de labranza en el Campo Experimental Agua Blanca, estado Portuguesa.	22
I-2	Distribución de los tratamientos de labranza y rotación de cultivos en el Campo Experimental Turén, estado Portuguesa.	23
I-3	Resistencia a la penetración y contenido de humedad del suelo en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	31
I-4	Efecto del uso y los sistemas de labranza en: a) la distribución de agregados de suelo estables al agua a las profundidades de 0-5 cm y 5-15 y b) el contenido de C y N en la capa superficial (0 a 5 cm) de un suelo bajo cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	32
I-5	Altura de las plantas de maíz (<i>Zea mays</i> L.) durante la época de muestreo afectadas por la labranza reducida, convencional, siembra directa en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	33
I-6	Mapa de análisis de correspondencia del efecto de la labranza: reducida (LR), convencional (LC) y siembra directa (SD) sobre las fracciones de carbono y nitrógeno y componentes estructurales de la capa superficial (0 – 5 cm) del suelo, y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.): emergencia de plántulas, altura de planta y rendimiento de grano, en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.	34
I-7	Resistencia a la penetración y contenido de humedad del suelo en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turen, estado Portuguesa.	39
I-8	Parámetros de desarrollo de raíces del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en los diferentes tratamientos de labranza y rotación en el suelo de la localidad de Turén, estado Portuguesa: a) longitud de raíces, b) área ocupada por raíces.	42
II-1	Distribución de los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero (<i>Prunus persicae</i> (L.) Batsch), en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de La Colonia Tovar, estado Aragua.	53
II-2	Efecto de la pedregosidad sobre: a) infiltración, b) pérdidas de suelo y c) escorrentía en suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	57
II-3	Efecto de la pendiente sobre: a) infiltración, b) pérdidas de suelo y c) escorrentía en suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	58

II-4	Distribución en el perfil del carbono orgánico total en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	63
II-5	Distribución en el perfil del Fósforo disponible (P-Olsen) en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	63
II-6	Distribución en el perfil del Nitrógeno orgánico total en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	64
II-7	Distribución en el perfil del nitrógeno mineral (nitrato, NO_3^- y amonio, NH_4^+) en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	65
II-8	Distribución de las sustancias húmicas: carbono en ácidos fúlvicos (CAF), carbono en ácidos húmicos (CAH) y carbono en las sustancias no húmicas (CSNH), en los tratamientos y profundidades evaluadas en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	66
II-9	Cambio en la respiración edáfica bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en la capa de 0 a 5 cm del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	68
II-10	Cambio en la mineralización (producción de CO_2) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	68
II-11	Cambios en el carbono de la biomasa microbiana (C-BM) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	69
II-12	Cambios en el nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BM) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	69
II-13	Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) de la composición de la comunidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) encontrada en las raíces de duraznero (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch) bajo diferentes tratamientos manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.	71
III-1	Distribución de los tratamientos de cobertura y manejo de fertilización en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	81
III-2	Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los tipos de cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM) y sabana natural (SN) a las profundidades evaluadas, en el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	89

III-3	Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	90
III-4	Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura <i>Centrosema macrocarpum</i> , a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	92
III-5	Dinámica del nitrógeno mineral (Nm) a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes tipos de cobertura en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	93
III-6	Dinámica del nitrógeno mineral a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes manejos de la fertilización del maíz con la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	94
III-7	Dinámica del nitrógeno mineral a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes manejos de fertilización del maíz con la cobertura <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	94
III-8	Dinámica del fósforo disponible (P) en los tipos de cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM) y sabana natural (SN) a las profundidades evaluadas, en el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	95
III-9	Dinámica del fósforo disponible (P) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	96
III-10	Dinámica del fósforo disponible (P) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura <i>Centrosema macrocarpum</i> , a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	96
III-11	Poros del suelo con radio equivalente mayor a 15 μm (Pa) a las profundidades evaluadas en las coberturas (Sabana natural, SN; <i>Brachiaria dictyoneura</i> , BD; <i>Centrosema macrocarpum</i> , CM), y los tratamientos de fertilización, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	104
III-12	Poros del suelo con radio equivalente menor a 15 μm (Pr) a las profundidades evaluadas en las coberturas (Sabana natural, SN; <i>Brachiaria dictyoneura</i> , BD; <i>Centrosema macrocarpum</i> , CM), y los tratamientos de fertilización, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	105

III-13	Patrón de distribución porcentual de las raíces de maíz (<i>Zea mays</i> L.) sobre la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> , en los diferentes tratamientos de fertilización fosfórica, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	106
III-14	Patrón de distribución porcentual de las raíces de maíz (<i>Zea mays</i> L.) sobre la cobertura <i>Centrosema macrocarpum</i> , en los diferentes tratamientos de fertilización fosfórica, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	107
III-15	Actividad de las enzimas a) ureasa y b) fosfatasa ácida para los tipos de cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD), <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM) y Sabana natural (SN), durante el ciclo maíz- ganado 2007-2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	109
III-16	Actividad de la enzima ureasa en la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD) y <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM) para los diferentes tipos de fertilización durante el ciclo maíz - ganado 2007 - 2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	110
III-17	Actividad de la enzima fosfatasa en la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> (BD) y <i>Centrosema macrocarpum</i> (CM) para los diferentes tipos de fertilización durante el ciclo maíz - ganado 2007 - 2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	111
III-18	Abundancia relativa (%) de los macroinvertebrados del suelo de una sabana bien drenada en los Llanos venezolanos según la profundidad (0 – 5, 5 – 15 y 15 – 30 cm).	112
III-19	Densidad, riqueza y diversidad de familias de macroinvertebrados de suelo de una sabana bien drenada de los Llanos venezolanos en un periodo de 1405 días de estudio.	113
III-20	Análisis de Redundancia (ADR) del ordenamiento de las épocas de muestreo (tiempos) según densidad promedio de las familias de macroinvertebrados del suelo (<i>cursiva</i>) y su correlación con las propiedades del suelo (negrita) de una sabana bien drenada de los llanos venezolanos.	114
III-21	Mapas de variabilidad espacial para algunas de las propiedades del suelo estudiadas (arena, limo, arcilla, pH, COT y P) en la parcela experimental con la cobertura <i>Brachiaria dictyoneura</i> , en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	116
III-22	Mapas de variabilidad espacial para algunas de las propiedades del suelo estudiadas (arena, limo, arcilla, pH, COT y P) en la parcela experimental con la cobertura <i>Centrosema macrocarpum</i> , en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	117
III-23	Mapas del rendimiento de frijol (<i>Vigna unguiculata</i> (L) Walp) en la parcela experimental con las coberturas de a) <i>Brachiaria dictyoneura</i> y b) <i>Centrosema macrocarpum</i> , en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.	117

INTRODUCCIÓN GENERAL

La agricultura, como medio de producción de alimentos, ha sido una actividad básica para garantizar la vida de las sociedades humanas, pero también la causante de importantes impactos sobre los ecosistemas naturales e intervenidos. La agricultura convencional se caracteriza por la labranza intensiva, monocultivos, aplicación de fertilizantes inorgánicos, uso del riego, control químico de competidores bióticos y manipulación genética de los cultivos.

Este tipo de agricultura ha traído como consecuencias: i) pérdida de la biodiversidad debido a la implantación del monocultivo y la desaparición o desplazamiento de las especies autóctonas de sus nichos ecológicos; ii) aceleración de los procesos de degradación, tales como: compactación, erosión, salinización y sodificación del suelo, contaminación por plaguicidas y fertilizantes; iii) eliminación de bosques por la expansión de la frontera agrícola; iv) pérdida de los recursos hídricos por las intervenciones humanas en las cuencas mediante deforestaciones e implantación de explotaciones agrícolas y pecuarias; v) debilitamiento de las condiciones sociales que permiten la conservación de los recursos; vi) tendencia a la desaparición de la agricultura campesina y vii) aumento en los costos de producción y dependencia de insumos externos (Segrelles, 2000; Millet y Tussaint, 2008; Rosset, 2011).

Por su parte, la “**agricultura sostenible**” se propone como un sistema de producción basado en el conocimiento profundo del agroecosistema, de los equilibrios biofísicos y la conservación del medio ambiente, con un enfoque holístico (integral), que aplica técnicas de gestión e información para reducir costos, mejorar la eficiencia y mantener los niveles de producción a través de prácticas y principios agroecológicos (Parr *et al.*, 1992). Los sistemas agrícolas sostenibles existen desde tiempos inmemoriales, éstos solo han sido redescubiertos y revalorizados por la agroecología, la cual muestra un conjunto de estrategias que permiten analizar los contenidos teóricos y de carácter local, para finalmente diseñar las opciones de manejo que permitan alcanzar los objetivos de la sostenibilidad (Altieri y Nicholls, 2000).

La agricultura sostenible se basa en: i) uso de especies y cultivares más adaptados a las condiciones de producción; ii) rotación de cultivos, preferiblemente con plantas leguminosas, en lugar de monocultivos; iii) sistemas diversificados o integrados de cultivo/ganadería; iv) manejo integrado de competidores bióticos de los cultivos; v) conservación de suelos y aguas mediante el manejo de los residuos de cosecha o cultivos de cobertura y labranza de conservación; y vi) la gestión integral de nutrientes e insumos, entre otros (Altieri, 2001).

Según la FAO (1989), la agricultura sostenible abarca el manejo exitoso de recursos para la agricultura con el propósito de satisfacer las necesidades humanas cambiantes, manteniendo y mejorando al mismo tiempo la calidad del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Por otro lado, Smyth y Dumanski (1995) señalan que el manejo sostenible de la tierra es la combinación de tecnologías, políticas y actividades con el propósito de integrar principios socioeconómicos y preocupaciones ambientales para: i) mantener o mejorar la producción y/o servicios (productividad); ii) reducir el nivel de riesgo en la producción (seguridad), iii) proteger el potencial de los recursos naturales y prevenir la degradación de los suelos y aguas (protección), iv) hacer económicamente viable el sistema (viabilidad), y v) hacerlo socialmente aceptable (aceptabilidad).

Estos objetivos (productividad, seguridad, protección, viabilidad y aceptabilidad) son los pilares fundamentales del manejo sostenible de la tierra y se deben lograr simultáneamente, si se desea la sostenibilidad de la agricultura. El grado en que los agroecosistemas aumenten su sostenibilidad va a depender del manejo que se le dé a los mismos, y que conlleve al cumplimiento de los principios antes mencionados, a través de diversas prácticas y estrategias. Según la FAO (2017), la gestión sostenible del suelo (GSS) está asociada con las siguientes características:

- Tasas mínimas de erosión del suelo por el agua y el viento.
- La estructura del suelo no está degradada (Ej., por compactación del suelo) y proporciona un contexto físico estable para la circulación del aire, el agua y el calor, así como el crecimiento de las raíces.
- Hay suficiente cobertura vegetal (Ej., del cultivo, de plantas, de residuos vegetales, etc.) para proteger el suelo.
- El almacenamiento de materia orgánica del suelo es estable o está creciendo y lo ideal es que se aproxime al nivel óptimo para el entorno local.
- La disponibilidad y el flujo de nutrientes son adecuados para mantener o mejorar la fertilidad y la productividad del suelo y reducir sus pérdidas al medio ambiente.
- La salinización, la sodificación y la alcalinización son mínimas.
- El agua (Ej., de las precipitaciones y las fuentes de agua complementarias como el riego) se infiltra y almacena eficazmente para satisfacer las necesidades de las plantas y garantizar el drenaje de cualquier exceso.
- Los contaminantes están por debajo de los niveles tóxicos, es decir, aquellos que podrían causar daños a las plantas, los animales, los seres humanos y el medio ambiente.
- La biodiversidad del suelo proporciona una gama completa de funciones biológicas.
- Los sistemas de gestión de suelos para la producción de alimentos, concentrados para animales, combustible, madera y fibras dependen del uso óptimo y seguro de los insumos.
- El sellado permanente del suelo se reduce al mínimo mediante una planificación responsable del uso de la tierra.

En nuestro país se cuenta con una gran variabilidad de suelos, con características y cualidades que determinan la existencia de una gran cantidad de ecosistemas naturales y diversidad biológica, lo que le confiere a su vez una amplia gama de potencialidades y aptitudes para su utilización (Elizalde *et al.*, 2007), pero que bajo condiciones de uso intensivo convencional, se han generado diferentes procesos de degradación, por lo que se hace necesario ofrecer opciones para su manejo sostenible. En este trabajo se hará énfasis la experiencia en la evaluación de sistemas de manejo sostenibles para suelos de los **llanos occidentales**, de la **cordillera de la costa central** y las **sabanas bien drenadas**, a través de diferentes proyectos de investigación.

En las últimas décadas, los suelos de los **llanos occidentales** han sido sometidos a una agricultura básicamente dedicada a cultivos intensivos de secano, altamente mecanizados, labrados muchas veces, a contenidos de humedad no adecuados, sin medidas de conservación de suelos, lo que unido a las condiciones climáticas (lluvias de alta intensidad y altas temperaturas) y la presencia de suelos susceptibles a la degradación, ha traído como consecuencia el deterioro progresivo de sus cualidades físicas, químicas y biológicas. En estos suelos se han identificado, tanto cualitativa como cuantitativamente algunos procesos de degradación, siendo los de degradación física los que han sido objeto de mayor investigación (Pla *et al.*, 1974; Florentino, 1989; Lozano *et al.*, 2000a y 2000b). Los procesos de deterioro, generalmente, se evidencian con descensos en los niveles de materia orgánica y de la actividad biológica, con efectos desfavorables en la estructura del suelo, especialmente en los atributos funcionales de los poros tanto de transmisión como de retención. El deterioro de estos atributos se manifiesta en problemas interrelacionados de sellado y encostrado superficial y compactación subsuperficial, lo que provoca un limitado desarrollo de las raíces, poca emergencia de plántulas, bajas tasa de infiltración, drenaje deficiente, pobre aireación y sequía frecuentes (Rodríguez *et al.*, 2015, Espinoza *et al.*, 2017).

El principal uso de la tierra en la zona es el monocultivo de maíz o sorgo como cultivo principal de secano, seguido de algodón, girasol, frijol o ajonjolí, como cultivo de sucesión en la época de norte. En algunas áreas con suelos de texturas arcillosas y posibilidades de riego, se siembra arroz todo el año. También existen áreas bajo caña de azúcar, pasto o con cultivos forestales. Una característica destacada es la poca rotación de cultivos y la presencia de cultivos asociados en pequeñas extensiones (conucos mejorados). Gran parte de los productores de la zona poseen un elevado nivel tecnológico, caracterizado por el uso de semillas certificadas de cultivares híbridos con altos requerimientos nutricionales, el uso de fertilizantes inorgánicos en dosis elevadas, enmiendas y agroquímicos. Este alto uso de insumos, no siempre se revierte en los rendimientos de los cultivos.

Entre las alternativas de manejo sugeridas para superar las limitaciones y aprovechar las potencialidades de los suelos de la zona se destacan: i) nivelación y establecimiento de estructuras de drenaje superficial en áreas mal drenadas, tales como canales de derivación, bancales y siembra en camellones; ii) uso de equipos de corte vertical para romper las capas compactadas sub-superficiales, tales como subsolador, arado de cincel y rastra de púas; iii) incorporación de residuos de cosecha para aumentar los contenidos de materia orgánica y para favorecer la aireación; iv) rotación de cultivos y siembra e incorporación de abonos verdes (preferiblemente leguminosas), lo que permite aumentar los contenidos de materia orgánica y la actividad biológica del suelo; v) siembra directa o labranza reducida, para mantener o mejorar la estructura del suelo (donde no existan problemas de drenaje), lo que además permite mantener la estructura superficial del suelo y reducir las pérdidas de agua por evaporación; y vi) uso de cultivos asociados y de cobertura, lo que además de disminuir las pérdidas de agua por evaporación, permite la complementariedad y el sinergismo entre cultivos (Lozano *et al.*, 2000a; Sozzi y Centeno, 2006; Espinoza *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2015).

En la **cordillera de la costa central** de Venezuela, específicamente en los municipios Tovar del estado Aragua (Colonia Tovar) y Guaicaipuro del estado Miranda (El Jarillo), se practica la agricultura intensiva de frutales y hortalizas en terrenos de topografía accidentada con moderadas a elevadas pendientes y suelos de baja fertilidad natural. En el municipio Tovar existen 27 poblados agrícolas (sectores) que tienen en el cultivo del duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) su principal fuente de ingresos; y donde la superficie sembrada de aproximadamente 1400 ha, aporta el 80% de la producción nacional de este rubro. Esta actividad genera trabajo y estabilidad y está dirigida básicamente al mercado nacional (Aular y Casares, 2011). No obstante, en diagnósticos realizados sobre el manejo de algunos huertos de la zona se encontró que la baja productividad de este frutal se debe a: i) uso de prácticas de manejo inadecuadas, ii) la utilización de materiales genéticos no adaptados a las condiciones locales, iii) problemas con insectos plagas, malezas, enfermedades y nematodos, y iv) un inapropiado manejo postcosecha y traslado de la producción (Avilán y Leal, 1990; Crozzoli, 2002; Soto *et al.*, 2004).

Aular y Casares (2011) señalan que el manejo de los suelos y la nutrición mineral en las zonas productoras de duraznero en los estados Aragua y Miranda no han sido adecuados. A pesar de que en el pasado se generaron tecnologías de manejo de las plantaciones que lograron aumentar los rendimientos y la productividad, pasando de una cosecha anual a dos por planta; se mantuvieron los problemas con el manejo de la fertilización, caracterizada por la aplicación de altas dosis de fertilizantes inorgánicos, el uso de abonos orgánicos (gallinaza y cama de pollo) no compostados y sin evaluar previamente el estado de fertilidad del suelo y el estado nutricional del cultivo (Avilán *et al.*, 1975; López *et al.*, 2002); además, se realizan aplicaciones excesivas de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, que afectan la biodiversidad de microorganismos benéficos y favorecen la proliferación de especies patógenas (Bolívar *et al.*, 2002; López *et al.*, 2002, Alguacil *et al.*, 2011).

Se debe destacar que bajo el esquema actual de manejo se pueden generar desbalances nutricionales en el suelo, que son de difícil corrección (López *et al.*, 2004, Aular, 2006) y generación de problemas fitosanitarios, principalmente por insectos plagas (Arnal *et al.*, 2002), hongos (Aponte y Rondón, 2004) y nematodos (Crozzoli, 2002). Entre las prácticas sugeridas para solventar los problemas mencionados se encuentran:

i) la disminución de dosis y fraccionamiento de los fertilizantes inorgánicos, ii) el compostaje de los abonos orgánicos, iii) el uso de controladores biológicos de plagas y enfermedades en lugar de agroquímicos, y iv) prácticas para el control de la erosión del suelo.

En las **sabanas bien drenadas** o sabanas de *Trachypogon* sp, se desarrollan una gran variedad de agroecosistemas que van desde la ganadería doble propósito en forma extensiva y semi-intensiva sobre pastos naturales (Colmenares *et al.*, 2005), hasta monocultivos mecanizados de secano (maíz y sorgo) con el uso de la soca para alimentar al ganado (Mata *et al.*, 1996). Estos usos de la tierra involucran prácticas como la deforestación y quema de especies arbóreas, la quema anual de la vegetación herbácea para lograr rebrotes de mayor palatabilidad, la labranza excesiva a contenidos de humedad no adecuados, la utilización de cargas animales superiores a las recomendadas (sobrepastoreo), el uso de altas dosis de fertilizantes y agroquímicos para el control de plagas y vegetación indeseable, lo cual unido a la presencia de suelos susceptibles a la degradación y lluvias de alto poder erosivo, han conducido a una disminución de la productividad, con pérdidas

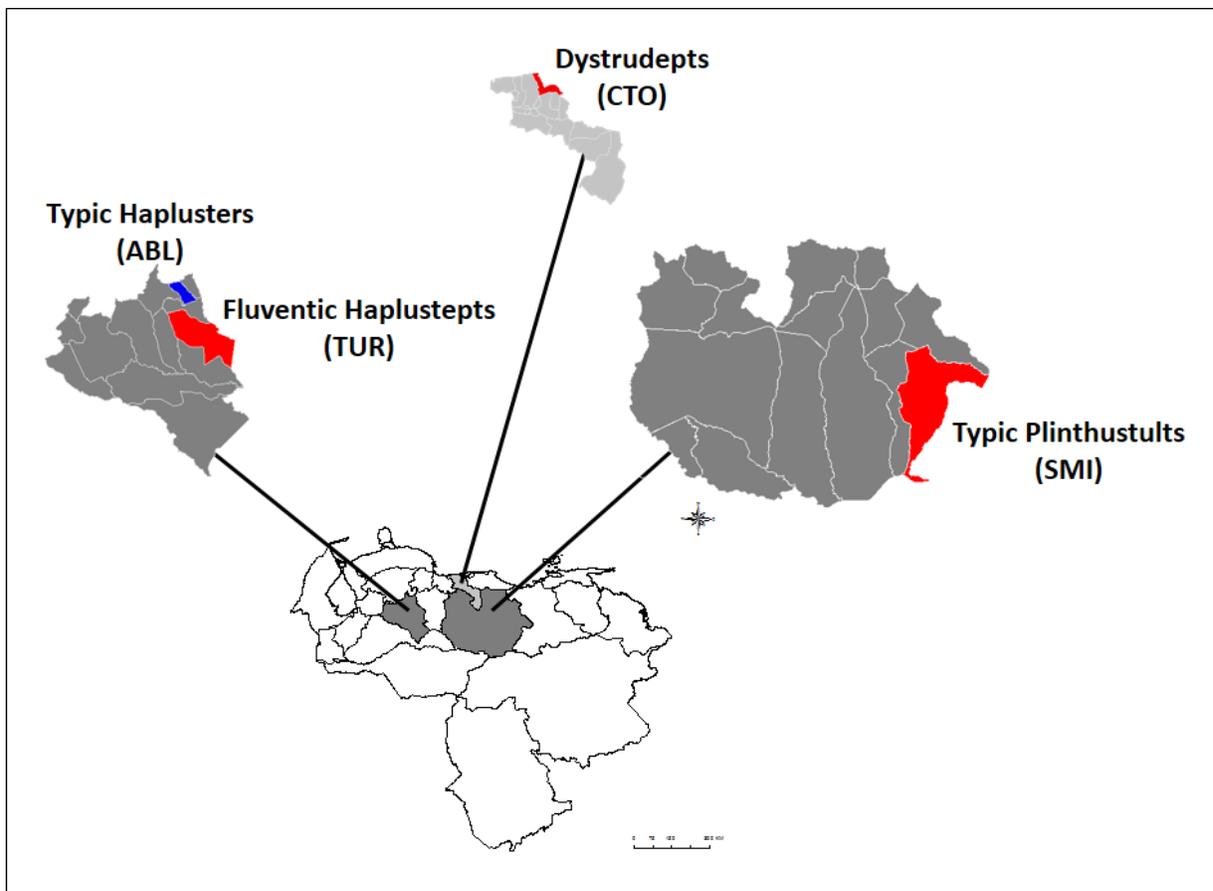


Figura 1. Ubicación de los ensayos sobre sistemas de manejo sostenible en los suelos Agua Blanca (ABL), Campo Experimental Agua Blanca, estado Portuguesa; Turén (TUR), Campo Experimental Turén, estado Portuguesa; Colonia Tovar (CTO), sector Cucurucho, municipio Tovar, estado Aragua; y Santa María de Ipire (SMI), Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

económicas para los productores, disminución de la calidad de los recursos suelo y agua, disminución de la vegetación nativa y de la biodiversidad de flora y fauna, lo que hace que el manejo actual no sea sostenible (Chacón *et al.*, 1991, Bravo y Florentino, 1999; Hernández *et al.*, 2000; López-Hernández *et al.*, 2005).

Entre las opciones para superar esta problemática, se han propuesto manejos conservacionistas que utilizan una gran variedad de especies como barbechos mejorados entre las que se pueden mencionar los géneros *Brachiaria*, *Digitaria*, *Stylosanthes*, *Centrosema*, *Gliricidia* y *Alysicarpus*, cuya función es proteger el suelo y recuperar su productividad a través del mejoramiento de las propiedades del mismo. Los cultivos seleccionados en cualquier caso deben poseer una alta capacidad de producción de materia seca todo el año, pero principalmente durante el periodo de sequía, preferiblemente con potencial para fijar nitrógeno atmosférico a fin de reducir las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados de origen industrial, y así reducir las pérdidas por lixiviación.

Para mejorar la calidad forrajera se ha propuesto el uso de bancos de proteína, asociaciones pasto-leguminosas o pasto-cereal y sistemas agropastoriles, estos últimos aunque no son tradicionales en la zona, han sido evaluados en algunas fincas de productores con la finalidad de diversificar y disponer de opciones más sostenibles (Rodríguez *et al.*, 2015).

Otros autores han sugerido prácticas como la siembra directa o la labranza reducida, cultivos en franjas, barreras vivas y cultivos de cobertura, entre las tecnologías más promisorias para la transición de los sistemas convencionales hacia sistemas más sostenibles en las sabanas bien drenadas, ya que éstos ofrecen un potencial para su integración con la producción ganadera de la región (Nacci *et al.*, 1992; Rincón *et al.*, 2007; Bravo *et al.*, 2008).

Durante los últimos años, diferentes equipos de trabajo de los que he formado parte, instalaron ensayos de campo y realizaron evaluaciones de sistemas de manejo más sostenibles en suelos de las tres zonas agroecológicas mencionadas: los llanos occidentales, la cordillera de la costa central y sabanas bien drenadas (Figura 1). Los resultados más relevantes de las investigaciones realizadas en estas zonas, se presentan en este trabajo.

La memoria escrita está dividida en tres capítulos. En el capítulo I, se presentan los resultados las evaluaciones llevadas a cabo en dos suelos representativos de los **llanos occidentales**, donde se probaron diferentes sistemas de labranza y rotaciones en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), como manejo alternativo a la labranza intensiva y al monocultivo característico de la zona, para lo cual se realizaron muestreos en ensayos instalados en las localidades de Agua Blanca (ABL) y Turén (TUR), ambas en el estado Portuguesa.

En el capítulo II, se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas en un suelo de la **cordillera de la costa central**, donde se evaluó el efecto del establecimiento del cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) sobre las propiedades del suelo; así como de la pedregosidad superficial y la pendiente sobre algunas propiedades hidrológicas del suelo, y se realizaron propuestas de mejora a las prácticas culturales aplicadas al cultivo de duraznero, tales como la fertilización y control de plagas y enfermedades, como manejo alternativo al tradicional de la zona con aplicaciones de altas dosis de insumos químicos. Para ello se realizaron evaluaciones y se instaló un ensayo de campo en un suelo bajo producción de duraznero (13 años), en un sector cercano a la Colonia Tovar (CTO) del estado Aragua.

Finalmente, en el capítulo III se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas en un suelo de las **sabanas bien drenadas**, donde se planteó la introducción de especies forrajeras de mayor calidad bioquímica (gramíneas o leguminosas), como cultivos de cobertura y fuente de residuos para la siembra directa de los cultivos maíz o frijol (*Vigna unguiculata* L.), con diferentes fuentes de fertilización fosforada y posterior pastoreo con ganado bovino, como alternativa a la ganadería extensiva característica de la zona. Para ello se instaló un ensayo de campo en una zona cercana a la localidad de Santa María de Ipire (SMI), del estado Guárico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alguacil, MdM.; E. Torrecillas; Z. Lozano; A. Roldán. 2011. Evidence of differences between the communities of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing galls and roots of *Prunus persica* infected by the Root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Applied and Environmental Microbiology* 77 (24): 8656–8661.
- Altieri, M. A.; C.I. Nicholls. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie de textos básicos para la formación ambiental 4. Primera Edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México. pp. 5–133.
- Altieri, M.A. 2001. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. [Consulta: 15-05-2019]. Disponible en: <http://www.agroeco.org/doc/SistAgroEvalSuelo2.htm>.
- Aponte, A.; A. Rondón. 2004. Experiencias en el manejo integrado de enfermedades micóticas del duraznero en Venezuela. CENIAP HOY N° 5. [Consulta: 19-01-2019]. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/>.
- Arnal, E.; A. Rondón; A. Aponte; Z. Suárez; Y. Guevara; A. Maselli; C. Rosales. 2002. Aspectos fitosanitarios del durazno. El duraznero en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. Serie B, N° 4. pp. 71-112.
- Aular, J. 2006. Consideraciones sobre el manejo hortícola del duraznero en Venezuela. *En: Primer curso de actualización de conocimientos en frutales de altura: fresa, mora y durazno*. W. Briceño y J. Aular (Eds.). Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) – San Cristóbal. pp. 20–26.
- Aular, J.; M. Casares. 2011. Consideraciones sobre la producción de frutas en Venezuela. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volumen Especial*, pp. 187-198.
- Avilán R., L.; A. Brendler S.; A. Hernáiz Y. 1975. Evaluación de los suelos y del estado nutricional del cultivo del durazno (*Prunus persica* L.) en la Colonia Tovar. *Agronomía Tropical (Ven)* 25:81-91.
- Avilán, L.; F. Leal. 1990. Suelos, fertilizantes y encalado para frutales. Editorial América, Caracas, Venezuela. 459 p.
- Bolívar, A.; C. Rosales; Z. Suárez; M. López; E. Soto. 2002. El diagnóstico rural participativo y su aplicación en la identificación de la problemática del cultivo de durazno. *En: El duraznero en Venezuela*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. Serie B, N° 4. pp. 9-20.
- Bravo, C.; A. Florentino. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y aguas bajo diferentes sistemas de labranza. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 25: 57-74.
- Bravo, C.; Z. Lozano; R.M. Hernández; H. Cánchica; I. González. 2008. Siembra directa como alternativa agroecológica para la transición hacia la sostenibilidad de las sabanas. *Acta Biológica*. 28 (1): 7-26.
- Chacón, P.; I. López-Hernández; M. Lamote. 1991. Le cycle de l'azote dans une savane à *Trachypogon* au centre du Venezuela. *Revue D'ecologie et Biologie du Sol* 28: 67-75.
-

- Colmenares, O.; P. Herrera; B. Birbe; M. Martínez. 2005. El tipo animal como factor a evaluar en la ganadería doble propósito en condiciones de sabanas. I Taller Perspectivas de las sabanas en el desarrollo agropecuario de Venezuela. Valle de la Pascua, Venezuela. 11 p.
- Crozzoli, R. 2002. Especies de nematodos fitoparasíticos en Venezuela. *Interciencia* 27: 354-364.
- Elizalde, G.; J. Vilorio; A. Rosales. 2007. Geografía de suelos de Venezuela. *En: Geo Venezuela Tomo 2. Medio físico y recursos ambientales. Fundación Empresas Polar, Caracas.* pp. 402-537.
- Espinoza, Y.; Z. Lozano; L. Malpica. 2017. Efecto del sistema labranza sobre la estructura y fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y su impacto en el desarrollo del cultivo de maíz. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 34: 448-476.
- Espinoza, Y.; Z. Lozano; L. Velásquez. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia* 32: 554-559.
- Florentino, A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén. Su incidencia agronómica. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay (Venezuela). 207 p.
- Hernández, R.; A. Florentino; D. López-Hernández. 2000. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de un Ultisol en el estado Guárico-Venezuela. *Agronomía Tropical (Vén)* 50 (1): 9-29.
- López, M.; I. López; M. España. 2002. Fertilidad del suelo y estado nutricional de las plantas. pp. 43-70. *En: El duraznero en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. Serie B, N° 4.* 123 p.
- López, M.; M. España; I. López de R.; A. Bolívar; M. Wagner; G. Medina. 2004. Manejo de suelos ácidos en la producción de durazneros en la Colonia Tovar. INIA Divulga 1. Aragua, Venezuela. pp.1-3.
- López-Hernández, D.; R.M. Hernández-Hernández; M. Brossard. 2005. Historia de uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. *Estudios de casos en sabanas del Orinoco. Interciencia* 30 (10): 623-629.
- Lozano, Z.; D. Lobo; I. Pla. 2000a. Limitaciones para la emergencia de plántulas de maíz y sorgo en suelos de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 26 (1): 15-25.
- Lozano, Z.; D. Lobo; I. Pla S. 2000b. Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los llanos occidentales Venezolanos. *Bioagro* 12: 15-24.
- Mata, D.; P. Herrera y B. Birbe. 1996. Sistemas de producción animal con bajos insumos para las sabanas de *Trachypogon* sp. *Ecotrópicos* 9: 83-100.
- Millet, D.; E. Toussaint. 2008. Repaso de las causas de la crisis alimentaria mundial. [Consulta: 27-04-2019]. Disponible en: <http://www.rebellion.org/noticia.php?71754>.
- Nacci, S.; E. Cabrera de Bisbal; J. Salazar. 1992. Efecto del método de labranza sobre las propiedades físicas de los suelos arenosos de las mesas orientales de Monagas. IIAG-CENIAP-FONAIAP. *En: Manual de sistemas de labranza para América Latina.* pp. 164-182.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1989. Sustainable agriculture productions: for international agriculture research. Technical Advisory Committee. Consultative Group on International Agriculture Research (CGIAR). Washington, DC., USA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos, Roma, Italia. 16 p.
- Parr, J.F.; R.I. Papendick; S.B. Hornick; R.E. Meye. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 5–11.
- Pla, I.; G. Campero; R. Useche. 1974. Physical degradation of agricultural soils in the Western Plains of Venezuela. 10th International Congress of Soil Science 1: 231-240. Moscow, URSS.
- Rincón, A.; G.A. Ligarreto; D. Sanjuanelo. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiarias* sp) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte colombiano. *Agronomía Colombiana* 25: 264-272.
- Rodríguez, B.; M. López; M. España; C. Bravo; Z. Lozano. 2015. Manejo de los agroecosistemas llaneros. *En: R.A. López, J.M. Hétiér, I.D. López-Hernández, R. Schargel y A. Zink (Eds.). Tierras llaneras de Venezuela, 2da Edición Capítulo 9, Volumen 1, Monografía Regional (pp. 333-399). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT-ULA), Mérida, Venezuela.*
- Rosset, P. 2011. Agrocombustibles, soberanía alimentaria y la crisis de alimentación contemporánea. *Agroecología* 4: 91-95.
- Segrelles S., J. 2000. Desarrollo rural y agricultura: ¿incompatibilidad o complementariedad? *Agroalimentaria* 11: 85-95.
- Smyth, A.J.; J. Dumanski. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 401–406.
- Soto, E.; E. Arnal; A. Rondón. 2004. Análisis del proceso productivo de duraznero en Venezuela: Caso de la Colonia Tovar, estado Aragua. *CENIAP HOY* N° 5. [Consulta: 27-09-2019]. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/esoto.htm>
- Sozzi, A.; A. Centeno. 2006. Alternativas de manejo de coberturas al sembrar sorgo bajo el sistema de siembra directa. *Bioagro* 18 (2): 129-135.
-

CAPÍTULO I

SISTEMAS DE LABRANZA Y ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SUELOS DE LOS LLANOS OCCIDENTALES

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas que afectan la productividad de los suelos agrícolas de los llanos occidentales de Venezuela, se destaca en primer lugar la degradación física por deterioro de la estructura, la cual se manifiesta a través de problema de sellado y encostrado superficial, capas compactadas y algunos procesos localizados de erosión hídrica o eólica (tolvaneras) durante ciertas épocas del año (López y Delgado, 2015). Estos tipos de degradación limitan la infiltración y flujo de agua en el suelo, aumentan los riesgos de carencias o excesos de humedad, limitan la emergencia de plántulas, restringen el desarrollo del sistema de raíces de los cultivos (su forma y dirección de crecimiento), y afectan las labores de mecanización (Pla *et al.*, 1974; Florentino, 1989; Lozano *et al.*, 2000). Además, indirectamente pueden afectar muchos procesos químicos y biológicos en el suelo (FAO, 2017).

En las zonas afectadas, progresivamente se incrementan las dificultades para realizar el laboreo del suelo, pudiéndose llegar en períodos de pocos años de explotación continua, a situaciones que impidan la producción económica de los cultivos. Lozano *et al.* (2000) asocian los fenómenos de degradación física a la distribución del tamaño de partículas común en los suelos de la zona, con altos contenidos de arenas finas y muy finas y a la presencia de arcillas de baja actividad, las cuales no pueden mantener la unión de los agregados y por lo tanto su estabilidad. Por otro lado, Pla (1989) señala que el problema se agrava en suelos con bajos contenidos en materia orgánica, expuestos a lluvias intensas y concentradas, fuerte radiación solar, y sometidos a labranza intensiva o convencional con contenidos de humedad no adecuados.

Es conocido que estrategias de manejo, tales como la labranza y rotación de cultivos, pueden modificar las propiedades del suelo. La labranza convencional (LC) afecta el contenido y distribución vertical de materia orgánica (MO), la actividad microbiana y la dinámica de los nutrientes (Acevedo y Martínez, 2003), ya que perturba el perfil del suelo y acelera la descomposición de los residuos de cultivos incorporados (Olson *et al.*, 2005); además, cambia el tamaño, forma y estabilidad de los agregados (Espinoza, 2010).

En contraste, los sistemas de labranza conservacionista como labranza reducida (LR) y siembra directa (SD), modifican el ambiente físico, químico y biológico del suelo (Carter, 2002), por la falta de perturbación y la presencia de los residuos en superficie en forma de mulch; sin embargo, la magnitud relativa de las diferencias entre el sistema convencional y los conservacionistas depende de las propiedades del suelo, el clima y los sistemas de cultivo empleados.

En diferentes estudios donde se ha incluido la rotación de cultivos, se han mostrado efectos positivos sobre las propiedades del suelo, especialmente en aquellos donde se incluyen leguminosas en la rotación, debido a su efecto sobre la relación C/N (Omay *et al.*, 1997; Potter *et al.*, 1998). López *et al.* (2006) señalan que la rotación de cultivos con leguminosas como el quinchoncho, combinado con prácticas de manejo conservacionista, encierra principios agroecológicos que coadyuvan al desarrollo sostenible, pero los efectos son altamente dependiente de las características del suelo (estructura, textura, mineralogía) y de las características climáticas regionales como temperatura y humedad (Hevia *et al.*, 2003).

Con la finalidad de evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos como alternativas de manejo sostenible sobre las propiedades del suelo y el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se seleccionaron dos ensayos instalados a largo plazo en suelos representativos de los llanos occidentales con problemas de degradación física: Agua Blanca (ABL) y Turén (TUR), ambos en el estado Portuguesa.

Descripción de los sitios y factores experimentales

I. Sistemas de labranza para el cultivo de maíz en el suelo Agua Blanca

El primer sitio experimental identificado como ABL, se ubicó en un ensayo de campo de largo plazo establecido en la década de los 70 en el Campo Experimental de Agua Blanca, del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), cercano a la localidad de Agua Blanca (9°37'37" N, 69°04'42" O, 200 msnm). El clima se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1449 mm, con 4 a 5 meses húmedos y una temperatura media 27,1 °C. El suelo es un Inceptisol clasificado como **Aeric Tropaquepts**, franco arcillosa fina, no acida, mixta, isohipertermica (Granados y Oropeza, 1986).

Los tratamientos fueron tres sistemas de labranza para el cultivo continuo de maíz de secano: labranza convencional (**LC**), labranza reducida (**LR**) y siembra directa (**SD**). Los tratamientos fueron arreglados en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones, estableciendo los bloques en bancales elaborados desde la década de los setenta, con unas dimensiones de 21, 24 y 27 m de ancho y 50 m de largo, tal y como se aprecia en la Figura I-1. Para el momento del muestreo (año 2010) el experimento tenía 35 años de establecido.

En este ensayo la LC consistió de una preparación del terreno con cuatro pases de rastra de disco a una profundidad de 20 cm; la LR de un pase de rastra de disco y la SD de un pase de rotativa, control de malezas con un herbicida de contacto (Paraquat) y la siembra del maíz con una sembradora adaptada para siembra directa. Se sembró el maíz híbrido Pioneer 30F94 en todos los tratamientos durante la época de lluvia (junio) a una distancia entre hileras de 0,8 m y de 6 a 7 plantas m⁻¹, y en la época seca se dejó en barbecho. La fertilización básica se realizó tomando en cuenta el análisis de suelo previo a la siembra, en dosis de 42 kg de N, P₂O₅ y K₂O, en forma del fertilizante 14-14-14, aplicado 2/3 al momento de la siembra y 1/3 a los 15 días después de la siembra (dds).

II. Sistemas de labranza y rotación de cultivos en el suelo Turén

El segundo sitio experimental identificado como TUR, se ubicó en un ensayo de campo de largo plazo establecido en el año 1996 en el Campo Experimental Turén, del INIA, en la Colonia Agrícola de Turén (9°16'30" N, 69°57'67" O, a 215 msnm). El clima de la zona se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1432 mm, con 4 a 5 meses húmedos y una temperatura media de 22,3°C. El suelo es un Inceptisol clasificado como **Fluventic Haplustepts**, francosa gruesa, mixta, isohipertérmica (Rey, 2002). Los tratamientos fueron dos tipos de labranza: siembra directa (**SD**) y labranza convencional (**LC**), con dos rotaciones: **MA**, maíz (*Zea mays* L.) - algodón (*Gossypium hirsutum* L.) y **MF**, maíz - frijol (*Vigna unguiculata* (L) Walp). Los tratamientos fueron arreglados en diseño de bloques con parcelas divididas completamente aleatorizados con tres repeticiones, donde las parcelas principales fueron los sistemas de labranza y las subparcelas (36 m × 10 m) las rotaciones de cultivos, como se aprecia en la Figura I-2.

En este ensayo la LC consistió en la preparación del terreno con cuatro pases de rastra a la profundidad de 20 cm, previo a la siembra del maíz. La SD consistió en plantar directamente el maíz con una sembradora para siembra directa. En el periodo seco del año 2001, se sembró frijol de variedad Tuy y algodón de variedad Deltapine 16. Previo a esta siembra, las parcelas fueron acondicionadas con un pase de rotativa y recibieron la aplicación de 4 L ha⁻¹ del herbicida Glyphosate, utilizando una asperjadora acoplada al tractor. El maíz del híbrido Pioneer 30F94 fue sembrado en el mes de junio, utilizando una sembradora-abonadora, graduada para tres hileras separadas cada 0,80 m con una descarga de 6 a 7 semillas por metro a una profundidad de 5 cm. En el momento de la siembra se aplicó 34 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, en forma del fertilizante 15-15-15.

Posteriormente, a los 25 dds se realizó un reabono manual con 84 kg ha⁻¹ N en forma de sulfato de amonio, aplicado superficialmente a 10 cm de la hilera de plantas. Cuarenta días después de la siembra se realizó un control químico post-emergente de malezas, mediante la aplicación de 80 g ha⁻¹ del herbicida Nicosulfuron. Las evaluaciones de este ensayo se realizaron en el periodo de floración del maíz.

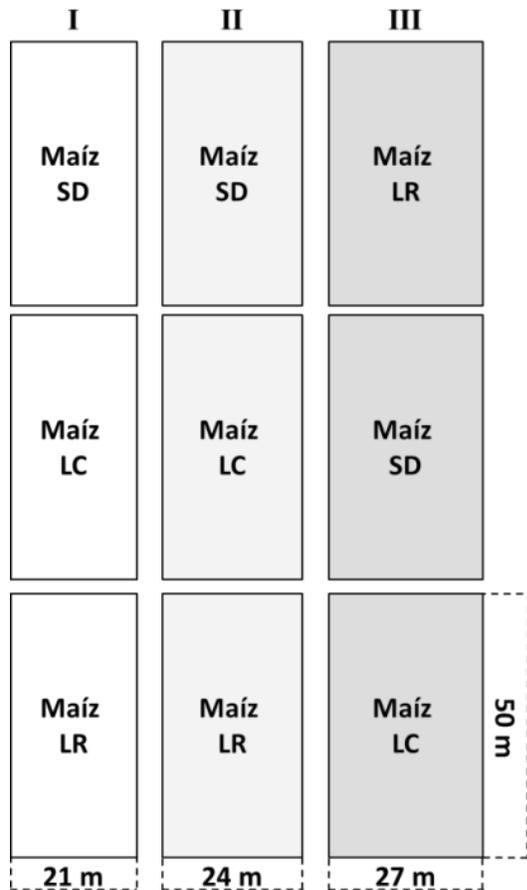


Figura I-1. Distribución de los tratamientos de labranza en el Campo Experimental Agua Blanca, estado Portuguesa. **SD:** Siembra directa; **LC:** Labranza convencional; **LR:** Labranza reducida. Los bloques se identifican del I al III.

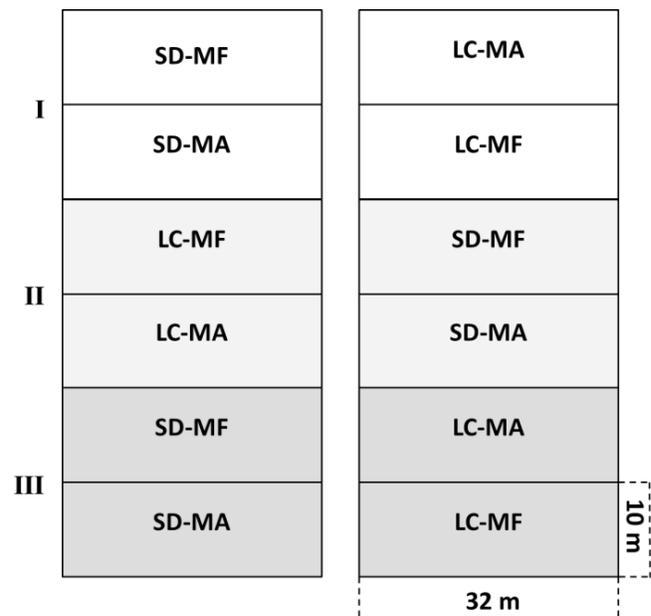


Figura I-2. Distribución de los tratamientos de labranza y rotación de cultivos en el Campo Experimental Turén, estado Portuguesa. **SD-MA:** Siembra directa y rotación maíz-algodón; **SD-MF:** Siembra directa y rotación maíz-frijol; **LC-MA:** Labranza convencional y rotación maíz-algodón; **LC-MF:** Labranza convencional y rotación maíz-frijol. Los bloques se identifican del I al III.

Muestreo y análisis con fines de caracterización y evaluación

En ambos suelos, antes de la siembra del cultivo principal (maíz) se realizó una revisión con barreno a través de transectas diagonales en cada sitio experimental, para verificar la descripción de calicatas realizadas previamente y determinar las profundidades de muestreo. En cada sitio se realizó una caracterización inicial de las propiedades químicas y físicas en los horizontes pedogenéticos, posteriormente en la época de floración del maíz en cada año se evaluó el efecto de los tratamientos sobre las propiedades del suelo a las profundidades establecidas.

Para la caracterización física inicial se realizó una calicata de aproximadamente 120 cm de ancho por 70 cm de profundidad en cada sitio experimental (profundidad a la cual se concentran la mayor parte de las raíces de los cultivos anuales). La calicata se prolongó en forma de escalones por cada horizonte identificado. Se establecieron los siguientes horizontes: en ABL, 0 – 24, 24 – 53 y 53 - 70 cm; y en TUR, 0 – 12, 12 – 34 y 34 - 50 cm.

En cada horizonte se tomaron muestras y se realizaron mediciones directamente en campo: i) **muestras disgregadas** tomadas con toma muestras tipo palín, secadas al aire y pasadas por tamices de 2 y 4 mm, en cada

muestra se determinó: contenido de humedad, distribución de tamaño de partículas y estabilidad de agregados al humedecimiento; ii) **muestras no alteradas** tomadas con un toma muestras tipo Uhland, en cada muestra se determinó: densidad aparente, distribución de tamaño de poros (porosidad total, poros de aireación o radio equivalente >15 mm y poros de retención o radio equivalente <15 mm), conductividad hidráulica saturada, cohesión en seco y se calculó la capacidad de aireación; iii) **directamente en campo** se determinó: tasa de infiltración en el perfil y en cada uno de los horizontes identificados. Se tomaron seis (6) muestras disgregadas y no alteradas por horizonte. La infiltración básica del perfil se realizó por triplicado, en los alrededores de la calicata.

Para la caracterización química inicial se tomaron ocho (8) muestras compuestas en transectas longitudinales dentro del área experimental de cada sitio, usando barrenos Oakfield (2,26 cm de diámetro) a las mismas profundidades señaladas anteriormente. Estas muestras fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm de apertura. Se determinó: pH en agua y KCl, carbono orgánico, fósforo disponible, carbonato de calcio equivalente, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables.

Para la evaluación de efecto de los tratamientos de labranza y rotación de cultivos en cada sitio experimental, se tomaron muestras no alteradas y compuestas en la época de floración del maíz de cada año (2002 en TUR y 2010 en ABL). Para el establecimiento de las profundidades de muestreo se tomó como base los primeros 30 cm del perfil, que correspondió con el espesor promedio del primer horizonte genético para ABL y con los dos primeros horizontes en TUR. Con la finalidad de evaluar las variaciones en las propiedades del suelo producto de la labranza y los residuos en superficie, se tomó como primera profundidad los primeros 5 cm del perfil, quedando entonces tres profundidades de muestreo en ambos sitios: 0 - 5, 5 - 15 y 15 - 30 cm.

Se tomó una (1) muestra compuesta por tratamiento y profundidad en cada repetición, una parte se mantuvo a humedad de capacidad campo y se almacenó a 4 °C hasta el momento del análisis de las diferentes fracciones de C y N, tanto en el suelo íntegro como el separado en agregados; el resto de la muestra se secó al aire y se pasó por un tamiz de 2 mm. En estas muestras secas se determinó: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nutrientes disponibles (P, Ca y Mg, NO_3^- y NH_4^+), capacidad de campo, punto de marchitez permanente y contenido de humedad.

Se tomaron tres (3) muestras no alteradas por tratamiento y profundidad en cada repetición, en las cuales se determinó: densidad aparente, distribución de tamaño de poros (porosidad total, poros de aireación y poros de retención), conductividad hidráulica saturada y cohesión en seco. También a nivel de campo se determinó la resistencia a la penetración a las mismas profundidades de muestreo (10 puntos por repetición).

En zonas cercanas a las parcelas experimentales se tomaron muestras en áreas no intervenidas, que se identificaron en esta investigación como **Bosque**, la intención de este muestreo fue comparar el cambio en las propiedades del suelo por efecto de la instalación de los agroecosistemas. Se seleccionaron tres (3) zonas de bosque en cada sitio (ABL y TUR). La vegetación natural de los bosques estudiados estuvo representada principalmente por árboles C3 como cedro (*Dedrela fissilis*), roble (*Platimiscium pinnatum*) y caoba (*Swietenia casadollei*).

Como mediciones del desarrollo del cultivo, en cada sitio experimental se evaluó: emergencia de plántulas y se relacionó con la cantidad de semillas sembradas, altura de planta en diferentes épocas, patrón de distribución de raíces en etapa de floración y rendimiento en grano a cosecha del cultivo principal (maíz). Para la evaluación de las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo en las diferentes épocas se usaron los métodos descritos en el Cuadro I-1.

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados a través del programa de análisis estadístico SAS/STAT (SAS, 2000), empleando el procedimiento Proc. Mixed para el análisis de la varianza. Para la detección de las diferencias estadísticas entre medias se utilizó la prueba de la mínima diferencia significativa (MDS) o Tukey para un nivel de significancia $p < 0,05$. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para visualizar el grado de relación de las variables estudiadas con el método de labranza, el tipo de rotación y el desarrollo del cultivo en cada sitio experimental.

Cuadro I-1. Métodos para la evaluación de las propiedades de los suelos y desarrollo del cultivo en los ensayos ubicados en los suelos Agua Blanca y Turén, estado Portuguesa.

Parámetro	Método utilizado (Referencia)
Distribución de tamaño de partículas.	Bouyoucos modificado por Day (Pla, 1983).
Densidad aparente.	Método del cilindro en muestras de 5 cm x 5 cm (Pla, 1983).
Conductividad hidráulica saturada.	Permeámetro de carga constante (Pla, 1983).
Distribución de tamaño de poros.	Porosidad total, poros de aireación ($r > 15$ mm) y poros de retención ($r < 15$ mm) en mesa de tensión (Pla, 1983).
Cohesión en seco.	Módulo de ruptura en cilindros secos a 50 °C en Unconfined Compression Aparatus (Pla, 1983).
Capacidad de campo.	Humedad retenida a una tensión de -33 kPa en olla de presión (Pla, 1983).
Punto de marchitez permanente.	Humedad retenida a una tensión de -1500 kPa en olla de presión (Pla, 1983).
Infiltración instantánea.	Método del doble anillo (Pla, 1983).
Contenido de humedad.	Método gravimétrico, por 24 h a 105 °C (Pla, 1983).
Resistencia a la penetración.	Penetrómetro de impacto de punta cónica (Nacci y Pla, 1991).
Agregados estables al humedecimiento.	Tamizado en húmedo de agregados, expresados en base libre de arenas (Sotomayor-Ramírez y Espinoza, 2010).
Reacción del suelo (pH).	Potenciométrico en agua y KCl, relación 1:1 (UCV, 1993).
Conductividad eléctrica.	Conductométrico, relación 1:5 (UCV, 1993).
Capacidad de intercambio catiónico.	Acetato de amonio 1 M, pH 7 (Anderson e Ingram, 1993).
Carbono orgánico total y Nitrógeno orgánico total.	Combustión directa en un analizador LECO CHN-2000.
Carbono y Nitrógeno potencialmente mineralizables.	Incubaciones de laboratorio por 200 días en muestras empacadas en tubos de PVC (5,08 cm x 10 cm), las fracciones se estimaron a través del modelo cinético de 1 ^{er} orden (Omay <i>et al.</i> , 1997; Espinoza, 2010).
Carbono y Nitrógeno de la biomasa microbiana.	Método de fumigación – extracción (Jenkinson y Powlson, 1976).
Nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-).	Extracción con KCl 2 M y determinado en un autoanalizador Perkin Elmer, Fias 300, Ueberling.
Fósforo y potasio disponibles.	Método de Olsen (Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Bases cambiables (Ca, Mg, K y Na)	Acetato de amonio 1 M, pH 7 (Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Calcio y Magnesio disponibles.	Morgan modificado (Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Emergencia del cultivo.	Número de plántulas emergidas a los 10 días después de la siembra, con un marco de madera de 0,25 m ² de área.
Altura de planta.	Altura de 20 plantas en cada unidad experimental, medida con una cinta métrica cada 10 a 30 días (Lozano, 1995).
Patrón de distribución de raíces.	Área y longitud de raíces por el método del cilindro (Böhm, 1979) en época de floración.
Rendimiento del cultivo.	Rendimiento en grano a 12% de humedad, en un área de 12 m ² en cada unidad experimental.

Evaluación de los sistemas de manejo propuestos

I. Sistemas de labranza para el cultivo de maíz en el suelo Agua Blanca

Caracterización inicial del sitio experimental

Los resultados de la caracterización de las propiedades físicas y químicas iniciales del suelo Agua Blanca (ABL) se presentan en el Cuadro I-2. Entre las propiedades químicas del suelo ABL se destaca un pH de neutro a moderadamente alcalino, aumentando con la profundidad; la conductividad eléctrica (CE) baja, lo que indica que no se presentan problemas de afectación por sales; los contenidos de carbonato de calcio equivalente son medios; el carbono orgánico total (COT) y de fósforo (P) son bajos; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es media y de las bases cambiables, los contenidos de calcio (Ca) son altos y los de magnesio (Mg) bajos; los de potasio (K) de medios a bajos y los de sodio (Na) bajos en todos los horizontes evaluados. En resumen, el suelo presenta una fertilidad de media a baja, por lo que es necesaria la aplicación de fertilizantes (N-P-K) para la producción de cualquier cultivo.

En este suelo también es importante destacar un contenido de esqueleto grueso a partir de 53 cm de profundidad, representado principalmente por concreciones de carbonato de calcio, que se ha señalado como característico de la serie Algodonal y que podría producir limitaciones de orden químico. Como posibles desbalances en la relación Ca:Mg.

Con relación a las propiedades físicas, la textura es media (FA y F) con predominio (>70 %) de partículas menores de 50 μm (limo y arcilla), lo que le confiere al suelo gran susceptibilidad a la compactación, tanto superficial como subsuperficial (Lozano, *et al.*, 2002). En los índices estructurales, se puede apreciar que la densidad aparente (D_a) se encuentra por debajo del límite crítico para el grupo textural ($1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) en la primera capa y por encima en las siguientes, que indica una compactación natural del suelo, lo que se ratifica con los valores a partir del segundo horizonte de la cohesión en seco (CS) por encima del límite de 100 kPa sugerido por Florentino *et al.* (2006), y que pudiera producir restricciones para el crecimiento de las raíces.

En cuanto a la porosidad total (PT) y la distribución de tamaño de poros, las menores limitaciones se presentan en el horizonte superficial, pero el resto de los horizontes presentan condiciones de aireación (Poros de radio > 15 μm y capacidad de aireación) muy limitantes, según el nivel crítico de 10 % señalado por Pla (1983). Se destaca en las propiedades hidrológicas de penetración, movimiento y retención de agua, que la tasa de infiltración básica (Ib) de este suelo tiene un valor de $0,99 \text{ mm h}^{-1}$, la cual es considerada como muy lenta (Florentino, 1997) y está determinada principalmente por la infiltración y conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) del horizonte entre 24 y 53 cm de profundidad, el cual se constituye en una capa limitante, tanto por su textura como por su estructura. En el primer y último horizonte no evidencian problemas de retención de agua, dado sus valores de agua aprovechable (AA) de 20,81 % y 15,39%, respectivamente; sin embargo, en el segundo horizonte el AA es de 8,14%, lo que podría ser limitante para cultivos de secano por deficiencia de agua. De igual forma por debajo de 24 cm el suelo presenta problemas de aireación.

La proporción de agregados estables al humedecimiento de diámetro >2000 μm es alta en el primer horizonte y disminuye en los subsiguientes, lo que indica una buena estructuración en la primera capa, a pesar de su distribución de tamaño de partícula; lo contrario ocurre con los agregados de diámetros menores (<500 μm), los cuales aumentan en las capas más profundas. Es importante destacar en este suelo la presencia de grietas en época seca, lo cual afecta las propiedades hidrológicas al inicio y final de la época de lluvia y también el desarrollo de las raíces, pero que a su vez es un factor importante de estructuración de la capa superficial.

Efecto de los tratamientos de labranza sobre las propiedades del suelo

Se comparó el efecto de los tratamientos de labranza en los agroecosistemas sobre las propiedades químicas, físicas y sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo, y a su vez se comparó con la zona no intervenida (Bosque).

Cuadro I-2. Caracterización inicial de las propiedades físicas (n = 6) y químicas (n = 8) del suelo ubicado en el Campo Experimental de Agua Blanca, estado Portuguesa.

Parámetro	Profundidad (cm)			
	0 - 24	24 - 53	53 - 70	
pH en agua (relación 1:1)	6,5 ±0,05	6,6 ±0,02	7,4 ±0,03	
pH en KCl (relación 1:1)	7,3 ±0,08	7,3 ±0,03	8,2 ±0,03	
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,55 ±0,04	0,33 ±0,01	0,30 ±0,01	
Carbonato de calcio equivalente (%CaCO ₃)	6,1 ±0,10	5,8 ±2,10	14,4 ±3,29	
Carbono orgánico total (%)	0,87 ±0,31	0,60 ±0,14	0,23 ±0,10	
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	9,31 ±1,60	5,19 ±0,94	6,53 ±0,87	
Capacidad de intercambio catiónico (cmol.kg ⁻¹)	20,10 ±2,10	16,15 ±1,25	12,20 ±4,50	
Calcio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	19,23 ±2,29	14,84 ±1,73	11,33 ±1,39	
Magnesio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,52 ±0,07	0,48 ±0,14	0,40 ±0,15	
Potasio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,22 ±0,04	0,18 ±0,02	0,10 ±0,01	
Sodio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,12 ±0,01	0,10 ±0,01	0,06 ±0,01	
Distribución de tamaño de partícula (%)				
Diámetro de partícula	< 2 μm	33,35 ±2,23	33,42 ±2,22	22,52 ±3,33
	2 – 50 μm	42,37 ±3,95	42,47 ±6,16	35,79 ±5,63
	50 – 100 μm	13,96 ±4,34	14,08 ±5,43	26,86 ±5,55
	100 – 250 μm	7,40 ±1,78	7,56 ±2,07	12,24 ±2,20
	250 - 500 μm	1,94 ±0,98	1,50 ±0,57	1,51 ±0,32
	500 – 1000 μm	0,86 ±0,55	0,67 ±0,21	0,79 ±0,30
	1000 – 2000 μm	0,12 ±0,08	0,30 ±0,13	0,29 ±0,07
	Esqueleto grueso (> 2mm)	0	0	2,94 ±1,35
Clase textural				
		FA	FA	F
Capacidad de campo (% p p ⁻¹)	38,78 ±3,18	24,88 ±5,42	31,70 ±1,15	
Punto de marchites permanente (% p p ⁻¹)	17,97±4,16	16,74 ±1,32	16,31 ±2,98	
Agua aprovechable (% p p ⁻¹)	20,81 ±3,67	8,14 ±3,37	15,39 ±2,06	
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,22 ±0,09	1,49 ±0,04	1,51 ±0,06	
Conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹)	7,7 ±4,7	0,1 ±0,01	0,1 ±0,01	
Infiltración básica del perfil (mm h ⁻¹)		0,99 ±0,59		
Infiltración horizontes (mm h ⁻¹)	11,75 ±2,89	1,19 ±0,78	1,19 ±0,99	
Porosidad total (% v v ⁻¹)	61,46 ±3,10	49,20 ±2,22	47,94 ±2,25	
Poros de aireación, r>15 mm (% v v ⁻¹)	8,81 ±1,79	3,10 ±0,69	2,56 ±0,74	
Poros de retención, r<15 mm (% v v ⁻¹)	52,62 ±4,18	46,11 ±2,67	45,38 ±1,60	
Capacidad de aireación (% v v ⁻¹)	22,66 ±1,53	8,89 ±1,42	9,08 ±1,51	
Cohesión en seco (kPa)	91,01 ±21,73	137,38 ±24,53	153,98 ±13,92	
Agregados estables al humedecimiento (%)				
Diámetro de agregados	> 2000 μm	45,54 ±10,01	14,75 ±3,52	2,84 ±1,03
	2000 – 1000 μm	11,84 ±1,45	14,13 ±2,79	6,34 ±1,92
	1000 – 500 μm	9,42 ±3,10	15,63 ±4,79	8,48 ±2,07
	500 – 100 μm	13,25 ±4,70	23,86 ±8,21	42,95 ±12,10
	< 100 μm	19,95 ±2,12	31,63 ±14,13	39,39 ±8,48

FA: Franco arcillosa, F: Franca. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

Propiedades químicas del suelo: los resultados de las propiedades químicas en el suelo ABL se presentan en el Cuadro I-3. Los valores de pH del suelo varían de neutros a ligeramente alcalinos en la capa más profunda, con excepción del Bosque donde disminuye a ligeramente ácido.

En general, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos de labranza y con la profundidad, con una tendencia diferente entre el Bosque y los agroecosistemas. En el Bosque el pH fue similar a todas las profundidades; mientras que en los agroecosistemas el pH aumentó en la capa más profunda (15 – 30 cm), posiblemente debido al efecto de las concreciones de CaCO_3 señaladas anteriormente. El menor pH en el Bosque se pudiera atribuir al efecto de las raíces de los árboles acidificando el medio. Los valores de CE fueron similares entre tratamientos y con la profundidad.

En general los valores de COT y nitrógeno orgánico total (NOT) fueron afectados significativamente ($p < 0,05$) tanto por los tratamientos, como por la profundidad de muestreo. Los mayores valores fueron observados en el Bosque y SD en la capa superficial, sin diferencias estadísticas entre los otros tratamientos. Este incremento podría ser atribuido a una reducida descomposición de la hojarasca y una menor descomposición de las fracciones estables de la MOS, debido a una menor perturbación bajo SD (Fabrizzi *et al.*, 2003). A mayor profundidad ambos parámetros disminuyeron significativamente, no observándose diferencias entre los sistemas de labranza. Estas observaciones estuvieron en concordancia con lo señalado por Mathew *et al.* (2012).

Los contenidos de P son altos en superficie y de medios a bajos en las capas más profundas, sin diferencias entre tratamientos. Se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre profundidades, con los mayores valores en los agroecosistemas (especialmente LR y SD); mientras que en el Bosque los valores fueron similares a todas las profundidades. Resultados similares presentan Lozano *et al.* (1997a) en dos suelos de los llanos occidentales sembrados con maíz, y lo atribuyen a las naturaleza poco móvil del elemento, a la aplicación superficial de fertilizantes fosfatados y a la descomposición de los residuos aplicados en superficie. Los contenidos de K fueron altos en superficie y disminuyeron con la profundidad, con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre profundidades y tratamientos. Los valores fueron más altos en la capa superficial, especialmente en LR y SD, y entre tratamientos, los valores más bajos se presentaron en el Bosque y fueron similares en los agroecosistemas, lo que se puede asociar a la aplicación de fertilizantes para el cultivo.

Los contenidos de Ca y Mg fueron altos en todos los tratamientos y profundidades. Tanto en el Bosque como en los agroecosistemas los contenidos de ambas bases cambiables fueron similares a todas las profundidades evaluadas, y solo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la capa de 0 – 5 cm para Mg, con los mayores valores en el Bosque, casi 3 veces más que en los agroecosistemas.

Como índices de disponibilidad de N se evaluaron los contenidos de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), basado en los trabajos de Dou *et al.* (1995), quienes indican que los tratamientos de labranza no afectan los procesos de nitrificación y que tanto en los sistemas de labranza convencionales como en los conservacionistas se consiguen las dos formas de N. Ambas formas inorgánicas mostraron una tendencia con la profundidad y entre tratamientos diferentes. Al considerar los datos en conjunto, para NO_3^- las mayores diferencias estadísticas ($p < 0,05$) se presentaron entre profundidades; mientras que para NH_4^+ las mayores diferencias estadísticas se presentaron entre tratamientos. Al analizar en forma separada, los mayores contenidos de NO_3^- se presentaron en la capa superficial (0 – 5 cm), disminuyendo con las profundidades en todos los tratamientos 75 y 98 % en las capas de 5 – 15 y 15 a 30 cm, respectivamente. Dentro de los tratamientos, los mayores valores de NO_3^- se presentaron en Bosque y LR y los menores en SD y LC a todas las profundidades evaluadas.

Con respecto a los contenidos de NH_4^+ , la tendencia fue muy diferente entre el Bosque y los agroecosistemas. En el Bosque los valores fueron bajos y similares a todas las profundidades, en los agroecosistemas conservacionistas (SD y LR) el NH_4^+ se concentró a nivel superficial a valores altos, disminuyendo drásticamente en las capas más profundas; mientras que en LC los valores más altos se presentan en la capa de 15 – 30 cm, posiblemente debido a la mineralización de los residuos incorporados al momento de la labranza.

Cuadro I-3. Propiedades químicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.

Parámetro	Bosque	SD	LR	LC
	0 – 5 cm			
pH en agua (relación 1:1)	6,7 aA	6,8 bA	6,5 bA	6,5 bA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,10 aA	0,09 aA	0,08 aA	0,08 aA
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	55,12 aA	30,3 aA	28,4 aB	27,9 aB
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	5,76 aA	3,5 aB	3,2 aB	3,2 aB
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	15,7 aA	25,0 aA	20,7 aA	22,3 aA
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	109,7 aB	252,7 aA	228,3 aA	198,3 aA
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	2500 aA	1500 aA	1200 aA	1200 aA
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	325 aA	124 aB	103 aB	117 aB
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	40,5 aAB	32,9 aBC	58,5 aA	11,7 aC
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	1,8 aD	152,0 aB	183,2 aA	19,3 bC
5 - 15 cm				
pH en agua (relación 1:1)	6,7 aA	7,1 bA	6,6 bA	6,9 bA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,10 aA	0,06 aA	0,0 aA	0,05 aA
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	25,28 bA	16,7 bB	19,3 bB	17,4 bB
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	3,36 bA	2,5 bB	2,4 bB	2,5 bB
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	11,0 aA	15,7 abA	8,3 bA	13,3 abA
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	77,7 aA	83,3 bA	64,7 bA	67,0 bA
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	1500 aA	1600 aA	1200 aA	1200 aA
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	150 aA	93 aA	81 aA	89 aA
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	10,7 bA	5,8 bB	10,7 bA	3,0 abB
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	1,4 aD	5,9 bC	19,3 bB	23,9 aA
15 – 30 cm				
pH en agua (relación 1:1)	6,4 aB	7,9 aA	7,4 aA	7,5 aA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0 aA	0,06 aA	0,06 aA	0,05 aA
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	15,25 cA	17,4 bB	14,9 bB	13,7 bB
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	2,41 cA	2,5 bA	2,2 bA	2,1 bA
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	2,7 aA	11,0 bA	7,7 bA	5,3 bA
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	46,7 aA	61,0 bA	60,0 bA	53,7 bA
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	1300 aA	1500 aA	1300 aA	1700 aA
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	149 aA	108 aA	104 aA	99 aA
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	2,2 bA	0,2 bB	0,9 cAB	0,2 bB
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	0 aA	7,7 bA	15,2 cA	1,3 cA

Bosque: zona bajo vegetación natural no intervenida; **LR:** labranza reducida; **LC:** labranza convencional; **SD:** siembra directa. Letras minúsculas distintas dentro de la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las profundidades. Letras mayúsculas distintas dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

Fraciones de la materia orgánica del suelo: en el artículo publicado por Espinoza *et al.* (2017), donde se evaluó el efecto del sistema labranza sobre la estructura y fracciones de carbono y nitrógeno del suelo, y su impacto en el desarrollo del cultivo de maíz en el suelo Agua Blanca, consiguieron que en general, la transformación de ecosistemas forestales en zonas agrícolas ha provocado una disminución de aproximadamente 50% de las fracciones lábiles C y N de la MO, incrementando las emisiones de CO₂; sin embargo, cuando el suelo es manejado con SD el impacto detrimental es mucho menor, no solo por los menores cambios en la estructura del suelo, sino también por afectar en menor grado las diferentes fracciones de la MO, principalmente en la capa superficial (Cuadro I-4).

En esta investigación se demostró que la pérdida de la MO, que conlleva la labranza, ocurre por mineralización de las fracciones lábiles físicamente protegidas en los agregados de suelo, como queda evidenciado por los mayores tiempos de residencia (≈ 30 años) de la MO particulada contenida dentro de los agregados presentes en el tratamiento SD, en comparación con LR y LC (datos no presentados). Los investigadores concluyen que el sistema de SD representa una alternativa conservacionista para la producción de maíz en la zona.

Propiedades físicas del suelo: con relación a las propiedades físicas, Espinoza *et al.* (2017) estudiaron el efecto de los tratamientos de labranza en los agroecosistemas y en el ecosistema de Bosque, a las tres profundidades consideradas e indican que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y profundidades para las propiedades físicas: densidad aparente (Da), conductividad hidráulica saturada (Ksat), porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pa), porosidad de retención (Pr), cohesión en seco (CS) y resistencia a la penetración (RP), tal y como se aprecia en el Cuadro 1-5.

En la Da los valores más bajos se observaron en el Bosque a todas las profundidades. En todos los tratamientos la menor Da se presentó en la capa superficial y aumentó con la profundidad, asociado a un proceso de compactación y reordenamiento de las partículas del suelo, como sugieren Bravo y Andreu (2011).

En la Ksat la mayor diferencia se presentó entre los agroecosistemas y el Bosque a todas las profundidades evaluadas, posiblemente debido al efecto del mayor número de raíces en el Bosque, las cuales crean canales que favorecen la penetración del agua. En los agroecosistemas las diferencias se presentaron principalmente a nivel superficial, con mayores valores de Ksat en LC, sin diferencias entre LR y SD. En las capas más profundas los valores resultaron por debajo del límite crítico de $5 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ sugerido por Pla (1992) como adecuado para la agricultura de secano, lo que hace presumir problemas para la penetración y movimiento del agua en el perfil del suelo.

Cuadro I-4. Contenido de carbono y nitrógeno total del suelo afectados por la labranza y ecosistema de Bosque, a tres profundidades, bajo cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la localidad de Agua Blanca, Portuguesa.

Profundidad (cm)	Labranza reducida	Labranza convencional	Siembra directa	Bosque
Carbono orgánico total (g·kg⁻¹)				
0-5	28,45 aB	27,87aB	30,30 aC	55,12 aA
5-15	19,33 bB	17,42 bB	16,69 bB	25,28 bA
15-30	14,90 bB	13,66 bB	17,41 bB	15,25 cA
Nitrógeno orgánico total (mg·kg⁻¹)				
0-5	3,20 aB	3,25 aB	3,47 aB	5,76 aA
5-15	2,45 bB	2,52 bB	2,54 bB	3,36 bA
15-30	2,19 bA	2,48 bA	2,48 bA	2,41 cA

Letras minúsculas distintas dentro de la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las profundidades. Letras mayúsculas distintas dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos de labranza. **Fuente:** Adaptado de Espinoza *et al.* (2017)

Cuadro I-5. Densidad aparente, conductividad hidráulica, porosidad total, poros de aireación, poros de retención y cohesión en seco en tres profundidades de un suelo bajo cultivo de maíz (*Zea mays* L.) manejados con labranza reducida, convencional y siembra directa, comparado con el ecosistemas de bosque en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa.

Profundidad (cm)	Labranza reducida	Labranza convencional	Siembra directa	Bosque
Densidad aparente (Mg·m⁻³)				
0-5	1,43 bA*	1,31 bB	1,36 bB	1,05 bC
5-15	1,59 aA	1,59 aA	1,50aAB	1,32 aC
15-30	1,59 aA	1,59 aA	1,50 aAB	1,31 aC
Conductividad hidráulica (mm·h⁻¹)				
0-5	23,15 aC	142,55 aB	41,70 aC	273,59 aA
5-15	16,71 aB	0,59 bD	4,17 bC	43,90 cA
15-30	0,95 bC	0,45 bD	1,73 cB	73,51 bA
Porosidad total (%)				
0-5	45,63 aB	46,67 aB	47,81 aB	52,61 aA
5-15	41,52 bB	39,93 bBC	43,52bA	45,47 bA
15-30	41,76 bB	38,59 bB	44,89 bA	45,53 bA
Poros de aireación (%)				
0-5	5,51 aBC	7,08 aB	4,90 aC	9,35 aA
5-15	4,10 aA	3,51 bA	4,17 aA	4,02 bA
15-30	4,16 aA	3,50 bA	4,17 aA	5,55 bA
Poros de retención (%)				
0-5	39,23 aB	38,78 aB	40,53 aAB	42,52 aA
5-15	40,21 aA	38,32 aA	40,78 aA	40,94 aA
15-30	38,10 aA	38,29 aA	41,59 aA	35,50 aA
Cohesión en seco (kPa)				
0-5	130,26 cA	88,88 bA	123,67 cA	69,65 cC
5-15	160,12 bA	159,60 aA	140,41 bB	120,11 aC
15-30	185,21 aA	157,48 aA	157,50 aA	98,77 bB

Letras minúsculas distintas dentro de la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las profundidades. Letras mayúsculas distintas dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos de labranza. **Fuente:** adaptado de Espinoza *et al.* (2017).

Con respecto a PT, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y profundidades. En la capa superficial, solo se observaron diferencias al comparar el Bosque con los agroecosistemas. En las capas más profundas, hubo mayor porosidad en Bosque y SD, sin diferencias entre LC y LR. En la condiciones de aireación, Pa en todos los tratamientos y profundidades fue inferior al valor límite de 10% sugerido por Pla (1992), que indicaría problemas de aireación. Las diferencias entre los tratamientos solo se presentaron en la primera capa siguiendo el orden descendente Bosque > LC > LR > SD. Las limitaciones a la aireación después de 5 cm de profundidad estuvieron relacionadas con la compactación natural mencionada anteriormente. Por lo tanto, bajo una lluvia abundante se esperaría una restricción para la respiración de las raíces (Bravo y Andreu, 2011).

En la mayoría de los casos la CS resultó por encima del límite crítico de 100 kPa sugerido por Florentino *et al.* (2006), pero por debajo del límite de 300 kPa sugerido por Pla (1983) como limitante para el desarrollo de las raíces, por lo que se pudiera presentar alguna restricción a desarrollo de las raíces del cultivo. Cuando se compararon los valores de CS del Bosque con el de los agroecosistemas, los mayores valores de CS en estos últimos sugieren que el manejo que se le ha aplicado al suelo ha incrementado su compactación en aproximadamente 30%.

La resistencia a la penetración (RP) y contenido de humedad en los diferentes tratamientos de labranza y profundidades se presenta en la Figura I-3. Los contenidos de humedad en todos los tratamientos fueron similares, lo que permitió hacer comparaciones entre sistemas de labranza, ya que la RP está afectada por el contenido de humedad (Pla, 1992). En la RP se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en las dos últimas capas, con los valores más altos en el Bosque sin diferencias entre sistemas de labranza, y mayores en las capas más profundas. Estos valores de RP estuvieron por debajo del límite crítico para el crecimiento de las raíces de maíz de 3 MPa (Pla, 1995). Los resultados fueron similares a los presentados por Bravo y Andreu (2011) y Pulido *et al.* (2015) en suelos de textura gruesa, quienes lo atribuyen a cambios en la Da y al estado de empaquetamiento introducido por las diferentes operaciones de mecanización.

Agregación y contenido de C y N en los agregados: la distribución de los agregados estables al humedecimiento fue afectada significativamente ($p < 0,05$) por el tamaño de partícula y el tratamiento de labranza, en ambas profundidades evaluadas (Figura I-4a). En la capa superficial, los suelos bajo Bosque tuvieron mayor porcentaje de macroagregados ($> 250 \mu\text{m}$) con respecto a los microagregados ($< 250 \mu\text{m}$), contrario a lo observado en el resto de tratamientos, donde se observó que la mayor cantidad de agregados estables se correspondieron con los microagregados grandes ($53 - 250 \mu\text{m}$). Similar a lo señalado por Sotomayor-Ramírez y Espinoza (2010) en suelos cultivados con café. Generalmente, suelos sometidos a períodos prolongados bajo laboreo agresivo tendieron a tener macroagregados menos estables y estar enriquecidos de microagregados (Mandiola *et al.*, 2011). A mayor profundidad, la distribución de agregación fue similar a la observada a la profundidad de 0 - 5 cm. Tendencias similares ha sido reportadas por varios autores en suelos Oxisoles, Inseptisoles y Ultisoles (Zotarelli *et al.*, 2007; Sotomayor-Ramírez y Espinoza, 2010), y parece estar relacionada a la materia orgánica lábil que se encontró dentro de los macroagregados, que al romperse el agregado expone este material lábil a la acción microbiana lo que contribuyó a la inestabilidad del macroagregado (Roldan *et al.*, 2014).

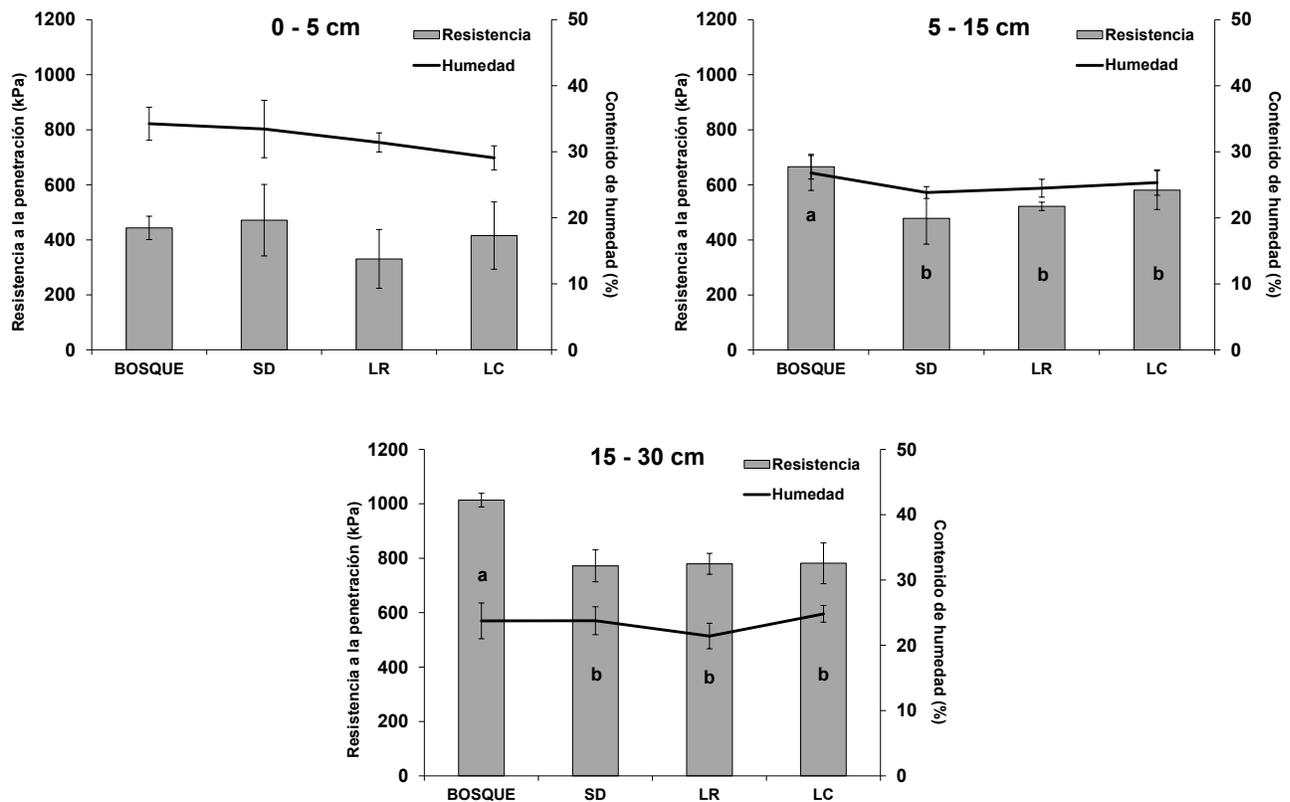


Figura I-3. Resistencia a la penetración y contenido de humedad del suelo en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa. LR: labranza reducida; LC: labranza convencional; SD: siembra directa. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. Fuente: adaptado de Espinoza y Lozano (2011).

El uso de la tierra también afectó el COT y NOT en los diferentes tamaños de agregados (Figura I-4b) en la capa de 0-5 cm. La mayor concentración de COT se observó en los macroagregados del ecosistema de Bosque, seguidos por SD=LR>LC. Estos resultados mostraron la mayor capacidad que tuvo este suelo de secuestrar C en los macroagregados cuando el agroecosistema fue manejado con SD. De acuerdo a Six *et al.* (1998) el proceso de formación de los macroagregados fue similar tanto en suelos bajo labranza como bajo ecosistemas naturales, la diferencia entre ellos fue que la tasa de recambio de los macroagregados, las cuales fueron más altas en suelos bajo labranza. Con respecto a NOT, hubo una clara diferencia de aproximadamente 30% del contenido en los macroagregados de 250 - 2000 μm en Bosque y SD, comparado con el resto de los tratamientos, tendencia no observada con los agregados de menor tamaño. A la profundidad de 5 - 15 cm, la interacción labranza x agregación no fue significativa para COT ni para NOT (datos no mostrados).

Efecto de los tratamientos de labranza sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo: para la evaluación del efecto de los tratamientos de labranza sobre el cultivo de maíz en este ensayo, se evaluó: emergencia, altura de planta en diferentes épocas, desarrollo de raíces en época de floración y rendimiento en grano. En el trabajo de Espinoza *et al.* (2017), se presentan los resultados de la emergencia de plántulas y altura de plantas en cada uno de los tratamientos evaluados. Se destaca que al relacionar la emergencia con la población sembrada, las plántulas emergidas representaron el 70, 81 y 69 % para LC, LR y SD, respectivamente. La menor emergencia en SD se atribuyó a una mayor resistencia mecánica debido a un mayor tamaño de agregados, o la presencia de residuos en la superficie, trayendo como consecuencia una disminución en el contacto suelo-semilla, tal y como sugiere Lozano (1995).

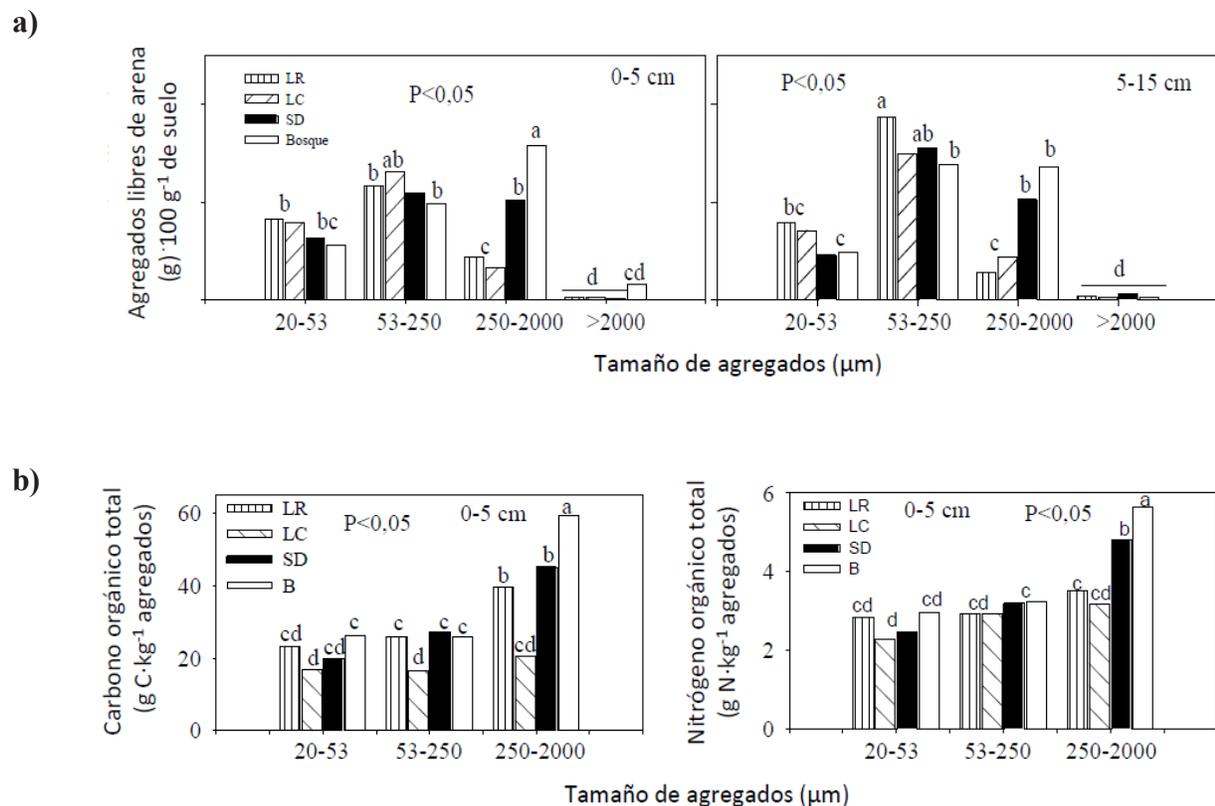


Figura I-4. Efecto del uso y los sistemas de labranza en: a) la distribución de agregados de suelo estables al agua a las profundidades de 0-5 cm y 5-15 y b) el contenido de C y N en la capa superficial (0 a 5 cm) de un suelo bajo cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa. **LR:** labranza reducida, **LC:** convencional, **SD:** siembra directa y **B:** ecosistemas de bosque. Diferentes letras dentro y entre los tamaños de agregados indican diferencias significativas ($p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Espinoza *et al.* (2017).

Con relación a la altura de planta, se observaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos en todas las épocas, con la excepción de los 32 dds, posiblemente debido a que el reabono aplicado al cultivo tuvo un efecto unificador entre los tratamientos de labranza (Figura I-5). La mayor altura se produjo en los sistemas conservacionistas en el siguiente orden: SD=LR>LC. Como índices de desarrollo de raíces se evaluó la longitud (LDR) y el área de raíces (ADR), cuyos resultados se muestran en el cuadro I-6. No se presentaron diferencias entre tipos de labranza, pero sí hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con la profundidad en ambos índices para un mismo sistema de labranza. En la LDR los mayores valores para todos los sistemas de labranza se presentaron en la primera capa y disminuyeron con la profundidad. De forma porcentual del 53 al 60%, del 23 al 26% y del 14 al 21% de las raíces se ubicó en las capas de 0 – 5, 5 – 15 y 15 – 30 cm, respectivamente. La distribución más uniforme se presentó en LR. En el ADR solo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) con la profundidad en SD, con mayor ADR en la capa superficial. Resultados similares consiguió Lozano (1995) en suelos de los llanos occidentales.

En el Cuadro I-6 también se presentan los valores de rendimiento en grano del cultivo en los diferentes sistemas de labranza. El rendimiento en grano del maíz fue de 6195, 6116 y 5537 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para SD, LR y LC, respectivamente. No hubo diferencias desde el punto de vista estadístico en ninguno de los sistemas de labranza evaluados; pero se observó que la tendencia del rendimiento fue ligeramente superior en SD sobre LR y LC. Los valores de rendimiento obtenidos estuvieron dentro del rango de 4200 a 8000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ conseguidos por otros autores en la zona (Ohep *et al.*, 2002; Espinoza, 2010; Báez y Aguirre-Medina, 2011).

La Figura I-6 corresponde a la representación gráfica de análisis de componentes principales (ACP) de los parámetros estudiados utilizando los sistemas de labranza (LR, LC y SD) como variable clasificatoria, el cual explicó el 100% de la variación total observada para la profundidad de 0-5 cm. El primer componente principal (CP1) explicó el 71,8% de la variación total de la muestra y el segundo componente principal (CP2) explicó el 28,2%. Los puntos de datos para el tratamiento SD a la profundidad superficial formaron un grupo distinto por sí mismos y, los puntos de datos para los tratamientos LC y LR se agruparon. Las variables influyentes para el CP1, fueron el carbono y nitrógeno orgánico total (COT, NOT), carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana (C-BM, N-BM), carbono y nitrógeno mineralizable (Cmin, Nmin), macroagregados (MA), altura de la planta y rendimiento del grano.

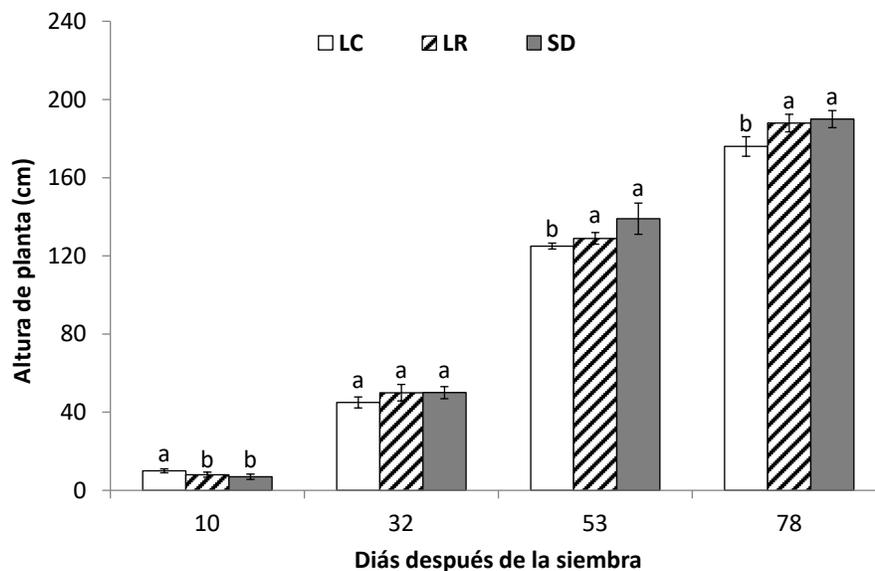


Figura I-5. Altura de las plantas de maíz (*Zea mays* L.) durante la época de muestreo afectadas por la labranza reducida, convencional, siembra directa en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa. LR: labranza reducida; LC: labranza convencional; SD: siembra directa. Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipo de labranza para una misma época. Fuente: adaptado de Espinoza y Lozano (2011).

Cuadro I-6. Parámetros de desarrollo de raíces y rendimiento en grano del cultivo de maíz (ciclo 2010), bajo los diferentes tipos de labranza en el suelo Agua Blanca, estado Portuguesa.

Sistema de labranza	Profundidad (cm)	Longitud de raíces (mm cm ⁻³)	Área de raíces (mm ² cm ⁻³)	Rendimiento del cultivo (kg ha ⁻¹)
Labranza convencional	0 - 5	32,85 a	8,07	5537
	5 - 15	14,02 b	3,65	
	15 - 30	7,77 b	1,93	
Labranza reducida	0 - 5	36,11 a	9,97	6116
	5 - 15	17,25 ab	4,71	
	15 - 30	14,32 b	3,27	

Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre profundidades para un mismo sistema de labranza. **Fuente:** adaptado de Espinoza y Lozano (2011).

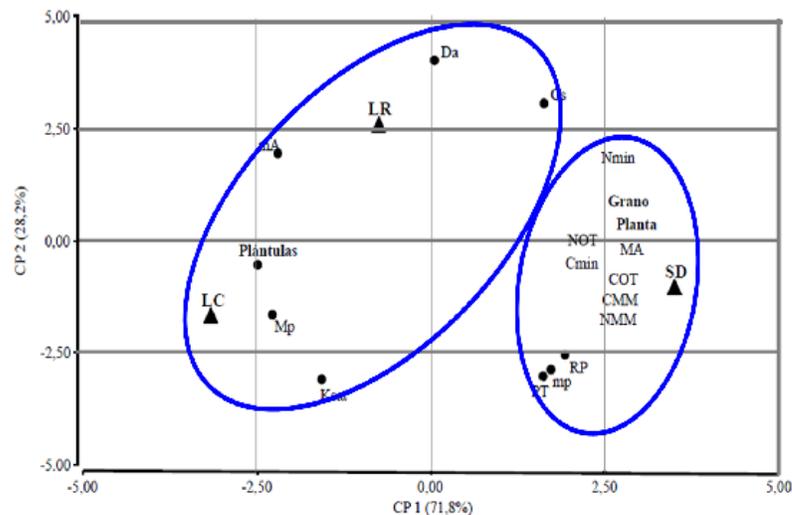


Figura I-6. Mapa de análisis de correspondencia del efecto de la labranza: reducida (LR), convencional (LC) y siembra directa (SD) sobre las fracciones de carbono y nitrógeno y componentes estructurales de la capa superficial (0 – 5 cm) del suelo, y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.): emergencia de plántulas, altura de planta y rendimiento de grano, en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa. **CBM** y **NBM**: carbono y nitrógeno de la masa microbiana; **COT** y **NOT**: carbono y nitrógeno orgánico total; **Cmin** y **Nmin**: carbono y nitrógeno mineralizable; **PT**: porosidad total; **Ksat**: conductividad hidráulica saturada; **RP**: resistencia a la penetración, **MA**: magroagregados; **mA**: microagregados, **Mp**: macroporos; **mp**: microporos; **Da**: densidad aparente; **Cs**: Cohesion en seco. **Fuente:** adaptado de Espinoza *et al.* (2017).

Estos hallazgos confirman el efecto que tuvo la SD sobre la mayor concentración de COT y NOT (abundancia), la mayor concentración de biomasa microbiana, C y N mineralizable (enriquecimiento) y la protección en los agregados de la materia orgánica del suelo (Mathew *et al.*, 2012; Espinoza, 2014; Studdert *et al.*, 2015). Al parecer la SD tuvo un efecto directo sobre la fertilidad del suelo, que se reflejó en una mayor producción de biomasa de la planta y mayor rendimiento del grano de maíz.

En el segundo componente la asociación entre la densidad aparente (Da), la conductividad hidráulica saturada (Ksat), la porosidad total (PT), la cohesión en seco (Cs) y la resistencia a la penetración (Rp) con LC y LR corroboró que la labranza tuvo un efecto directo sobre los componentes estructurales del suelo que determinaron la emergencia de plántulas. Los datos de la segunda profundidad (5 - 15 cm) no se presentan debido a que la asociación entre la variable clasificatoria y las otras variables estudiadas fueron similares a las observadas en la capa superficial.

II. Sistemas de labranza y rotación de cultivos en el suelo Turén

Caracterización inicial del sitio experimental

Los resultados de las propiedades físicas y químicas iniciales del suelo Turén (TUR) se presentan en el Cuadro I-7. En las **propiedades químicas** se destaca que el pH estuvo en el rango de neutro a ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica (CE) fue baja, lo que indica que no presenta problemas de afectación por sales, a pesar de los contenidos de carbonato de calcio altos en todos los horizontes. Los contenidos de carbono orgánico total (COT) fueron bajos en todas las capas, mayores en la superficie y disminuyeron con la profundidad. El fósforo (P) fue alto en superficie y medio en las capas más profundas, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue media; mientras que las bases cambiables se encontraron a niveles altos para calcio y magnesio y bajos para potasio y sodio, en todos los casos con los valores más altos en la capa superficial. En resumen, la fertilidad sería media con posibilidades de desbalances nutricionales.

En las **propiedades físicas**, la distribución de tamaño de partículas (DTP) muestra que el suelo es de textura media (F y FL) en todos sus horizontes, con una alta proporción de partículas limo y arenas muy finas (>70%) y dentro de la fracción arena, las arenas fina y muy finas (50 a 250 μm) representan más del 90 % del total, lo que le confiere al suelo una alta susceptibilidad a la formación de sello superficial (Lozano *et al.*, 1997b), lo que afectaría la infiltración del agua. El efecto de la DTP también se refleja en la alta proporción de agregados estables a humedecimiento de diámetro menor de 500 μm (>80 %), indicando deterioro estructural en todos los horizontes. Los mayores contenidos de agregados de mayor tamaño (> 2000 μm) en el primer horizonte pueden ser debidos al mayor contenido de COT.

En los índices estructurales se aprecia que la densidad aparente (D_a) se encuentra por encima del nivel crítico para el grupo textural (1,4 Mg m^{-3}) en los tres horizontes, lo que pudiera estar asociado a la alta proporción de partículas laminares de baja cohesión, como limo, arena fina y arena muy fina (Bravo y Florentino, 1997); sin embargo, esta alta densidad no representa una limitante para el crecimiento de las raíces, por los bajos valores de cohesión en seco, por debajo del valor crítico de 100 kPa señalado por Florentino *et al.* (2006).

En cuanto a la porosidad total (PT) y la distribución de tamaño de poros, se observan valores ligeramente superiores en el horizonte superficial y en el caso de la porosidad de aireación (P_a), por debajo del valor de 10 % señalado por Pla (1983) como limitante para la agricultura de secano. La capacidad de aireación (cantidad de poros llenos de aire cuando el suelo se encuentra a un contenido de humedad de capacidad de campo), también indica problemas de aireación en los tres horizontes evaluados.

Con relación a las propiedades hidrológicas (penetración, movimiento y retención de agua), se puede apreciar en el cuadro que la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) varió de baja en el horizonte superficial a muy baja en los más profundos; la penetración de agua en el perfil del suelo tiene una tasa de 2,52 mm h^{-1} , la cual es considerada como lenta (Florentino, 1997) y es debida principalmente a las limitaciones a la permeabilidad del horizonte de 12 a 34 cm de profundidad. Para la retención de agua, en este suelo no se presentaron problemas por falta de humedad, ya que el agua aprovechable (AA) presentó contenidos alrededor de 20 % en fracción gravimétrica.

Efecto de los tratamientos de labranza y rotación sobre las propiedades del suelo

Propiedades físicas del suelo: Al analizar los resultados a todas las profundidades para los agroecosistemas en el suelo TUR, se evidenció que no se presentaron diferencias estadísticas por efecto de labranza, rotación de cultivos o sus interacciones con la profundidad, para ninguno de los parámetros físicos evaluados, pero si se presentaron diferencias con la profundidad para la mayoría de ellos (Cuadro I-8). Al comparar los agroecosistemas con el Bosque, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en D_a a las tres profundidades evaluadas. Los mayores valores de D_a se presentaron en el tratamiento SDMF en las dos primeras capas y los menores en el Bosque. El incremento en la D_a en todos los tratamientos con la profundidad se corresponde con lo señalado algunos autores, quienes lo atribuyen a la disminución en el contenido de materia orgánica a medida que se profundiza en el perfil (Ismail *et al.*, 1994; Lal, 1997).

Cuadro I-7. Caracterización inicial de las propiedades físicas (n = 6) y químicas (n = 8) del suelo ubicado en el Campo Experimental de Turén, estado Portuguesa.

Parámetro	Profundidad (cm)			
	0 - 12	12 - 34	34 - 50	
pH en agua (relación 1:1)	8,22 ±0,30	8,30 ±0,32	8,35 ±0,45	
pH en KCl (relación 1:1)	7,75 ±0,17	6,61 ±0,25	7,55 ±0,26	
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,71 ±0,01	0,57 ±0,01	0,29 ±0,01	
Carbonato de calcio equivalente (%CaCO ₃)	26,25 ±9,99	21,25 ±9,35	20,75 ±4,07	
Carbono orgánico total (%)	1,73 ±0,13	1,05 ±0,14	0,41 ±0,19	
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	29,20 ±2,17	18,01 ±3,78	13,16 ±2,86	
Capacidad de intercambio catiónico (cmol.kg ⁻¹)	14,01 ±2,60	11,72 ±3,12	10,85 ±5,31	
Calcio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	31,24 ±1,76	31,13 ±2,37	29,94 ±2,01	
Magnesio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	4,62 ±1,08	4,46 ±0,61	3,80 ±0,45	
Potasio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,14 ±0,07	0,05 ±0,01	0,03 ±0,01	
Sodio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,03 ±0,01	0,04 ±0,01	0,02 ±0,01	
Distribución de tamaño de partículas (%)				
Diámetro de partícula	< 2 μm	11,20 ±4,90	15,60 ±2,74	10,48 ±3,25
	2 - 50 μm	52,14 ±6,56	47,80 ±3,49	42,91 ±4,48
	50 - 100 μm	21,37 ±6,60	23,54 ±3,90	29,13 ±4,41
	100 - 250 μm	13,51 ±2,53	11,87 ±2,67	16,86 ±2,34
	250 - 500 μm	1,43 ±0,71	0,87 ±0,80	0,47 ±1,26
	500 - 1000 μm	0,23 ±0,03	0,21 ±0,03	0,15 ±0,05
	1000 - 2000 μm	0,12 ±0,02	0,11 ±0,02	0 ±0,00
Clase textural	F	FL	F	
Capacidad de campo (% p p ⁻¹)	31,48 ±4,32	30,07 ±2,90	29,80 ±1,50	
Punto de marchitez permanente (% p p ⁻¹)	10,09 ±3,21	9,96 ±0,90	9,79 ±1,67	
Agua aprovechable (% p p ⁻¹)	21,39 ±3,76	20,11 ±1,90	20,01 ±1,58	
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,40 ±0,08	1,49 ±0,12	1,62 ±0,03	
Conductividad hidráulica saturada (mm h ⁻¹)	8,5 ±11,4	2,3 ±2,1	0,2 ±0,3	
Infiltración básica (mm h ⁻¹)		2,52 ±1,20		
Infiltración horizontes (mm h ⁻¹)	4,50 ±1,72	2,6 ±1,23	3,86 ±1,74	
Porosidad total (% v v ⁻¹)	48,07 ±2,59	41,92 ±4,77	41,67 ±0,93	
Poros de aireación, r>15 mm (% v v ⁻¹)	8,85 ±2,53	6,80 ±3,22	5,86 ±0,81	
Poros de retención, r<15 mm (% v v ⁻¹)	39,22 ±1,45	35,12 ±2,22	35,81 ±1,44	
Capacidad de aireación (% v v ⁻¹)	3,99 ±0,18	0 ±0,00	0 ±0,00	
Cohesión en seco (kPa)	43,29 ±24,91	43,58 ±14,96	59,77 ±14,83	
Agregados estables al humedecimiento (%)				
Diámetro de agregados	> 2000 μm	3,55 ±1,79	0,89 ±0,47	1,20 ±0,52
	2000 - 1000 μm	6,56 ±1,06	6,31 ±2,14	4,67 ±1,90
	1000 - 500 μm	9,77 ±2,77	7,20 ±2,45	6,21 ±1,40
	500 - 100 μm	49,34 ±12,41	57,29 ±10,95	43,33 ±9,02
	< 100 μm	30,78 ±8,64	28,31 ±4,37	44,59 ±9,75

F: Franca, **FL:** Franca limosa. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

Cuadro I-8. Propiedades físicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turen, estado Portuguesa.

Parámetro	Bosque	SDMA	SDMF	LCMA	LCMF
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1,13 bB	1,34 aAB	1,39 aA	1,33 bAB	1,34 bAB
Conductividad hidráulica (mm h ⁻¹)	40,8 aA	118,0 aA	44,0 aA	135,0 aA	60,0 aA
Porosidad total (% v v ⁻¹)	52,0 aA	49,7 aA	49,7 aA	54,0 aA	50,7 aA
Poros de aireación, r> 15 mm (% v v ⁻¹)	11,8 aA	8,5 aA	8,4 aA	8,8 aA	7,9 aA
Poros de retención, r< 15 mm (% v v ⁻¹)	40,2 aA	41,2 aA	41,4 aA	45,2 aA	42,9 aA
Cohesión en seco (kPa)	46,2 aA	75,7 aA	81,4 aA	69,5 aA	65,5 aA
5 - 15 cm					
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1,34 aB	1,50 aA	1,52 aA	1,48 aA	1,44 aB
Conductividad hidráulica (mm h ⁻¹)	12,5 aA	20,0 bA	43,0 aA	1,0 aA	13,0 bA
Porosidad total (% v v ⁻¹)	45,4 aA	45,0 bA	45,4 bA	46,4 bA	45,5 bA
Poros de aireación, r> 15 mm (% v v ⁻¹)	10,3 aA	4,8 bB	6,1 aAB	5,7 aAB	5,3 aAB
Poros de retención, r< 15 mm (% v v ⁻¹)	35,0 aA	40,2 aA	39,3 aA	40,7 aA	40,2 bA
Cohesión en seco (kPa)	63,7 aA	95,3 aA	94,2 aA	85,3aA	77,7 aA
15 - 30 cm					
Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	1,37 aB	1,45 aAB	1,47 aAB	1,52 aA	1,50 aAB
Conductividad hidráulica (mm h ⁻¹)	10,4 aA	1,0 bA	44,0 aA	1,0 aA	5,0 bA
Porosidad total (% v v ⁻¹)	44,1 aA	47,6 bA	46,1 bA	47,0 bA	45,6 bA
Poros de aireación, r> 15 mm (% v v ⁻¹)	10,6 aA	6,3 abB	7,2 aB	6,1 aB	5,7 aB
Poros de retención, r< 15 mm (% v v ⁻¹)	33,5 aB	42,4 aA	38,8 aAB	40,9 aA	39,9 bA
Cohesión en seco (kPa)	59,9 aA	83,3 aA	82,4 aA	81,6 aA	81,3 aA

Bosque: zona bajo vegetación natural no intervenida; **SDMA:** siembra directa y rotación maíz-algodón; **SDMF:** siembra directa y rotación maíz-frijol; **LCMA:** labranza convencional y rotación maíz-algodón; **LCMF:** labranza convencional y rotación maíz-frijol. Letras minúsculas distintas dentro de la misma columna representan diferencias significativas ($p<0,05$) entre las medias de las profundidades. Letras mayúsculas distintas dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($p<0,05$) entre las medias de los tratamientos. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

La K_{sat} varió entre 118,0 y 40,8; 43,0 y 1,0 y entre 44,0 y 1,0 mm h⁻¹, en las capas de 0 - 5, 5 - 15 y 15 - 30 cm, respectivamente. Estos resultados evidencian un marcado efecto de la profundidad sobre esta variable. En la capa superficial los mayores valores se presentaron en los tratamientos donde se incluyó algodón en la rotación y en las dos últimas capas los mayores valores corresponden al tratamiento SDMF. En la última capa la mayoría de los valores en los agroecosistemas están por debajo de 5 mm h⁻¹, señalado por Pla (1983) como limitante para agricultura de secano. En la K_{sat} se presentó una gran variabilidad intrínseca (%CV), tal como señalan Lozano (1995) y Buczko *et al.* (2006), lo que hace que a pesar de la diferencia en los valores absolutos no se presente diferencias estadísticas entre los tratamientos.

En la distribución de tamaño de poros, la PT varió entre 49,7 y 54,0% en la primera capa, entre 45,0 y 46,4% en la segunda capa y 44,1 y 48,6% en la capa más profunda, sin diferencias entre tratamientos. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) con la profundidad en los agroecosistemas, con los valores más altos en la capa superficial. La Pa fue similar entre los agroecosistemas con valores por debajo del valor limitante para agricultura de secano sugerido por Pla (1983) de 10 %, diferenciándose solo con el Bosque a todas las profundidades. Estos resultados son similares a los señalados por Franzluebbbers y Arshad (1996), quienes no consiguieron diferencias en la porosidad de suelos franco limosos luego de 16 años bajo SD y LC. En la Pr sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre tratamientos en la última capa, con menor capacidad de retención de agua en el Bosque y SDMF; mientras que con la profundidad el tratamiento LCMF fue el que presentó diferencias estadísticas, con la mayor Pr en la capa superficial.

La CS presentó valores bajos entre 46,2 y 95,3 kPa, por debajo del límite crítico de 300 kPa, sugerido por Pla (1983) y de 100 kPa sugerido por Florentino *et al.* (2006), como limitante para el desarrollo de las raíces. No hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, ni entre profundidades, aunque los mayores valores de CS se presentaron en los tratamientos bajo SD, debido posiblemente a la reconsolidación del suelo por la ausencia de labranza.

Las variaciones de la resistencia a la penetración (RP) y contenido de humedad por efecto de los distintos tratamientos de labranza y rotación de cultivos se presentan la Figura I-7.

Los valores de RP de los tratamientos evaluados estuvieron entre 189 y 757 kPa en la capa de 0 - 5 cm, entre 213 y 1028 kPa en la capa de 5 - 15 cm y entre 1065 y 1371 kPa en la capa de 15 - 30 cm, presentándose diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) por sistema de labranza y con la profundidad; mientras que la rotación de cultivo no afectó la RP. Los mayores valores de RP se presentaron en el Bosque y SD como era de esperarse, debido a la reconsolidación natural que se produce en el suelo cuando no se labra.

A la profundidad de 15 - 30 cm no se observaron diferencias entre tratamientos, lo que indica que la profundidad de la labor de labranza fue de unos 15 cm. A partir de esta profundidad la RP del suelo fue similar a la del suelo no alterado. En el Bosque los valores de RP fueron similares o ligeramente superiores a los de los tratamientos bajo SD a todas las profundidades. Resultados similares han presentado Lal *et al.* (1994) y Lal (1997), aunque investigaciones como las de Comia *et al.* (1994) y Sow *et al.* (1997), han conseguido diferencias entre los sistemas LC y SD hasta los 35 cm de profundidad.

Con relación a los contenidos de humedad, al momento de la evaluación el suelo se encontraba entre un 70 a 80% de la humedad de capacidad de campo, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos a ninguna de las profundidades evaluadas. Esta similitud entre los contenidos de humedad en todos los tratamientos, sugieren que las diferencias en la RP del suelo se deben al efecto de los tratamientos y no a cambios en los contenidos de humedad.

Propiedades químicas del suelo: en el Cuadro I-9 se presentan los resultados de las propiedades químicas, tanto en el Bosque como en los agroecosistemas. El pH osciló alrededor de 8 y clasifica de ligera a moderadamente alcalino. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la capa superficial y entre profundidades dentro de un mismo tratamiento. A nivel superficial los menores valores se presentaron en el Bosque y los más altos en las rotaciones con frijol (SDMF y LCMF); mientras que en las capas más profundas los valores fueron similares entre tratamientos. En todos los tratamientos el pH aumentó con la profundidad en un 6% en el Bosque y alrededor de 2% en los agroecosistemas. La CE fue baja en todos los tratamientos y profundidades, lo que indica que no existen problemas de sales en el suelo. Sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la primera capa, con los mayores valores en SDMA y los menores en LCMF, y sin diferencias entre las profundidades consideradas.

Los contenidos de P, K fueron bajos para los agroecosistemas a todas las profundidades; además, los valores en estos dos elementos fueron más altos en la capa superficial, especialmente en los tratamientos bajo LC, lo que refleja las fertilizaciones realizadas para el cultivo. En el Bosque los contenidos de P y K fueron medios en la capa superficial y de medios a bajos en las capas más profundas. A todas las profundidades se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre el Bosque y los agroecosistemas para P y para K solo en la primera y última capa. Estos resultados fueron diferentes a los de Lozano *et al.* (1997a), Lal (1997) y Ekebert y Riley (1997), quienes encontraron que las diferencias en los contenidos de P en sistemas de labranza convencional y conservacionistas se presentan hasta los 5 cm de profundidad y que a partir de allí no se presentan diferencias estadísticas entre tratamientos de labranza.

Los contenidos de Ca fueron altos en todos los tratamientos y profundidades y los de Mg solo en la primera capa, de medios a altos en la segunda y tercera capa, con excepción del tratamiento SDMF donde se presentaron valores bajos. En Ca hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en las dos primeras capas, y con la profundidad en todos los tratamientos, con variaciones dependiendo de la interacción labranza, rotación y profundidad. En el Bosque los menores contenidos de Ca se presentaron en la capa superficial y aumentaron alrededor de 6% en las capas más profundas. En los agroecosistemas las tendencias fueron variables. En los tratamientos con la rotación MA se produjo una disminución del contenido en la capa de 5 - 15 cm; mientras que en los tratamientos con rotación MF se produjo un incremento. En la última capa no hubo diferencias entre tratamientos. Con respecto al Mg no hubo diferencias con el tratamiento ni la profundidad.

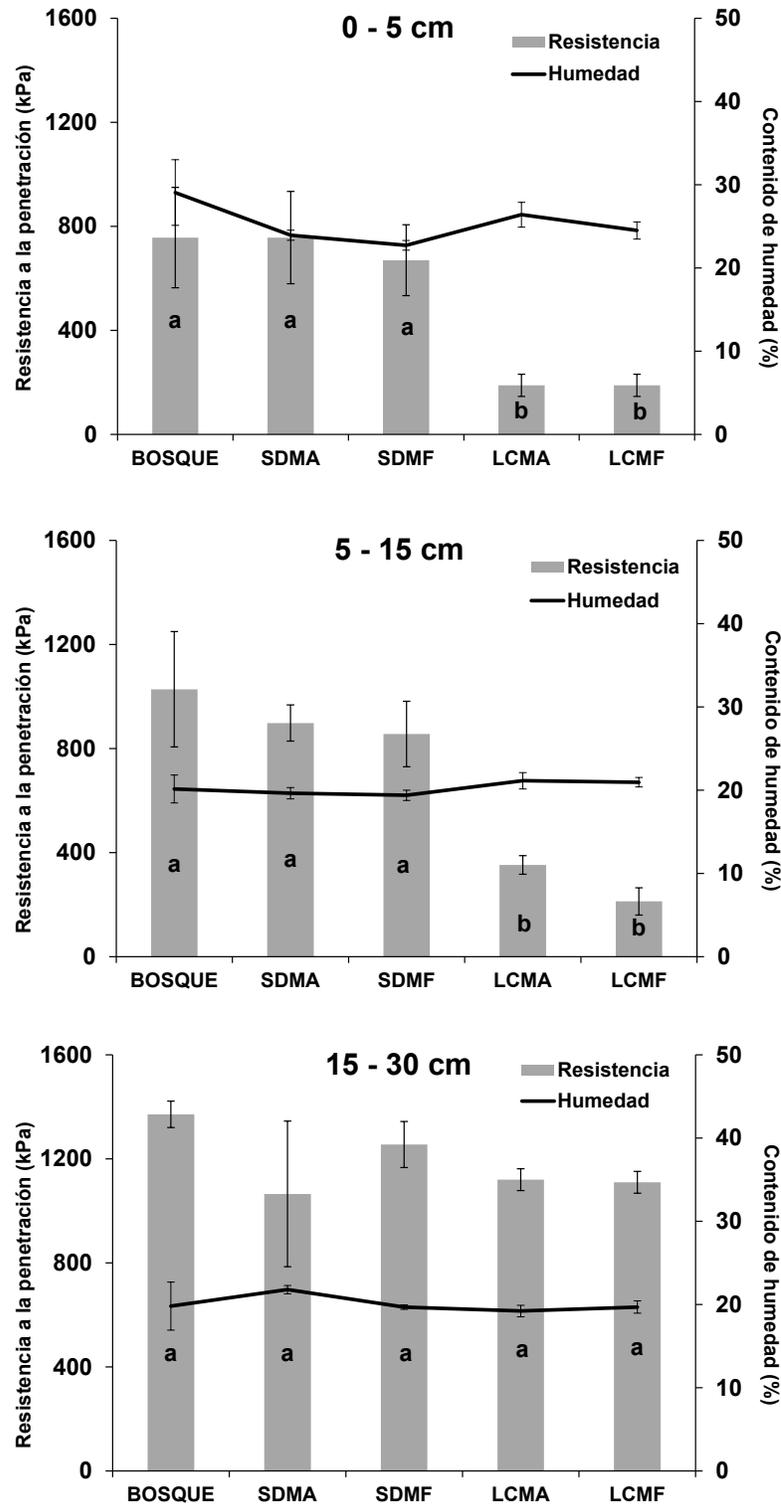


Figura I-7. Resistencia a la penetración y contenido de humedad del suelo en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turen, estado Portuguesa. **Bosque:** zona bajo vegetación natural no intervenida; **SDMA:** siembra directa y rotación maíz-algodón; **SDMF:** siembra directa y rotación maíz-frijol; **LCMA:** labranza convencional y rotación maíz-algodón; **LCMF:** labranza convencional y rotación maíz-frijol. Letras minúsculas distintas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

Cuadro I-9. Propiedades químicas de los suelos en la zona natural y los agroecosistemas evaluados en la localidad de Turén, estado Portuguesa.

Parámetro	Bosque	SDMA	SDMF	LCMA	LCMF
pH en agua (relación 1:1)	7,81 bC	8,03 cB	8,14 cA	8,08 cB	8,21 bA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,12 aB	0,19 aA	0,12 aB	0,15 aB	0,09 aC
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	39,2 aA	34,4 aAB	31,4 aAB	31,2 aB	25,3 aC
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	3,2 aA	2,5 aAB	2,4 aAB	2,4 aAB	1,9 aB
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	17,5 aA	7,7 aB	11,3 aB	9,7 aB	8,3 aB
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	99,5 aA	30,7 aB	39,3 aB	61,7 aB	31,0 aB
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	9350 bA	3900 bC	3900 bC	6900 aB	1300 cD
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	158 aA	94,0 aA	97,3 aA	80,7 aA	83,0 aA
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	23,9 aC	33,0 aAB	44,1 aA	25,8 aBC	39,4 aA
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	4,4 aA	13,3 aA	13,1 aA	6,9 aA	9,8 aA
5 - 15 cm					
pH en agua (relación 1:1)	8,28 aA	8,23 bA	8,24 bA	8,18 bA	8,22 bA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,08 aA	0,12 aA	0,11 aA	0,12 aA	0,12 aA
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	19,0 bB	23,3 bAB	21,9 bAB	23,3 aAB	25,5 aA
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	2,1 bA	1,6 aA	1,7 aA	1,7 aA	1,8 aA
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	11,5 aA	5,0 aB	7,0 aB	5,7 abB	5,0 abB
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	21,0 bA	20,3 aA	26,7 aA	34,3 abA	20,0 aA
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	9900 aA	2700 cC	6700 aB	3900 bC	3600 bB
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	127 aA	66,7 aA	67,3 aA	72,7 aA	102,7 aA
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	4,3 bC	12,5 bBC	12,8 bBC	19,8 bB	31,7 bA
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	0 aA	6,9 bA	9,8 abA	5,5 aA	8,6 aA
15 – 30 cm					
pH en agua (relación 1:1)	8,29 aA	8,32 aA	8,34 aA	8,28 aA	8,31 aA
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,09 aA	0,10 aA	0,08 aA	0,11 aA	0,10 aA
Carbono orgánico total (g kg ⁻¹)	15,3 bB	20,9 bAB	20,5 bAB	23,0 aA	21,7 aAB
Nitrógeno orgánico total (g kg ⁻¹)	1,8 bA	1,5 bA	1,4 aA	1,6 aA	1,6 aA
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	10,5 aA	4,3 aB	2,3 aB	2,7 bB	3,0 bB
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	39,0 bA	16,3 aB	20,7 aB	26,7 bB	20,7 aB
Calcio disponible (mg kg ⁻¹)	9850 aA	5400 aA	6900 aA	3900 bA	6700 aA
Magnesio disponible (mg kg ⁻¹)	119 aA	66,0 aA	31,3 aA	65,3 aA	71,3 aA
Nitrógeno nítrico (mg kg ⁻¹)	3,0 bC	7,0 cBC	7,1 cBC	10,3 cB	17,1 cA
Nitrógeno amoniacal (mg kg ⁻¹)	0 aA	6,1 bA	3,9 bA	7,9 aA	2,7 bA

Bosque: zona bajo vegetación natural no intervenida; **SDMA:** siembra directa y rotación maíz-algodón; **SDMF:** siembra directa y rotación maíz-frijol; **LCMA:** labranza convencional y rotación maíz-algodón; **LCMF:** labranza convencional y rotación maíz-frijol. Letras minúsculas distintas dentro de la misma columna representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de las profundidades. Letras mayúsculas distintas dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los tratamientos. **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

Del nitrógeno inorgánico del suelo (NH_4^+ y NO_3^-), el NO_3^- presentó contenidos de medios a altos a nivel superficial y bajos en las capas más profundas y los de NH_4^+ fueron bajos en todos los tratamientos y profundidades. En el Bosque los contenidos de NH_4^+ y NO_3^- fueron inferiores a los de los agroecosistemas en todas las profundidades, lo cual era de esperarse debido a la fertilización con N para el cultivo de maíz. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y con la profundidad para NO_3^- y solo con la profundidad para NH_4^+ , también fueron significativas las interacciones labranza por rotación, labranza por profundidad y rotación por profundidad, para el NO_3^- y para el NH_4^+ solo la interacción rotación por profundidad.

A nivel superficial el contenido de nitrógeno inorgánico ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) fue entre 13 y 30% mayor en los tratamientos bajo SD que bajo LC; mientras que en las capas más profundas fue mayor en los tratamientos bajo LC. Por otra parte, el N inorgánico (principalmente NO_3^-) observado en las dos primeras capas de los tratamientos con la rotación MF fue mayor que en la rotación MA de 14 a 37%. Estos resultados coinciden con lo señalado por López - Bellido *et al.*, (1997), quienes señalan que los contenidos de NO_3^- en el suelo en sistemas de labranza conservacionista son marcadamente dependientes del cultivo previo y que son mayores cuando el cultivo es una leguminosa.

Como señalan Espinoza *et al.* (2007), en su trabajo sobre el efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica en el suelo (MOS) en este mismo suelo, al comparar los tratamientos LC y SD, el mantenimiento de residuos de cultivos sobre la superficie del suelo en SD resultó en una significativamente ($p < 0,05$) mayor cantidad de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno orgánico total (NOT) a la profundidad de 0 - 5 cm, al igual que en el Bosque, lo que no se evidenció en las capas más profundas. En los tratamientos Bosque, SDMA y SDMF se produjo una disminución de los valores de COT y NOT con la profundidad, pero no en los tratamientos bajo LC, lo que se puede atribuir a una homogenización por las operaciones de labranza. También señalan que en el tratamiento de SD la rotación de cultivos no varió la cantidad de COT y NOT. Sin embargo, en LC la rotación MA incrementó el COT y NOT superficial en 20 y 30%, respectivamente, comparada con MF.

Se ha señalado en muchas investigaciones el incremento de C y N en SD comparada con LC (Havlin *et al.*, 1990; Franzluebbers *et al.*, 1995); no obstante, los presentes resultados muestran que cuando la LC es combinada con la rotación MA la cantidad de COT y NOT no muestra diferencias estadísticas al compararla con SD. Aun cuando se demuestra que la labranza convencional (LC) acelera la desaparición de la MOS, esto no se refleja en la cantidad de C y N orgánico total medido en el tratamiento LCMA, lo que parece estar directamente relacionado a la calidad y cantidad de residuos de planta que regresan al suelo, pero no a su distribución en el perfil del suelo, tal como señalan Campbell *et al.* (1996). Un ejemplo lo presentan Omay *et al.* (1997), quienes encontraron que la inclusión de soya en la rotación de cultivos disminuye en 5% el COS y NOS, en comparación con cultivo continuo de maíz.

En evaluaciones realizadas por Espinoza *et al.* (2007) en este mismo ensayo, consiguieron que cuando la LC se combina con una leguminosa (LCMF) la dinámica de la fracción lábil de la MOS tiene un comportamiento similar a la MOS bajo siembra directa (SD). Entonces, la calidad de los residuos (residuos de frijol con baja relación C/N) parece favorecer la acumulación o la protección de la MOS más lábil cuando la LC es utilizada como sistema de manejo bajo las condiciones de este ensayo. Por otra parte, el mantenimiento de residuos sobre la superficie del suelo, independientemente de su calidad, tiene un efecto directo sobre la población de los microorganismos del suelo. Para el caso de LC, aun cuando la población microbiana fue similar con ambas rotaciones, los residuos de frijol favorecen su actividad.

Efecto de los tratamientos de labranza y rotación sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz

Desarrollo de raíces: La densidad y tasa de desarrollo de las raíces de los cultivos agrícolas es importante ya que afectan la suplencia de agua y nutrientes a la planta. Un buen desarrollo de raíces no produce por sí mismo

altos rendimientos pero evita la reducción de los mismos por una inadecuada suplencia de agua (Dwyer *et al.*, 1988; Taylor y Brar, 1991). En la Figura I.8 se presentan como índices de desarrollo de raíces: la longitud de raíces (LDR) y el área de raíces (ADR). Para todos los tratamientos más del 70% de las raíces se concentraron en las dos primeras capas (primeros 15 cm), disminuyendo progresivamente a medida que se profundiza en el perfil.

En la LDR se aprecia una tendencia diferencial entre los tipos de rotación, para ambos sistemas de labranza. En la rotación MA se produjo una mayor concentración de raíces en las capas superficiales; mientras que en la rotación MF la distribución fue más uniforme a lo largo del perfil. Esto puede ser atribuido a que las diferencias en el sistema radical del algodón y el frijol, crean condiciones en el suelo, los cuales aunque no se reflejan en la estructura del mismo, afectan las raíces del cultivo subsiguiente (maíz). A partir de los 15 cm de profundidad los tratamientos tienen tendencias similares.

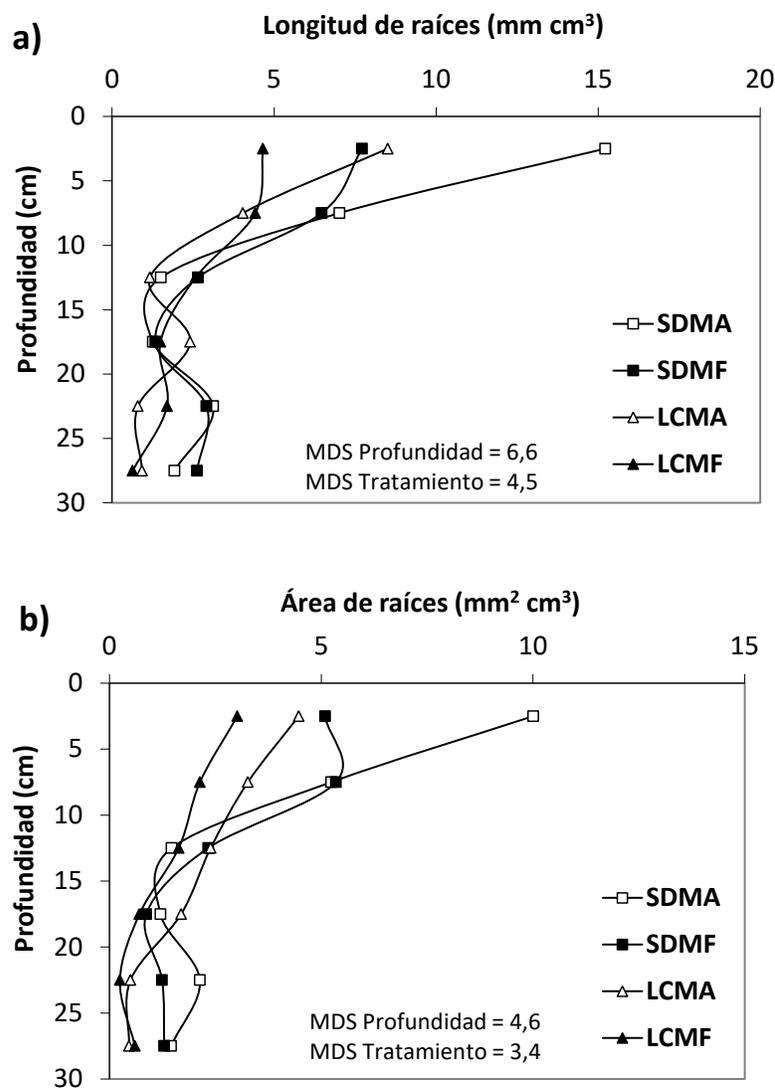


Figura I-8. Parámetros de desarrollo de raíces del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en los diferentes tratamientos de labranza y rotación en el suelo de la localidad de Turén, estado Portuguesa: a) longitud de raíces, b) área ocupada por raíces. **MDS:** Mínima diferencia significativa ($p < 0,05$). **Fuente:** Espinoza y Lozano (2011).

En el ADR la tendencia fue similar para el tipo de rotación, pero se evidenció mejor el efecto del sistema de labranza en SD donde las raíces tienden a ser más superficiales, mientras que en LC estuvieron distribuidas a lo largo del perfil. Es importante destacar que tanto para la LDR como para el ADR se evidenció una disminución de las raíces a la profundidad cercana a 15 cm, la cual se corresponde con la capa de permeabilidad limitada detectada en la caracterización física del suelo.

Rendimiento del cultivo: En general el rendimiento del maíz en el suelo TUR en los tratamientos evaluados fue aproximadamente 30% mayor que el promedio de la zona. No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos de labranza y rotación de cultivos (Cuadro I-10), pero el rendimiento de cultivo bajo LCMA fue aproximadamente 10% mayor que el resto de los tratamientos. Muchos autores han señalado que los sistemas de labranza conservacionista producen mejores rendimientos que los convencionales por un mejor balance de agua cuando se presentan déficit hídrico, producto de los residuos en superficie (Nyborg y Malhi, 1989); sin embargo, para el ciclo evaluado (2002) no se presentó déficit hídrico en el suelo.

Cuadro I-10. Rendimiento en grano del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), bajo los diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos en el suelo Turén, estado Portuguesa.

Labranza	Rotación	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Siembra directa	Maíz-Algodón	8002
	Maíz-Frijol	7899
Labranza convencional	Maíz-Algodón	8238
	Maíz-Frijol	8135

Fuente: Espinoza y Lozano (2011).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, E.; E. Martínez. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos. Sustentabilidad en cultivos anuales. Universidad de Chile, Santiago, Serie Ciencias Agronómicas No. 8. pp. 13-25.
- Anderson, J.; J. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 p.
- Báez, M.A.; J.F. Aguirre-Medina. 2011. Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo. Terra Latín. 29 (2): 113-121.
- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Spriger-Verlag, Beclim Heidelberg. New York (USA). pp. 49-53.
- Bravo, C.; A. Florentino. 1997. Efecto de diferentes sistemas de labranza sobre las propiedades físicas del suelo y su influencia sobre el rendimiento del algodón. Bioagro 9: 67-75.
- Bravo, C.; E. Andreu. 2011. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. Venesuelos 3: 62-68.
- Buczko, U.O.; O. Bens; R.F. Huttl. 2006. Tillage effects on hydraulics properties and macroporosity in silty and sandy soils. Soil Science Society American Journal 70: 1998-2007.
- Campbell, C.A.; B.C. McConkey; R.P. Zentner; F. Sellers; D. Curtin. 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76: 395-401.

- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal* 94: 38-47.
- Comia, R.; M. Stenberg; P. Nelson; T. Rydberg; I. Hakansson. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. *Soil and Tillage Research* 29: 335-355.
- Dou, Z.; R. Fox; J. Toth. 1995. Seasonal soil nitrate dynamic in corn as affected by tillage on nitrogen source. *Soil Science Society American Journal* 59: 858-864.
- Dwyer, I.; D. Steward; D. Balchin. 1988. Rooting characteristics of corn, soybeans and barley as a function of available water and soil physical characteristics. *Canadian Journal of Soil Science* 68: 121-132.
- Ekeberg, E.; H. Riley. 1997. Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on Morainic loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research* 42: 277-293.
- Espinoza, Y.; Z. Lozano. 2011. Informe final del proyecto Fonacit S1-2001000991 "Control de degradación de suelos, protección del ambiente, y secuestro de carbono". 83 p.
- Espinoza, Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22 (3): 177-184.
- Espinoza, Y., L. Malpica y M. de Jesús. 2014. Potencialidad de suelos agrícolas para secuestrar carbono. *Observador del Conocimiento* 2(2):189-196.
- Espinoza, Y.; Z. Lozano; L. Malpica. 2017. Efecto del sistema labranza sobre la estructura y fracciones de carbono y nitrógeno del suelo y su impacto en el desarrollo del cultivo de maíz. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 34: 448-476
- Espinoza, Y.; Z. Lozano; L. Velásquez. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia* 32: 554-559.
- Fabrizzi, K.P.; A. Morón; F.O. García. 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. *Soil Science Society American Journal* 67: 1831-1841.
- Florentino de A, A. 1997. Guía sobre índices físicos de suelo. Valores críticos. Facultad de Agronomía, UCV-Maracay. 7 p.
- Florentino, A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén. Su incidencia agronómica. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay (Venezuela). 207 p.
- Florentino, A.; Z. Lozano; J.C. Aciego; A. Ospina; J. Rodríguez; M. Pulido; C. Pineda. 2006. Prácticas de manejo de las características físicas y biológicas del suelo para un uso sostenible de la tierra. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. 67 p.
- Franzluebbers, A.J.; M.A. Arshad. 1996. Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Canadian Journal Soil Research* 76: 387-393.
- Franzluebbers, A.J.; F.M. Hons; D.A. Zuberer. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Science Society American Journal* 59: 460-466.
- Gilabert de B, J.; I. López de R.; R. Pérez de R. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Versión preliminar. CENIAP, Maracay. 164 p.

- Granados, F.; H. Oropeza. 1986. Caracterización agroclimática de sitios experimentales del FONAIAP en el estado Portuguesa. Resumen de las características físicas y químicas y clasificación de suelos. (Mimeografiado). 3 p.
- Havlin J.L.; D.E. Kissel; L.D. Maddux; M.M. Claassen; J.H. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society American Journal* 54: 448-452.
- Hevia, G.G.; D.E. Buschiazzi; D.N. Hepper; A.M. Urioste; E.L. Antón. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.
- Ismael, J.; R. Blevins; W. Frye. 1994. Long-term no tillage effects on soil properties and continuous corn yields. *Soil Science Society American Journal* 58: 193-198.
- Jenkinson, D. S.; D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209-213.
- Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on tropical Alfisol in Western Nigeria. I: Crop yield and soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 42: 145-160.
- Lal, R.; A. Mahboubi; N. Fausey. 1994. Long-term tillage and rotation effects on properties of Central Ohio soil. *Soil Science Society American Journal* 58: 517-552.
- López, M.; A. Bolívar; M. Salas; M. de Gouveia. 2006. Prácticas conservacionistas y rotación con quinchoncho, alternativas sustentables para los agroecosistemas de sabana de Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical (Ven)* 56 (1): 75 – 109.
- López, R.; F. Delgado. 2015. Degradación del suelo en los llanos de Venezuela. *En: R.A. López, J.M. Hétiér, I.D. López-Hernández, R. Schargel y A. Zink (Eds.). Tierras llaneras de Venezuela, 2^{da} Edición, Capítulo 7, Volumen 1. Monografía Regional (pp. 269-301). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT-ULA), Mérida, Venezuela.*
- López-Bellido, L.; F. López-Garrido, M. Fuentes, J. Castillo; E. Fernández. 1997. Influence of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on soil organic matter and nitrogen under rain-fed Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research* 43: 277-293.
- Lozano, Z. 1995. Calibración de métodos para la evaluación de las limitaciones físicas. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, UCV (Maracay). 151 p.
- Lozano, Z.; D. Lobo; I. Pla S. 2000. Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los llanos occidentales Venezolanos. *Bioagro* 12: 15-24.
- Lozano, Z.; D. Lobo; I. Pla S. 2002. Limitaciones para la emergencia de plántulas de maíz y sorgo en suelos de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 26 (1):15-25.
- Lozano, Z.; S. Cabrera; J. Peña; M. Adams. 1997a. Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los llanos Occidentales de Venezuela. I. Propiedades químicas de los suelos. *Venesuelos* 5 (1 y 2): 14-24.
- Lozano, Z.; S. Cabrera; J. Peña; M. Adams. 1997b. Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los llanos Occidentales de Venezuela. II. Propiedades Físicas de los suelos. *Venesuelos* 5 (1 y 2): 25-33.
-

- Mandiola, M., G.A Studdert, G.F. Domínguez; C.C. Videla. 2011. Organic matter distribution in aggregate sizes of a Mollisol under contrasting managements. *Journal Soil Scice and Plant Nutrition* 11:41-57.
- Mathew, R.P.; Y. Feng; L. Githinji; R. Ankumah; K.S. Balkcom. 2012. Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *Applied Environment Soil Science*. Article ID 548620, doi:10.1155/2012/548620.
- Nacci, S.; I. Pla S. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17, Maracay. 40 p.
- Nyborg, M; S. Malhi. 1989. Effects of zero and convencional tillage on barley yield and nitrate nitrogen content, moisture and temperature of soil in North-Central Alberta. *Soil Tillage and Research* 15: 1-9.
- Ohep, C.; F. Marcano; S. Pudzzar; C. Colmenares. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro* 14 (1):37-45.
- Olson, K.R.; J.M. Lang; S.A. Ebelhar. 2005. Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois. *Soil Tillage and Research* 81: 217-225.
- Omay, A.B.; C.W. Rice; L.D. Maddux; W.B. Gordon. 1997. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Science Society of American Journal* 61: 1672-1678.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos, Roma, Italia. 16 p.
- Pla S., I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV) Alcance* N° 32, 91 p.
- Pla S., I. 1989. Desarrollo de Índices y Modelos para el Diagnóstico y Prevención de la Degradación de Suelos en Venezuela. Premio Agropecuario Banco Consolidado 1988. Mención Científica: 1^{er}. Premio. Caracas, Venezuela. 58 p.
- Pla S., I. 1992. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo con fines de diagnóstico. Bases, uso y aplicación de metodologías sencillas para la evaluación y modelaje de procesos físicos de suelo. (Mimeografiado) 19 p.
- Pla S., I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza. *En: Memorias de la II Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*. 1993 (pp. 42–51). Guanare – Acarigua.
- Pla, I.; G. Campero; R. Useche. 1974. Physical degradation of agricultural soils in the Western Plains of Venezuela. 10th International Congress of Soil Science 1: 231-240. Moscow, URSS.
- Potter, K.N.; H.A. Tolbert; O.R. Jones; J.E. Matocha; J.E. Morrison; P.W. Unger. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management system in Texas. *Soil and Tillage Research* 47: 309-321.
- Pulido, M.; D. Lobo; Z. Lozano; R.M. Hernández. 2015. Relación entre las propiedades físicas de un suelo y el desarrollo de raíces de maíz (*Zea mays* L.) en sistemas mejorados maíz-ganado. *Venesuelos* 10: 61-66.
- Rey, J.C. 2002. Descripción del suelo Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en Turén, estado Portuguesa. Descripción de perfil y clasificación de suelos. (Mimeografiado). 3 p.

-
- Roldán, M.F., G.A. Studdert, C. Videla, S. San Martino; L. Picone. 2014. Distribución de tamaño y estabilidad de agregados en molisoles bajo labranzas contrastantes. *Cienc. Suelo* 32(2):247-257.
- SAS Institute, 2000. SAS Procedures guide. Release 8.02 editions, Cary, NC.
- Six, J., E.T. Elliot; J.W. Doran. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soil. *Soil Science Society of America Journal* 62:1367-1377
- Sotomayor-Ramírez, D.; Y. Espinoza. 2010. Soil aggregation and organic carbon fractions in the Rio Grande de Arecibo watershed. *J. Agric. Univ. P.R.* 94 (1-2): 25-39.
- Sow, A.; L. Hossner; P. Unger; B. Stewart. 1997. Tillage and residue effects on root growth and yields of grain Sorghum following wheat. *Soil and Tillage Research* 44: 121-129.
- Studdert, G.A., G.F., Domínguez, M.C., Zagame; J.C. Carabaca. 2015. Variación estacional de carbono orgánico particulado y nitrógeno anaeróbico. *Cienc. Suelo* 33(1):65-77.
- Taylor, H.; G. Brar. 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research* 19: 111-119.
- Universidad Central de Venezuela (UCV). 1993. Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía N° 6. Facultad de Agronomía (UCV). 89 p.
- Zotarelli, L.B., J.R. Alves, S. Urquiaga, R.M. Bodey; J. Six. 2007. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregates soil organic matter in two Oxisols. *Soil Till. Res.* 95:196-206.
-

CAPÍTULO II

TIPOS DE FERTILIZACIÓN Y CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN UN SUELO DE LA CORDILLERA DE LA COSTA CENTRAL

Introducción

La producción de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) en el trópico ha sido poco estudiada, dada su característica de cultivo de latitudes subtropicales y templadas. Sin embargo, existen algunos ambientes agroecológicos donde se ha asentado la producción, aprovechando algunas condiciones climáticas que favorecen al cultivo. En estas zonas no hay suficientes horas de frío para que la planta alcance o rompa la latencia o reposo, lo cual ocurre de manera natural en las zonas templadas. Por ello, es necesario recurrir a la “Producción Forzada” la cual se basa en el uso de: a) cultivares con bajos requerimientos de frío, b) desecantes para la defoliación, y c) promotores químicos de la brotación reproductiva (Pérez-González, 2001).

En Venezuela, la producción de duraznero es posible en zonas con altitudes que oscilen entre 900 a 2400 msnm, temperaturas entre 12 y 23 °C y precipitaciones entre 1000 y 2000 mm por año (Avilán *et al.*, 1992). Las zonas productoras más importantes son La Colonia Tovar y El Jarillo, en los estados Aragua y Miranda, respectivamente. También hay huertos de este frutal en los estados Vargas, Táchira, y se han plantado algunos huertos en los estados de Lara y Trujillo (Aular y Cásares, 2011).

En la Colonia Tovar, los productores de durazno tradicionalmente han manejado las fincas según los principios de la llamada Revolución Verde (RV), esto es, el uso de variedades de alto rendimiento las cuales demandan gran cantidad de nutrientes del suelo, cuya fertilidad no se mantiene por el ciclaje natural de los mismos sino por fertilización; control químico de plagas y enfermedades; sistemas poco diversificados en sus actividades, y que dependen en su totalidad de insumos externos, tanto para mantener la producción comercializable como para el autoconsumo (Soto *et al.*, 2004; Aular, 2006; Silva y Pérez, 2010).

En la zona existe una especie de acuerdo implícito entre los productores sobre cómo se debe cultivar el duraznero. Entre las prácticas más comunes en la zona se destacan: i) el uso indiscriminado de agroquímicos como pesticidas para el control de plagas y enfermedades; ii) la aplicación de desecantes (clorato de sodio) y promotores de la brotación (cianamida de hidrogeno) para la producción forzada; iii) el uso de fertilizantes inorgánicos nitrogenados y fosforados de alta solubilidad y de abonos orgánicos del tipo de estiércol de gallina (gallinaza) no compostados, los cuales presentan altos contenidos de nitrato; las aplicaciones se realizan sin tomar en cuenta el nivel de fertilidad del suelo (López *et al.*, 2002; Silva y Pérez, 2010; Aular y Cásares, 2013; Sanabria, 2013).

Dada la fragilidad ambiental de la zona, la heterogeneidad edáfica, las altas pendientes y el uso excesivo de agroquímicos sin tomar en cuenta los requerimientos de los cultivos, se ha producido una disminución en la biodiversidad de especies, problemas de degradación del suelo, disminución de la productividad de los cultivos y problemas de salud en los agricultores, lo que hace que el uso actual si se mantiene las prácticas de manejo mencionadas, no sea sostenible.

La transición de un sistema de producción basado en la RV a uno más sostenible es un proceso paulatino, se debe comenzar con pocas prácticas y avanzar progresivamente; escoger primero aquéllas que sean apropiadas para la localidad, sencillas y eficaces para mantener la motivación de los productores, tal como lo señalan Silva y Pérez (2010).

Los modelos alternativos, tendentes a la sostenibilidad, deben priorizar dos aspectos importantes: primero ver al suelo como un ente vivo e irrecuperable una vez degradado, y segundo, entender que la biodiversidad funcional presta servicios ambientales gratuitos. En este sentido, las estrategias para el manejo sostenible de los agroecosistemas en la zona deben ir orientadas hacia: i) la disminución de las dosis y fraccionamiento de los fertilizantes inorgánicos aplicados a los cultivos; ii) aplicación de enmiendas calcáreas para el control de la acidez del suelo; iii) compostaje de abonos orgánicos; iv) uso de coberturas y otras prácticas para el control de la escorrentía y la erosión del suelo y v) el uso de biocontroladores y manejo integrado de plagas y enfermedades (López *et al.*, 2002; Aponte y Rondón, 2004; Lozano *et al.*, 2012).

En la búsqueda de soluciones para la problemática que se presenta en la zona, se plantearon tres ensayos con los siguientes objetivos:

- Determinar el cambio en la fertilidad integral del suelo, por efecto del manejo aplicado al cultivo de duraznero durante varios años, en comparación con las condiciones naturales.
- Evaluar el efecto de la pendiente y pedregosidad superficial sobre el balance del agua en el suelo, lo que permitiría diseñar prácticas de conservación del suelo y mejorar la eficiencia de uso del agua.
- Proponer opciones de manejo de la fertilización (inorgánica y orgánica), y control de plagas y enfermedades (manejo integrado y control químico) en el cultivo de duraznero, y evaluar su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, el estado nutricional y rendimiento del cultivo.

Área de estudio

El sitio experimental se encuentra entre la cuenca alta y media del río Petaquire y la cuenca del río Topo (10° 29' N, 67° 07' O; 1790 msnm). Su clima es templado de montaña con amplitudes térmicas diarias de unos de 10 °C, con promedio de 16,8 °C, y frecuentes nieblas, sobre todo al amanecer y en la tarde, una humedad relativa entre 80 y 87% y una precipitación media anual de 1271 mm. La topografía va desde quebrada hasta accidentada con pendientes entre 20 y 50%, son montañas bajas con problemas actuales y potenciales fuertes de erosión, principalmente laminar y por la presencia de cárcavas localmente. El suelo seleccionado es un Inceptisol que clasifica como Dystrudepts (SSS, 2006), ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar (CTO), estado Aragua. Se seleccionó este sector debido a que se siembra durazno en superficies comerciales, los productores tienen cierto grado de organización y la producción representa alrededor del 15 % del durazno comercializado en la Colonia Tovar (UCV, 2010).

Para el logro de los tres objetivos planteados se seleccionó una zona intervenida, que consistió de una unidad de producción de aproximadamente 4 ha sembradas de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch), variedad “Criollo Amarillo” (adaptada a las condiciones climáticas), con plantas de 13 años de edad. Dentro de la parcela se separaron sitios en función de la pedregosidad superficial y las pendientes representativas. Cercana a la parcela experimental se seleccionó una zona natural no intervenida, con la intención de comparar el cambio en las propiedades del suelo por efecto de la instalación del agroecosistema de duraznero. En esta zona la vegetación estaba constituida principalmente por helechos arbóreos (*Cyatheaceae* y *Dicksoniaceae*) y epífitas (*Terpsicore* y *Trichomanes*), tal como señala Cortez (2001).

Descripción de los ensayos

I. Efecto del uso sobre la fertilidad integral del suelo

Se realizó un muestreo de suelos bajo un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones en las dos zonas seleccionadas, la parcela bajo cultivo de duraznero (IN) y la zona natural (NA). Para la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se tomaron muestras de suelo disgregadas (compuestas) y no alteradas (puntuales), a una profundidad de 0 – 15 cm en ambas zonas. El muestreo se realizó en septiembre de 2010 (periodo lluvioso), en transectas sentido sureste – noreste, tanto en IN como en NA.

Las muestras disgregadas se tomaron con un toma-muestras manual tipo barreno helicoidal (5 cm de diámetro), en total 24 muestras disgregadas compuestas de seis submuestras cada una (2 zonas x 4 repeticiones x 3 transectas por repetición). Parte de las muestras disgregadas se conservó refrigerada (4°C) a humedad de campo, para el análisis de las propiedades biológicas, el resto se secó al aire y se pasó por un tamiz de 2 mm para los análisis de propiedades químicas. En NA, los puntos de muestreo se separaron 12 m a lo largo de cada transecta; mientras que en IN, las muestras se colectaron al mismo distanciamiento, a lo largo del hilo de siembra en el área de proyección de la copa del árbol a unos 60 cm del tallo.

Las muestras no alteradas se tomaron con un toma-muestras tipo Uhland con cilindros metálicos de aproximadamente 100 cm³ de volumen (5 cm diámetro x 5 cm altura), 48 muestras en total (2 zonas x 4 repeticiones x 1 transecta/repetición x 6 muestras/transecta), las cuales se cubrieron de papel aluminio y se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis. Se tomaron muestras foliares de duraznero para evaluar su estado nutricional, de acuerdo con la metodología descrita por Guerrero-Acosta *et al.* (2005), para lo cual se seleccionaron dos plantas por repetición y se colectaron 20 hojas completas (lámina y pecíolo) por planta, fisiológicamente maduras, provenientes de la parte media de brotes de 20 a 40 cm de longitud, siguiendo la dirección de los cuatro ejes cardinales y a una altura promedio de 1,30 m. También se evaluó la composición promedio del abono orgánico (cama de pollo) utilizado en el manejo del cultivo de duraznero, a través de tres muestras compuestas del abono disponible en la parcela, tomadas en el ciclo previo al muestreo.

En las muestras de suelo colectadas se determinó: distribución de tamaño de partículas, humedad retenida a -33 kPa, densidad aparente, conductividad hidráulica saturada, distribución de tamaño de poros (porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención), cohesión en seco, pH y conductividad eléctrica, carbono orgánico total, nitrógeno orgánico total, capacidad de intercambio catiónico, aluminio intercambiable, contenido de nitrógeno inorgánico (NH₄⁺ y NO₃⁻), fósforo disponible, potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables, azufre disponible, microelementos catiónicos (Fe, Zn, Cu, Mn), fracciones de la materia orgánica del suelo, respiración basal y carbono de la biomasa microbiana. También se calcularon el índice de separabilidad de partículas, los índices de humificación y los coeficientes metabólicos. Los métodos utilizados se señalan en el cuadro II-1. El manejo agronómico del cultivo de duraznero en el ciclo evaluado se describe en Lozano *et al.* (2013).

II. Efecto de la pedregosidad superficial y la pendiente sobre las propiedades hidrológicas del suelo

Se realizó un estudio atendiendo a un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (4 x 4 x 2), con cuatro rangos de pendiente, cuatro rangos de pedregosidad superficial y dos repeticiones. Previo al estudio se realizó la caracterización de los rangos de pedregosidad y pendiente representativos, con la metodología que se describe en el Cuadro II-1. Los rangos representativos de pendiente fueron: <24, 24 – 36, 36 – 48 y >48 %; y los de pedregosidad: <14, 14 – 28, 28 – 42 y >42%.

Se tomaron muestras disturbadas para determinar a nivel de laboratorio: distribución de tamaño de partículas de la fracción fina (<2 mm), estabilidad estructural al humedecimiento y al impacto de gotas, contenido de materia orgánica, retención de agua de la fracción fina del suelo. En campo se determinó: densidad aparente por el método del hoyo, proporción de fragmentos gruesos (peso y volumen), infiltración y escorrentía con lluvia simulada. También se calculó la densidad aparente de la fracción fina y de la fracción gruesa, por los métodos descritos en el Cuadro II-1.

III. Opciones de manejo de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero

Se instaló un ensayo de campo en un área aproximada de 1000 m² bajo un diseño de bloques al azar con dos (2) tipos de fertilización: balanceada (orgánica + inorgánica) e inorgánica, y dos (2) tipos de control de plagas y enfermedades: manejo integrado y control químico, en siete (7) repeticiones (bloques). La combinación de tipos de fertilización y de control de plagas y enfermedades produjo cuatro (4) tratamientos: **FI+CQ**: Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ**: Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI**: Fertilización inorgánica y manejo integrado; y **FB+MI**: Fertilización balanceada y manejo integrado.

Cuadro II-1. Métodos usados para la evaluación de las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo en los ensayos ubicados en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua (continuación).

Parámetro	Método (Referencia)
pH	Medición potenciométrica en relación suelo:agua 1:1 (UCV, 1993).
Acidez total	Extracción con KCl y titulación (UCV, 1993).
Aluminio intercambiable	Extracción con KCl y titulación (Coleman y Thomas, 1967).
Conductividad eléctrica	Medición conductométrica en relación suelo:agua 1:5 (UCV, 1993).
Capacidad de intercambio catiónico	Método de Acetato de amonio 1 M, pH 7 (Chapman, 1965).
Bases cambiables (Ca, Mg, K y Na)	Extracción con Acetato de amonio 1 M, pH 7 molar y neutro y detección por absorción atómica (Jackson, 1964).
Carbono orgánico total	Método de Walkley y Black de combustión húmeda sin calentamiento y detección colorimétrica (Heanes, 1984).
Nitrógeno orgánico total	Digestión sulfuro-peróxica y destilación en microkjeldahl (Bremner, 1965).
Nitrógeno inorgánico (NH ₄ ⁺ y NO ₃ ⁻)	Extracción con KCl 2 M y destilación en microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993).
Fósforo disponible	Método Olsen y detectado por el método colorimétrico del molibdato-ácido ascórbico (Gilabert <i>et al.</i> 1990).
Azufre disponible	Extracción con fosfato de calcio y detección turbidimétrica con sulfato de bario (Tabatabai y Bremner, 1972).
Microelementos catiónicos (Fe, Cu, Zn y Mn)	Extraídos con Mehlich 1 y detección por absorción atómica (UCV, 1993).
Respiración basal	Medición del CO ₂ emitido por el suelo en 24 h con trampas de álcali a nivel de laboratorio, en muestras de suelo libre de raíces con 7 días de pre incubación (Anderson, 1982).
Respiración edáfica	Medición del CO ₂ emitido por el suelo en 24 h con trampas de álcali a nivel de campo (Machado, 1978).
Carbono de la biomasa microbiana	Método de fumigación – extracción (Jenkinson y Powlson, 1976).
Fraccionamiento de las sustancias húmicas: carbono extraíble total (CET), carbono en ácidos húmicos (CAH), carbono en ácidos fúlvicos (CAF), carbono en las sustancia no húmicas (CSNH) e índices de humificación	Extracción en álcali y separación por solubilidad a pH diferencial (Schnitzer y Schuppli, 1989; Sequi <i>et al.</i> , 1986; Ciavatta y Govi, 1993).
Fraccionamiento físico de la MOS: Fracción ligera (FL) y fracción pesada (FP)	Separación física con agua destilada (Hernández-Hernández y López-Hernández, 1998).
C y N en FL y FP	Oxidación húmeda y microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993).
Carbono hidrosoluble (CHS)	Separación con agua por 30' a 30°C y filtrado en membrana de nitrato celulosa de 45 mm (Haynes y Francis, 1993).
C y N en la biomasa microbiana	Método de fumigación-extracción (Sparling y West, 1988).
Estado nutricional del cultivo	Las muestras de tejido vegetal secadas en estufa a 70°C por 48 horas. Se sometieron a digestión húmeda con ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) y agua oxigenada (H ₂ O ₂) y se determinaron los nutrientes totales (UCV, 1993).

Se usó una planta de duraznero como unidad experimental (36 m^2), y cada bloque tenía cuatro plantas, una por cada tratamiento (28 plantas en todo el ensayo). Las plantas estaban sembradas a 6 m entre plantas e hileras, con una población aproximada de $277 \text{ plantas ha}^{-1}$. La distribución de los tratamientos en el campo se presenta en la Figura II-1. Se realizaron dos muestreos de suelo: i) la caracterización inicial antes de la aplicación de los tratamientos de manejo, y ii) en la época de fructificación del duraznero, con fines de seguimiento del cambio en las propiedades del suelo por efecto de los tratamientos. Las profundidades de muestreo fueron: 0 – 5, 5 a 20 y 20 a 40 cm. En cada unidad experimental (UE) se tomó una muestra de suelo compuesta de seis submuestras cada una, por cada profundidad y época ($28 \text{ UE} \times 2 \text{ épocas} \times 3 \text{ profundidades} = 168 \text{ muestras}$).

En las muestras de suelo colectadas se determinó: distribución de tamaño de partículas (incluyendo esqueleto grueso), pH y conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico total (COT), nitrógeno orgánico total (NOT), aluminio intercambiable, nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-), fósforo disponible (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) intercambiables, fracciones de la materia orgánica del suelo, respiración edáfica, mineralización de CO, carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana y se calcularon las relaciones nutricionales entre elementos y los índices de humificación. Para conocer la composición del abono orgánico utilizado por el productor como parte de la fertilización para el duraznero, se tomaron tres (3) muestras compuestas del denominado “cama de pollo”, el cual tuvo la siguiente composición: pH (relación 1:3) = 7,9; conductividad eléctrica (relación 1:3,) = $11,86 \text{ dS m}^{-1}$; materia orgánica = 37,44 %; carbono orgánico = 21,72 %; nitrógeno total = 2,78 %; fósforo total (P_2O_5) = 5,01 %; potasio total (K_2O) = 3,73 %; relación C:N = 7,77; magnesio (MgO) = 1,39 %; calcio (CaO) = 8,12 %; hierro (Fe) = 0,19 %; manganeso (Mn) = 0,03 %; cobre (Cu) = 0,02 % y zinc (Zn) = 0,03 % (Lozano *et al.*, 2013).

Manejo del ensayo

A principios del año 2010 se realizó la selección del sitio, demarcación y muestreo del suelo para la caracterización inicial de las parcelas experimentales. Después de la cosecha del ciclo 2010 – 2011, se realizó la defoliación de la plantación con clorato de sodio al 5% y posteriormente se realizó la poda. Para el control de malezas se aplicó un herbicida sistémico no selectivo (Glyphosate), en dosis de 2 L ha^{-1} en el área de proyección de la copa. Dos meses después de la poda se aplicaron los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades para el ciclo 2011 – 2012. Las diferentes opciones de manejo de la fertilización y control de plagas y enfermedades se detallan a continuación:

La **Fertilización Inorgánica (FI)** consistió en la aplicación de urea (140 kg ha^{-1}), fertilizante complejo 12-12-17/2 (400 kg ha^{-1}) y una semana después de la primera aplicación, se aplicó sulfato de potasio (70 kg ha^{-1}).

La **Fertilización Balanceada (FB)** consistió en la aplicación de cama de pollo (1400 kg ha^{-1}), urea (140 kg ha^{-1}), fertilizante 12-12-17/2 (280 kg ha^{-1}) y sulfato de potasio (40 kg ha^{-1}). Toda la fertilización se aplicó al mismo tiempo.

En el **Control Químico (CQ)**, desde el comienzo de la floración se realizaron aplicaciones de diferentes productos químicos, al comienzo para el control de insectos plagas y posteriormente por la incidencia de enfermedades foliares. Se realizaron aplicaciones semanales por seis semanas de Profenofos (Curacron ®) $0,6 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ + Mancozeb (Dithane ®) 8 kg i.a ha^{-1} . Para el control de *Oidium leucoconium*, semanalmente por dos semanas se aplicó una mezcla de Urea 5 kg ha^{-1} + Flusilazol (Punch ®) $0,2 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ + Mancozeb (Dithane ®) 2 kg i.a ha^{-1} ; luego se aplicó semanalmente por un periodo de dos semanas Mancozeb (Dithane ®) 4 kg i.a ha^{-1} + Profenofos (Curacron ®) $0,6 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ + Endosulfuran (Thionil ®) $2,8 \text{ kg i.a ha}^{-1}$. Posteriormente, se realizaron dos aplicaciones semanales de la mezcla Flusilazol (Punch ®) $0,4 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ + Mancozeb (Dithane ®) 4 kg i.a ha^{-1} + Urea 10 kg ha^{-1} . Por 15 días se realizaron dos aplicaciones de la mezcla Mancozeb (Dithane ®) 4 kg i.a ha^{-1} + Profenofos (Curacron ®) $0,6 \text{ kg i.a ha}^{-1}$. Finalmente para el control de *Monilia cinerea* se realizaron aplicaciones semanales de Carbendazin (Bavistin ®) 1 kg i.a ha^{-1} , por cuatro semana.

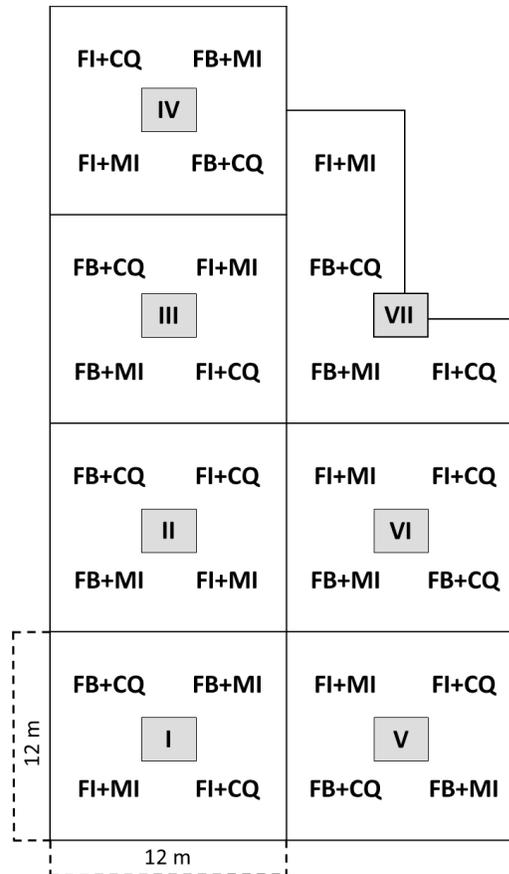


Figura II-1. Distribución de los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero (*Prunus persicae* (L.) Batsch), en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de La Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Los bloques se identifican del I al VII.

Para el **Manejo Integrado (MI)**, después de la defoliación, se realizaron aplicaciones semanales de *Beauveria bassiana* para el control de insectos plagas ($300 \text{ g esporas ha}^{-1}$) por un mes, luego aplicaciones semanales por dos meses de *Trichoderma harzianum* para el control de hongos del suelo y foliares ($300 \text{ g esporas ha}^{-1}$), luego las aplicaciones se realizaron cada 15 días por dos meses. Para el control de *Oidium leucoconium* se aplicó semanalmente una mezcla de Urea 5 kg ha^{-1} + Flusilazol (Punch®) $0.2 \text{ kg i.a ha}^{-1}$ + Mancozeb (Dithane®) 2 kg i.a ha^{-1} , por dos semanas. Cuatro meses después de la defoliación, se produjo un fuerte ataque a toda la plantación de *Monilia cinerea*, para lo cual se realizaron aplicaciones semanales de Carbendazin (Bavistin®) 1 kg i.a ha^{-1} por un mes. Los controladores biológicos aplicados fueron producidos por el Laboratorio Expertabiol, ubicado en la estación Experimental Experta (Facultad de Agronomía - UCV).

Análisis de estadísticos

Los resultados obtenidos los tres ensayos se sometieron a un análisis exploratorio descriptivo, con el programa Statistix 8.0 para Windows: la comprobación de los supuestos estadísticos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Barlett), y la detección y eliminación de valores anómalos, a través de la metodología de Tukey. Con el programa SPSS versión 11.0 se realizó el análisis de varianza y se determinó la diferencia de medias entre zonas y tratamientos. El grado de asociación entre las variables evaluadas se calculó con el coeficiente de Pearson (paramétrico) para las variables que cumplieron con los supuestos estadísticos y la de Spearman (no paramétrico) para aquellas variables que no cumplieron con los supuestos.

Evaluación de los sistemas de manejo propuestos

I. Efecto del uso sobre la fertilidad integral del suelo

En el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, Lozano *et al.* (2013) evaluaron el cambio en la fertilidad del suelo luego de 13 años bajo cultivo de duraznero (IN), en comparación con la vegetación natural (NA). Los resultados de las características biológicas, químicas y físicas evaluadas en ambos tipos de utilización se presentan en el Cuadro II-2.

Los resultados indican que los suelos bajo ambos usos tienen una textura similar, con predominio de la fracción arena y un bajo contenido de arcilla, bajos valores de densidad aparente (D_a) y cohesión en seco (CS) y altos en porosidad total (Pt), lo que indica buenas condiciones físicas. Sin embargo, presentaba susceptibilidad a la degradación superficial de la estructura (bajo índice de separabilidad de partículas), lo cual sumado a las altas pendientes en la zona, sugiere riesgos de escorrentía, pérdidas de suelo y nutrientes por erosión, mitigados actualmente en parte, por los altos contenidos de materia orgánica. Los valores obtenidos en ambos tipos de utilización (IN y NA) fueron muy similares para todas las propiedades físicas evaluadas, sin diferencias estadísticas significativas entre ambos. El suelo presenta una muy baja fertilidad natural, evidenciado en su reacción (pH) fuertemente ácida, baja capacidad de retención de nutrientes (CIC), bajo contenido de macronutrientes disponibles (excepto S) y alto de micronutrientes (excepto Mn), a pesar del alto contenido de materia orgánica (MO). La respiración basal también presentó valores bajos.

Con relación al efecto del cambio de uso del suelo de NA a IN, se aprecia que la mayoría de las propiedades presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Las propiedades químicas no se vieron afectadas desfavorablemente por el uso bajo duraznero durante 13 años. Su incorporación a la agricultura, mejoró los contenidos de algunos nutrientes, aunque la mayoría de ellos todavía permanece a niveles considerados como bajos. Los abonos y fertilizantes aplicados al cultivo (fertilizantes solubles y cama de pollo) por su efecto sobre el pH y por el aporte de nutrientes, así como algunos productos químicos aplicados contra los competidores bióticos, fueron las prácticas a las cuales se les pudo atribuir las diferencias entre los dos tipos de uso considerados. Algunas de las deficiencias detectadas en el suelo como las de K, Ca y Mg no se reflejaron en el cultivo; mientras que otros elementos como Mn y Zn fueron deficientes en el cultivo, aunque se encontraban a niveles adecuados en el suelo y/o se aplicaron con los agroquímicos utilizados en el manejo del cultivo (Lozano *et al.*, 2012).

II. Efecto de la pedregosidad y la pendiente sobre las propiedades hidrológicas del suelo

La cobertura de fragmentos de roca influye de manera determinante sobre la infiltración y escorrentía del agua, la erosión y la labranza del suelo, está relacionada con el relieve y su representación cartográfica es fundamental para apoyar la planificación de usos sostenibles de la tierra (Viloria *et al.*, 2012). En el trabajo de Lobo *et al.* (2013), se discute el efecto de la pedregosidad superficial y la pendiente sobre la infiltración, las pérdidas de agua por escorrentía y pérdidas de suelo por erosión hídrica, en un suelo de la Colonia Tovar, estado Aragua, bajo cultivo de duraznero.

El suelo evaluado presentó una textura franco arenosa con predominio de la fracción arena y bajo contenido de arcilla (Cuadro II-3). Es importante destacar la alta proporción de partículas de alta separabilidad (limo + arena muy fina + arena fina), le confieren al suelo una baja estabilidad estructural y alta separabilidad, favoreciendo la formación de sellado superficial (Poesen, 1986). Los valores de D_a indicaron que para la clase textural del suelo, éste no presentó riesgo a la degradación por compactación.

La pedregosidad superficial no tuvo efectos sobre la infiltración, la pérdida de suelos, ni la escorrentía superficial (Figura II-2). Tal respuesta se atribuyó a las diferencias en la proporción de fragmentos de roca presentes en el volumen de suelo. Algunos estudios sugieren que los fragmentos de roca pueden tener efectos ambivalentes sobre la tasa de infiltración y la escorrentía, dependiendo de varios factores tales como: tamaño de los fragmentos de roca, su posición (en la superficie, parcialmente sumergidos y totalmente sumergidos) y el porcentaje de cobertura (Poesen y Lavee, 1994; Cousin *et al.*, 2003).

Cuadro II-2. Características físicas, químicas y biológicas relacionadas con la fertilidad del suelo evaluado ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

Tamaño de partícula	Tipos de utilización	
	Natural (NA)	Intervenido (IN)
Arcilla (< 2 μm , %)	5,75	5,75
Limo (2 - 50 μm , %)	30,75	40,5
Arena total (50 - 2000 μm , %)	63,50	53,75
Índice de Separabilidad de partículas	0,08	0,08
Clase textural	Franco arenoso	Franco arenoso
Densidad aparente ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	1,31 a ¹⁾	1,29 a
Conductividad hidráulica saturada ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)	7,20 a	7,70 a
Porosidad total (% p.p ⁻¹)	46,83 a	48,92 a
Poros de radio >15 μm (% p.p ⁻¹)	14,05 a	10,64 a
Poros de radio <15 μm (% p.p ⁻¹)	32,79 a	38,28 a
Cohesión en seco (kPa)	25,96 a	27,87 a
Humedad retenida a -33 kPa (%)	30,78 a	29,96 a
Respiración basal ($\mu\text{g C-CO}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{ suelo}\cdot 10\text{ d}^{-1}$)	75,55 b ¹⁾	92,50 a
pH (relación 1:1)	4,65 b	5,18 a
Aluminio intercambiable ($\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$)	0,78 a	0,23 b
Conductividad eléctrica (relación 1:2, $\mu\text{S cm}^{-1}$)	22,96 b	130,54 a
Capacidad de Intercambio Catiónico ($\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$)	3,03 b	6,43 a
Materia orgánica (%)	4,84 b	5,88 a
Nitrógeno total (%)	0,16 b	0,27 a
Nitrógeno inorgánico ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	36,25 b	58,74 a
Fósforo disponible (mg kg^{-1})	2,18 b	32,46 a
Azufre disponible (mg kg^{-1})	26,50 b	59,71 a
Potasio intercambiable (mg kg^{-1})	6,33 b	20,18 a
Calcio intercambiable (mg kg^{-1})	19,03 b	38,98 a
Magnesio intercambiable (mg kg^{-1})	2,88 b	8,58 a
Sodio intercambiable (mg kg^{-1})	2,38 b	3,40 a
Hierro disponible (mg kg^{-1})	32,30 a	32,40 a
Cobre disponible (mg kg^{-1})	2,40 a	1,70 a
Manganeso disponible (mg kg^{-1})	4,30 b	16,20 a
Zinc disponible (mg kg^{-1})	6,40 a	9,00 a

Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre usos. **Fuente:** adaptado de Lozano *et al.* (2012).

Cuadro II-3. Distribución de tamaño de partícula de la fracción fina del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

Rango de pendiente (%)	Rango de Pedregosidad (%)	Tamaño de partícula (μm)						Densidad aparente (Mg m^{-3})	Clase textural	
		<2	2-50	50-100	100-250	250-500	500-1000			1000-2000
<24	<14	7,6	30,4	29,2	11,4	10,9	6,0	4,6	1,57	Fa
	14-28	9,0	22,0	35,0	15,8	10,7	4,6	2,9	1,23	Fa
	28-42	8,9	27,3	31,7	10,4	10,8	6,1	4,8	1,62	Fa
	>42	6,0	26,0	18,1	24,5	10,3	8,5	6,7	1,47	Fa
24-36	<14	8,4	24,6	34,3	17,2	8,5	4,3	2,8	1,37	Fa
	14-28	6,7	26,2	24,7	15,7	12,1	9,1	5,5	1,64	Fa
	28-42	6,8	25,4	32,0	14,5	9,1	6,5	5,7	1,36	Fa
	>42	8,6	28,2	32,7	11,5	10,4	6,1	2,5	1,44	Fa
36-48	<14	9,9	26,3	30,6	12,7	8,9	6,2	5,4	1,59	Fa
	14-28	7,6	28,4	24,4	12,9	11,0	8,7	7,0	1,64	Fa
	28-42	4,8	25,2	30,1	13,7	11,2	8,6	6,5	1,32	Fa
	>42	7,3	26,0	28,6	11,1	9,5	9,9	7,6	1,42	Fa
>48	<14	5,1	27,4	7,3	18,4	30,6	7,6	3,5	1,53	Fa
	14-28	5,1	21,9	36,1	14,8	11,6	7,2	3,3	1,40	Fa
	28-42	6,5	27,4	35,0	11,3	10,4	6,0	3,6	1,65	Fa
	>42	10,7	32,7	28,5	11,5	8,3	5,5	2,8	1,49	Fa

Fuente: adaptado de Lobo *et al.* (2013).

El efecto del gradiente de la pendiente sobre la infiltración no fue significativo (Figura II-3a), pero el valor más bajo de infiltración se encontró en pendientes superiores al 48%. Con respecto a la pérdida de suelo se generaron dos grupos (Figura II-3b), las mayores pérdidas se produjeron en los rangos de pendiente <24% y 36-48% con valores superiores a 500 g m^{-3} ; mientras que en los otros rangos de pendiente (24-36% y >48%) las pérdidas fueron inferiores a 250 g m^{-3} . La escorrentía siguió la misma tendencia que las pérdidas de suelo (Figura II-3c), es decir, las clases de pendiente donde hubo más escorrentía también hubo más pérdidas de suelo. En este sentido, Liu *et al.* (2001) estudiaron mediante el uso de la teoría ondulatoria de la cinemática, las leyes de los factores que afectan la erosión del suelo, que varían con el gradiente de la pendiente. Descubrieron que el gradiente de pendiente crítico para la erosión del suelo depende de la textura, la densidad aparente del suelo, la rugosidad de la superficie, el tiempo para iniciar la escorrentía, el exceso de lluvia neta y el coeficiente de fricción del suelo.

Algunos estudios han conseguido relaciones negativas entre la pedregosidad superficial y las pérdidas de suelo (Agassi y Levy, 1991; Cerda, 2001), y entre los fragmentos incrustados en el volumen del suelo y la pérdida de suelo (Rieke-Zapp *et al.*, 2007); pero también se han conseguido relaciones positivas (Poesen e Ingelmo-Sanchez, 1992). Lobo *et al.* (2013) encontraron una asociación positiva entre la escorrentía superficial y la pérdida de suelo ($r = 0.857$, $p < 0,001$), mientras que la infiltración mostró una asociación negativa con la escorrentía superficial ($r = -0.562$, $p < 0,01$) y con la pérdida de suelo ($r = -0.445$, $p < 0,05$).

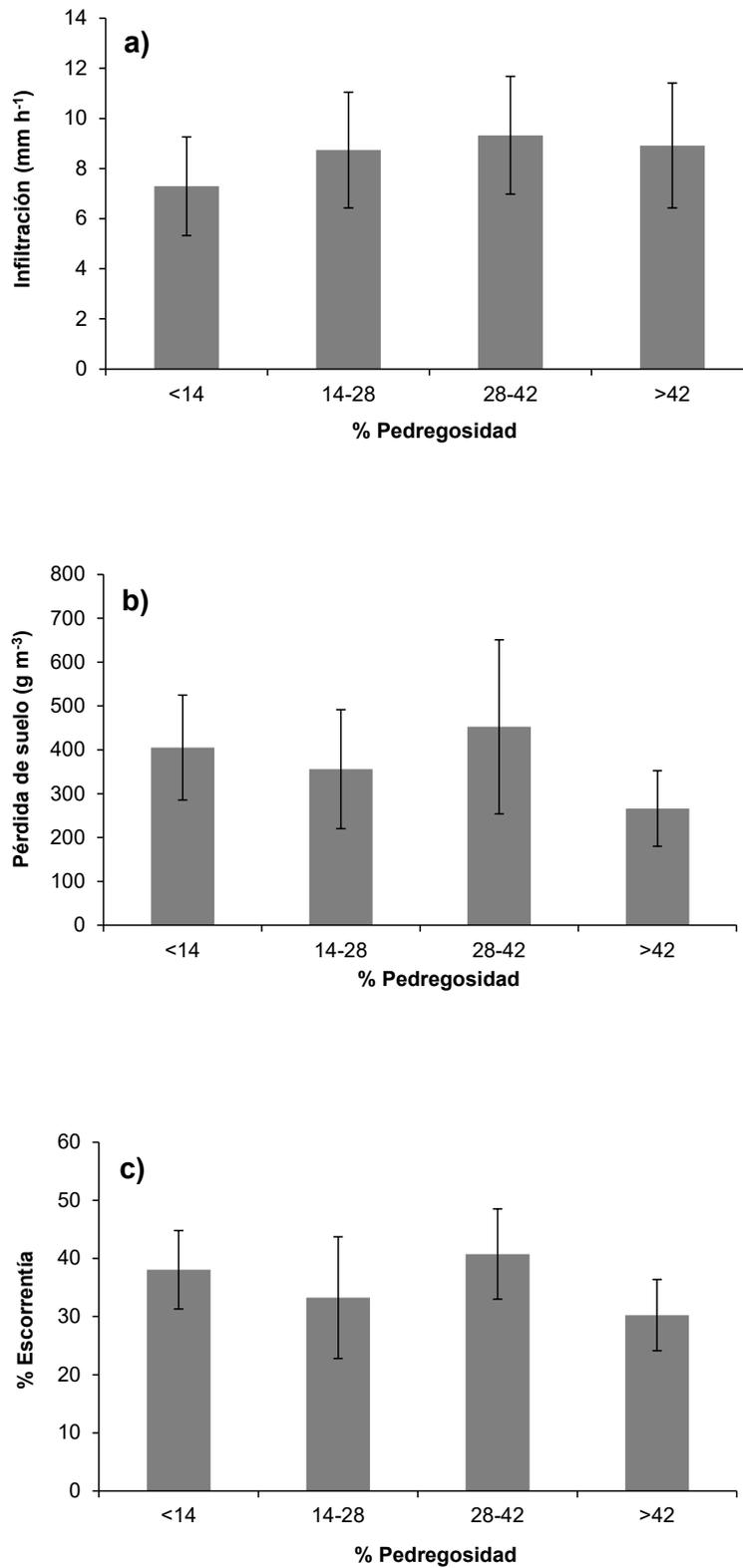


Figura II-2. Efecto de la pedregosidad sobre: a) infiltración, b) pérdidas de suelo y c) escorrentía en suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **Fuente:** adaptado de Lobo *et al.* (2013).

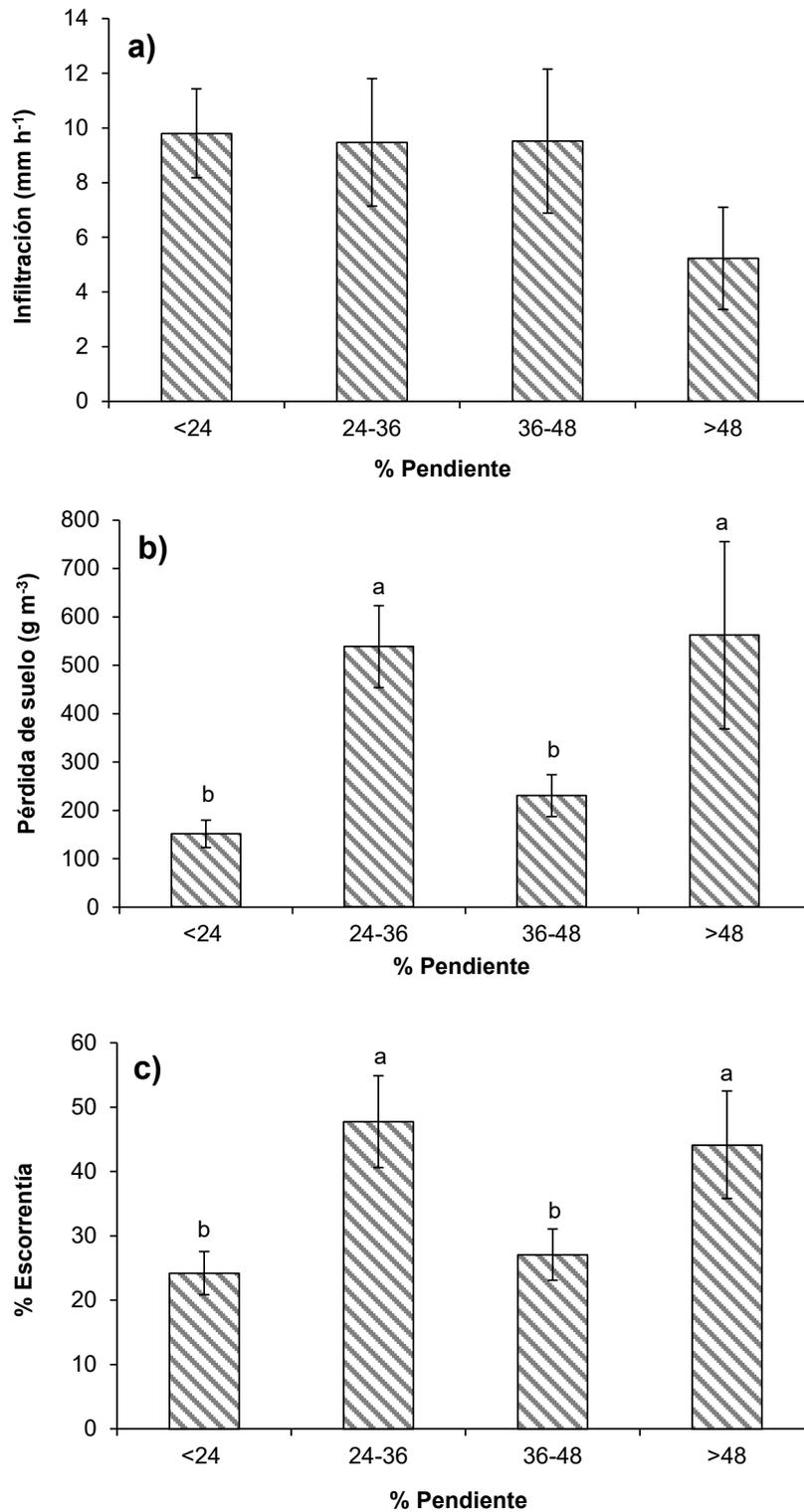


Figura II-3. Efecto de la pendiente sobre: a) infiltración, b) pérdidas de suelo y c) escorrentía en suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **Fuente:** adaptado de Lobo *et al.* (2013).

III. Opciones de manejo de la fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero

Caracterización inicial: en el Cuadro II-4, se presentan las propiedades físicas y químicas del suelo antes del establecimiento de los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero.

En las **propiedades físicas** se evidencia el bajo contenido de arcilla a nivel superficial con incrementos a medida que se profundiza en el perfil, así como el predominio de la fracción arena, principalmente las arenas muy finas. El suelo clasifica como franco arenoso (Fa) en todas las capas evaluadas (0 a 5, 5 a 20 y 20 a 40 cm).

Cuadro II-4. Caracterización inicial (n = 28) del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

	Propiedad del suelo	Profundidad (cm)		
		0 - 5	5 - 20	20 - 40
Tamaño de partícula	Arcilla (< 2 µm, %)	7,3 ±2,3	15,5 ±4,3	18,1 ±6,1
	Limo (2 - 50 µm, %)	26,5 ±3,5	27,7 ±3,3	23,8 ±4,8
	Arena total (50 - 2000 µm, %)	66,2 ±5,1	56,8 ± 5,2	58,1 ±9,2
	- Arena muy fina (50 - 100 µm, %)	28,9 ±6,9	21,6 ± 4,3	24,2 ±14,5
	- Arena fina (100 - 250 µm, %)	14,0 ±3,3	13,1 ±2,1	13,4 ±3,4
	- Arena media (250 - 500 µm, %)	11,1 ±4,2	9,9 ±2,0	8,5 ±2,2
	- Arena gruesa (500 - 1000 µm, %)	7,2 ±2,0	6,3 ±2,0	6,6 ±3,4
	- Arena muy gruesa (1000 - 2000 µm, %)	5,0 ±1,9	5,5 ±1,9	5,3 ±2,4
	Esqueleto grueso (> 2000 µm, %)	24,2 ±12,1	25,6 ±12,3	23,8 ±12,5
Clase textural	Fa	Fa	Fa	
pH (relación 1:1)	4,71 ±0,23	4,37 ±0,23	4,27 ±0,20	
Conductividad eléctrica (relación 1:2, dS m ⁻¹)	0,45 ±0,30	0,18 ±0,05	0,18 ±0,11	
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol ₊ kg ⁻¹)	16,83 ±3,39	14,19 ±2,90	11,69 ±2,71	
Carbono orgánico total (%)	4,04 ±0,38	3,06 ±0,51	2,53 ±0,54	
Nitrógeno orgánico total (%)	0,22 ±0,04	0,15 ±0,03	0,16 ±0,07	
Nitrógeno nítrico, NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	15,03 ±5,60	10,19 ±4,34	9,62 ±5,35	
Nitrógeno amoniacal, NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	35,96 ±9,46	33,30 ±10,31	30,34 ±9,85	
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	118 ±26	79 ±28	46 ±25	
Potasio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,93 ±0,32	0,51 ±0,20	0,35 ±0,14	
Calcio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	3,59 ±1,79	2,55 ±1,56	1,73 ±1,19	
Magnesio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	1,81 ±0,91	0,87 ±0,49	1,12 ±0,76	
Sodio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,43 ±0,19	0,51 ±0,29	0,42 ±0,21	
Relación C:N	19,3 ±4,3	20,6 ±4,9	18,4 ±8,9	
Relación Ca:Mg	2,5 ±1,0	3,1 ±1,7	2,2 ±1,5	
Relación Mg:K	2,3 ±1,2	1,9 ±0,7	3,5 ±2,4	
Relación Ca:K	4,3 ±2,2	5,1 ±2,4	4,9 ±2,8	
Relación (Ca+Mg):K	5,9 ±2,8	6,8 ±2,8	7,6 ±3,8	

Fuente: adaptado de Rodríguez (2011); Lozano *et al.* (2012).

A pesar de su textura gruesa, la alta proporción a nivel superficial de partículas laminares como limo, arena fina y muy fina (>60%), le confiere al suelo susceptibilidad al deterioro estructural tipo sello, lo que limitaría la penetración de agua, aumentando los riesgos de erosión. Es importante destacar además, la alta proporción (alrededor de 25%) de partículas mayores de 2 mm (esqueleto grueso) en las tres profundidades consideradas, lo que pudiera afectar las labores de preparación del terreno de forma mecánica.

Las **propiedades químicas** fueron similares a las señaladas por López *et al.* (2004) para otros suelos del municipio Tovar (estado Aragua). Al comparar los valores obtenidos con los niveles críticos señalados por (Salinas y García, 1985), se destaca que la reacción del suelo es fuertemente ácida a todas las profundidades, sin problemas de sales, con una capacidad de retención de nutrientes media, evidenciada en una capacidad de intercambio catiónico entre 11,69 y 16,83 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$ a pesar de su textura gruesa, lo que pudiera atribuirse a los altos contenidos de materia orgánica en las tres capas de suelo consideradas.

Los contenidos de NOT fueron medios en la capa superficial y bajo por debajo de los 5 cm, mientras que del N inorgánico, los contenidos de NH_4^+ fueron el doble de los de NO_3^- , este último a niveles bajos. Por su parte, los contenidos de P y K presentaron valores altos a todas las profundidades, lo que se atribuye a las constantes aplicaciones de fertilizantes al cultivo. De las bases intercambiables, el Ca presentó valores medios en todas las capas y el Mg valores medios en la capa superficial y bajos en las capas más profundas, sin problemas por Na intercambiable a ninguna profundidad.

Las relaciones nutricionales entre los elementos (C:N, Ca:Mg, Mg:K, Ca:K y Ca+Mg:K), se usan para identificar posibles deficiencias o desbalances nutricionales. Los valores de la relación C/N fueron superiores a los niveles ideales señalados por Medina (1989) a todas las profundidades, a pesar de las aplicaciones periódicas de abonos orgánicos al cultivo (cama de pollo). Las relaciones Ca:Mg, Mg:K, Ca:K y (Ca+Mg):K en las tres profundidades se encuentran cercanas a los niveles considerados como ideales. Los valores bajos de la relación Mg:K en las dos primeras capas (cerca del nivel crítico), pudiera provocar deficiencias de Mg si se hacen aplicaciones excesivas de K al suelo.

Fraciones de la MOS: la distribución de las fracciones de la materia orgánica extraíbles en álcali (sustancias húmicas) se presentan en el Cuadro II-5. En las tres profundidades las sustancias húmicas presentaron la siguiente tendencia $\text{CAH} > \text{CAF} > \text{CSNH}$, todas las fracciones con valores más altos a nivel superficial y disminuyendo con la profundidad. El CAF representa alrededor del 24 al 30%, el CAH entre 19 y 37 % y el CSNH alrededor del 11% del CET. Algunos autores señalan que de las sustancias húmicas la fracción más sensible a los factores agronómicos y ambientales son los ácidos fúlvicos, por tener menor peso molecular y más contenido de oxígeno (más polar y más móvil) que los ácidos húmicos (Fortun *et al.*, 1990), por lo que las sustancias húmicas de este suelo serían muy susceptibles al manejo.

Una forma de evaluar el cambio en las sustancias húmicas del suelo es a través de los parámetros de humificación propuestos por Ciavatta *et al.* (1990), los cuales se presentan en el mismo cuadro. El IH presentó, a las tres profundidades, valores dentro del rango de 0 – 0,5 señalado por Sequi *et al.* (1986) para suelos italianos y muy cercano al rango de 0,11 – 0,29 señalado por Ruiz y Paolini (2005) para suelos venezolanos.

En el GH los valores estuvieron cercanos al 60%, señalado por Ciavatta *et al.*, (1990) y Ciavatta y Govi (1993) para suelos italianos y comunes en materiales humificados como los suelos. En este caso los valores de GH presentaron una relación inversa al IH. De estos resultados obtenidos se puede apreciar que el suelo evaluado a las diferentes profundidades presentaron un GH cercano de 48 a 68%, lo que indica que gran parte de los compuestos solubles en álcali son sustancias humificadas (CAH + CHF).

La RH del suelo refleja que entre 44 y 50 % del COT está compuesto por sustancias humificadas. Por otro lado, la relación CET:COT indica que la proporción del COT que puede ser extraída con soluciones

alcalinas representa entre 71 y 93 %, considerado como un buen porcentaje de extracción, similar a lo señalado para otros suelos venezolanos (Ruiz y Paolini, 2005; Pulido *et al.*, 2010; Lozano *et al.*, 2011). Otra relación importante para evaluar el grado de humificación es CAH:CET, que indica la proporción de ácidos húmicos en las sustancias extraíbles en álcali. Los mayores valores se presentaron en la capa superficial.

La relación CAH:CAF es usada como índice que describe la intensidad de los procesos de humificación y permite la evaluación de la calidad de la MOS, la cual varía de un suelo a otro y usualmente disminuye con la profundidad del suelo (McCallister y Chien, 2000). En el cuadro II-6 se aprecia que en las dos primeras capas los ácidos húmicos son mayores a los ácidos fúlvicos, pero en la última capa se revierte la relación. Lorenz *et al.* (2007), señala que altas relaciones CAH:CAF indican que la MOS es de más difícil descomposición. El aumento de esta relación indica que la humificación y estabilización de la MOS predomina frente a la mineralización por estimulación microbiana (Chafetz *et al.*, 1998).

La relación de CAH:CAF debe aumentar a lo largo del proceso de humificación o estabilización (Pascual *et al.*, 1997). El aumento de las fracciones humificadas, mejora la calidad del suelo debido a que tienen un efecto benéfico sobre la fertilidad, la estructura de suelos y crecimiento de las plantas.

Para el suelo evaluado la relación CAF:COT fue muy baja, con los menores valores a nivel superficial, aumentando ligeramente con la profundidad. Dell'Abate *et al.* (1998) y Zalba y Quiroga (1999), mencionan que a medida que el valor de la relación CAF:COT es mayor, la materia orgánica del suelo tiene mayor tendencia a presentar compuestos con menor grado de polimerización (compuestos polifenólicos), por lo que tendrían moléculas estructuralmente menos complejas que serán por tanto más susceptibles a degradarse por el manejo; sin embargo, la relación no debe evaluarse en forma aislada, ya que los valores bajos indican la poca proporción de CAF, y es mejor valorarlo junto a otros índices.

Cambio en las propiedades del suelo por efecto de los tratamientos

Propiedades e índices químicos: el efecto de los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades aplicados se evaluó a partir de las variables: carbono orgánico total (COT), fósforo disponible (P-Olsen), nitrógeno orgánico total (NOT), nitrógeno mineral (NO_3^- y NH_4^+), fracciones de la materia orgánica estable, e índices de humificación.

Cuadro II-5. Sustancias húmicas en índices de humificación en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua (n = 28).

Parámetro	Profundidad (cm)		
	0 - 5	5 - 20	20 - 40
Carbono extraíble total (CET, %)	2,71 ±0,11	2,58 ±0,09	2,46 ±0,11
Carbono en ácidos húmicos (CAH, %)	1,01 ±0,04	0,69 ±0,08	0,41 ±0,04
Carbono en ácidos fúlvicos (CAF, %)	0,83 ±0,14	0,67 ±0,07	0,61 ±0,15
Carbono en las sustancias no húmicas (CSNH, %)	0,31 ±0,07	0,25 ±0,06	0,24 ±0,08
Índice de humificación (IH)	0,17 ±0,05	0,19 ±0,06	0,25 ±0,10
Grado de humificación (GH, %)	67,93 ±3,92	52,84 ±4,01	41,14 ±4,08
Relación de humificación (RH, %)	48,54 ±4,71	49,75 ±5,61	44,47 ±3,17
CET/COT	0,71 ±0,05	0,91 ±0,07	0,99 ±0,01
CAH/CET	0,37 ±0,03	0,27 ±0,06	0,17 ±0,03
CAH/CAF	1,25 ±0,13	1,05 ±0,36	0,72 ±0,29
CAF/COT	0,22 ±0,04	0,25 ±0,03	0,26 ±0,05

Fuente: adaptado de Rodríguez (2011); Lozano *et al.* (2012).

En la Figura II-4 se presentan los valores de COT en los diferentes tratamientos a las profundidades evaluadas. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y profundidades pero no hubo interacción tratamientos por profundidad. Los mayores valores se presentaron en la capa superficial para todos los tratamientos, disminuyendo con la profundidad.

Entre tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades sólo se presentaron diferencias estadísticas en las dos primeras capas, las cuales fueron las más afectadas por las prácticas de manejo al cultivo. Contrario a lo esperado en ambas profundidades la tendencia del COT fue $FI+CQ > FI+MI > FB+MI > FB+CQ$; es decir, los menores valores se presentaron en aquellos tratamientos en los cuales se aplicó una mezcla de abono orgánico (cama de pollo) y fertilizante inorgánico. Este resultado se puede atribuir a que la aplicación de ambas fuentes estimuló la actividad microbiana en el suelo y por tanto la descomposición de la MOS tanto la incorporada, como la nativa.

En la Figura II-5 se presentan los valores de P-Olsen para los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, donde se evidencia que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos a las tres profundidades consideradas. Los mayores contenidos de P-Olsen se presentaron a nivel superficial (90 a 135 mg.kg^{-1}) y disminuyeron con la profundidad en todos los tratamientos. La mayoría de los valores fueron altos, con excepción del tratamiento $FB+CQ$ en la última capa. A las tres profundidades consideradas los mayores contenidos de P-Olsen se presentaron en el tratamiento $FI+CQ$ (manejo tradicional), y los menores en los tratamientos en los cuales la fertilización incluyó un componente orgánico ($FB+MI$ y $FB+CQ$), atribuible a la menor disponibilidad del elemento en las fuentes orgánicas.

Los contenidos de NOT se presentan en la Figura II-6 para cada uno de los tratamientos evaluados. Los valores más altos se presentaron a nivel superficial (alrededor de 0,22%), con contenidos entre 0,14 y 0,17 % en la segunda capa y valores alrededor de 0,11% en la capa más profunda. No se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos a ninguna de las profundidades evaluadas, aunque si hubo diferencias estadísticas ($p < 0,05$) con la profundidad en todos los tratamientos evaluados.

La distribución de las formas de nitrógeno inorgánico nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) se presentan en la Figura II-7. Para ninguna de estas dos variables se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados a ninguna de las profundidades consideradas. El amonio presentó contenidos medios entre 22 y 29 mg.kg^{-1} , mientras que en el nitrato los contenidos fueron bajos entre 6 a 8 mg.kg^{-1} . Con relación a los contenidos iniciales, se produjo una disminución en ambas formas de N, posiblemente debido a la absorción por parte del cultivo y en el caso de nitrato, a pérdidas adicionales por lixiviación.

Con relación a las sustancias húmicas solubles en álcali, sólo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la fracción CAF en las dos primeras capas evaluadas (Figura II-8).

Las fracciones químicas de la MOS tuvieron la siguiente tendencia en todos los tratamientos $CAH > CAF > CSNH$ en las dos primeras capas (0 a 5 y 5 a 20 cm), posiblemente afectados por la incorporación de los abonos orgánicos. En la última capa (20 a 40 cm), hubo mayor proporción de CAF. Los valores de CAF fueron mayores en el tratamiento $FI+MI$ (fertilización química y manejo integrado), y los menores en el tratamiento $FB+CQ$ (fertilización balanceada y control químico). Estos resultados confirman lo señalado anteriormente, que la aplicación de abonos orgánicos junto con fertilizantes inorgánicos, estimuló la descomposición de la materia orgánica, aumentando las fracciones más lábiles o susceptibles al manejo ($FI+CQ$ y $FI+MI$).

En el Cuadro II-6 se presentan los resultados de los índices de humificación y relaciones entre las diferentes fracciones. No se produjeron diferencias estadísticas entre tratamientos, con excepción de RH, $CAH:CAF$ y $CAF:COT$ para la capa de 20 a 40 cm. En estas variables si se produjeron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre profundidades y con la interacción tratamiento por profundidad. Algunas como IH y $CET:COT$ aumentaron con la profundidad; mientras que GH, RH, $CAH:CET$ y $CAH:CAF$ disminuyeron con la profundidad. En la relación $CAF:COT$ en las dos primeras capas los valores fueron similares y aumentaron en la capa más profunda. Es posible que este efecto que se observa en la capa más profunda se deba a que el duraznero es un cultivo permanente con raíces profundas.

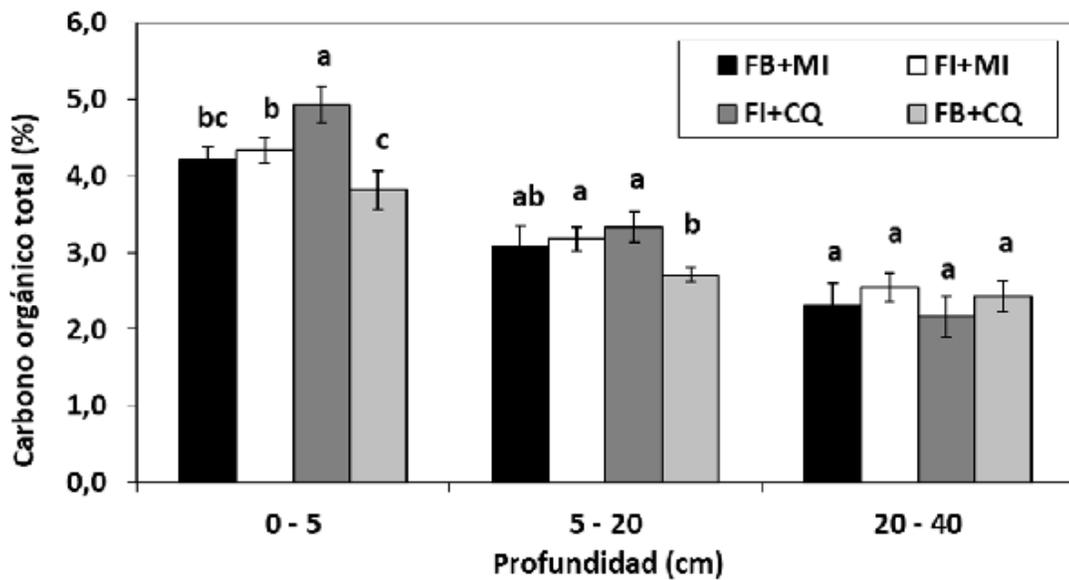


Figura II-4. Distribución en el perfil del carbono orgánico total en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** adaptado de Rodríguez, 2011 y Lozano *et al.* (2012).

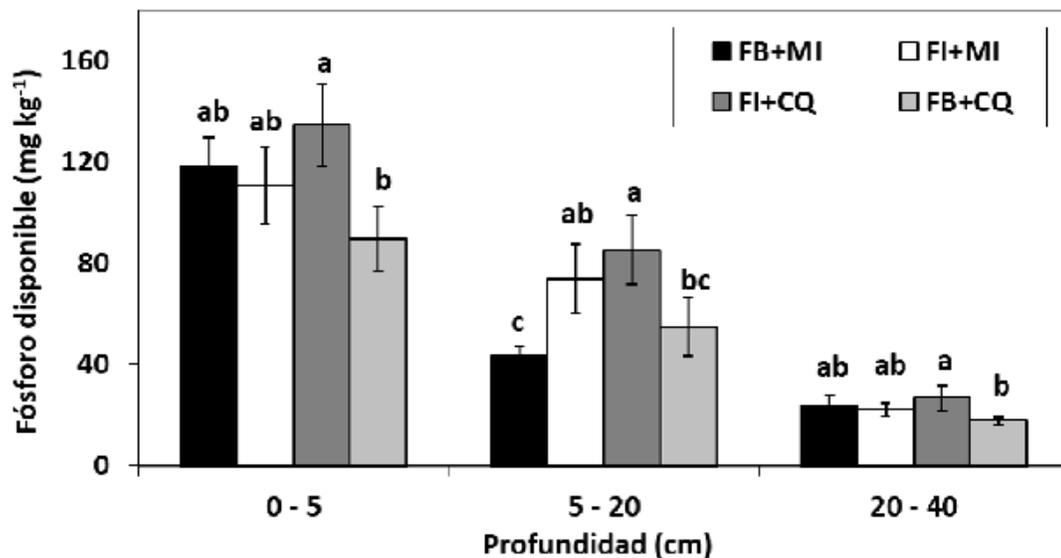


Figura II-5. Distribución en el perfil del Fósforo disponible (P-Olsen) en los tratamientos de fertilización y control de plagas evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** adaptado de Rodríguez (2011) y Lozano *et al.* (2012).

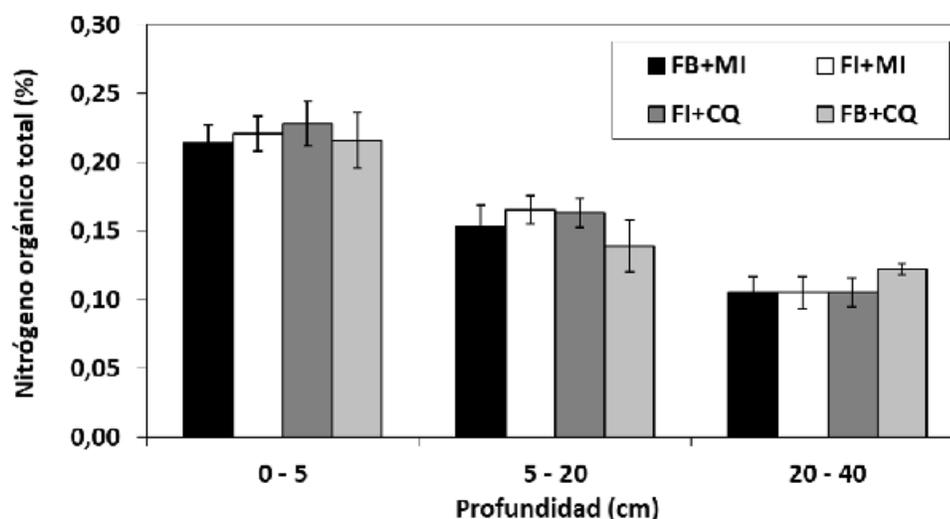


Figura II-6. Distribución en el perfil del Nitrógeno orgánico total en los tratamientos de fertilización y control de plagas evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** adaptado de Rodríguez (2011) y Lozano *et al.* (2012).

Propiedades e índices biológicos y bioquímicos: se midió la respiración edáfica, la mineralización de CO (producción de CO_2 o respiración basal), carbono de la biomasa microbiana (C-BM) y nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BM). Para estas variables se evaluó el cambio entre las condiciones iniciales (T_0) y el final (T_f) del ensayo, y solo se consideraron las dos capas más superficiales. También se evaluó la biodiversidad de hongos micorrízicos y su relación con algunos patógenos del cultivo.

Cuando se determina la respiración edáfica se tiene un estimado de la productividad del sistema, por cuanto mide la mineralización de CO por vía de la respiración de las raíces, de los microorganismos y de la fauna del suelo. Esta actividad biológica del suelo se encuentra muy relacionada con los aportes de MOS al subsistema suelo desde el subsistema planta. La respiración edáfica, como señalan Lozano *et al.* (2013), se vio afectada por el cambio de uso de la tierra de la condición natural al cultivo con duraznero, pero no mostró diferencias estadísticas entre manejos alternativos de fertilización y control de plagas y enfermedades, aunque aumentó ligeramente con relación a las condiciones iniciales en todos los tratamientos (Figura II-9).

Con relación a la mineralización del CO, en la Figura II-10 se evidencia que al inicio (T_0) del ensayo la producción de CO_2 siempre fue menor en los primeros 5 cm del perfil del suelo, con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre FB+CQ y el resto de los tratamientos. Luego de la aplicación de los tratamientos (T_f), la mineralización aumentó en la primera capa de todos los tratamientos, y fue marcada en FB+MI y FI+MI. Los incrementos a este nivel oscilaron entre el 50 y 250%. En la segunda capa no se evidenciaron diferencias entre los tratamientos evaluados, por lo cual no hubo un efecto en la actividad mineralizadora del C por parte de los microorganismos.

A pesar que el tratamiento FB+MI es más agroecológico, los aumentos observados en la actividad biológica del suelo no alcanzaron los valores de respiración basal encontrados en una zona natural (Bosque) cercana de $501,51 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, lo cual puede deberse al poco tiempo desde la aplicación de los sistemas de manejo propuestos, lo que sugiere que mucho del CO respirado provino de la descomposición del abono orgánico añadido en superficie. También, la pérdida de la biodiversidad pudo haber afectado la estructura de la comunidad microbiana y a su funcionamiento, disminuyendo su actividad. La diversidad biológica es esencial para generar compuestos metabólicos en la rizósfera que estimulen una mayor actividad microbiana (Nsabimana *et al.*, 2004).

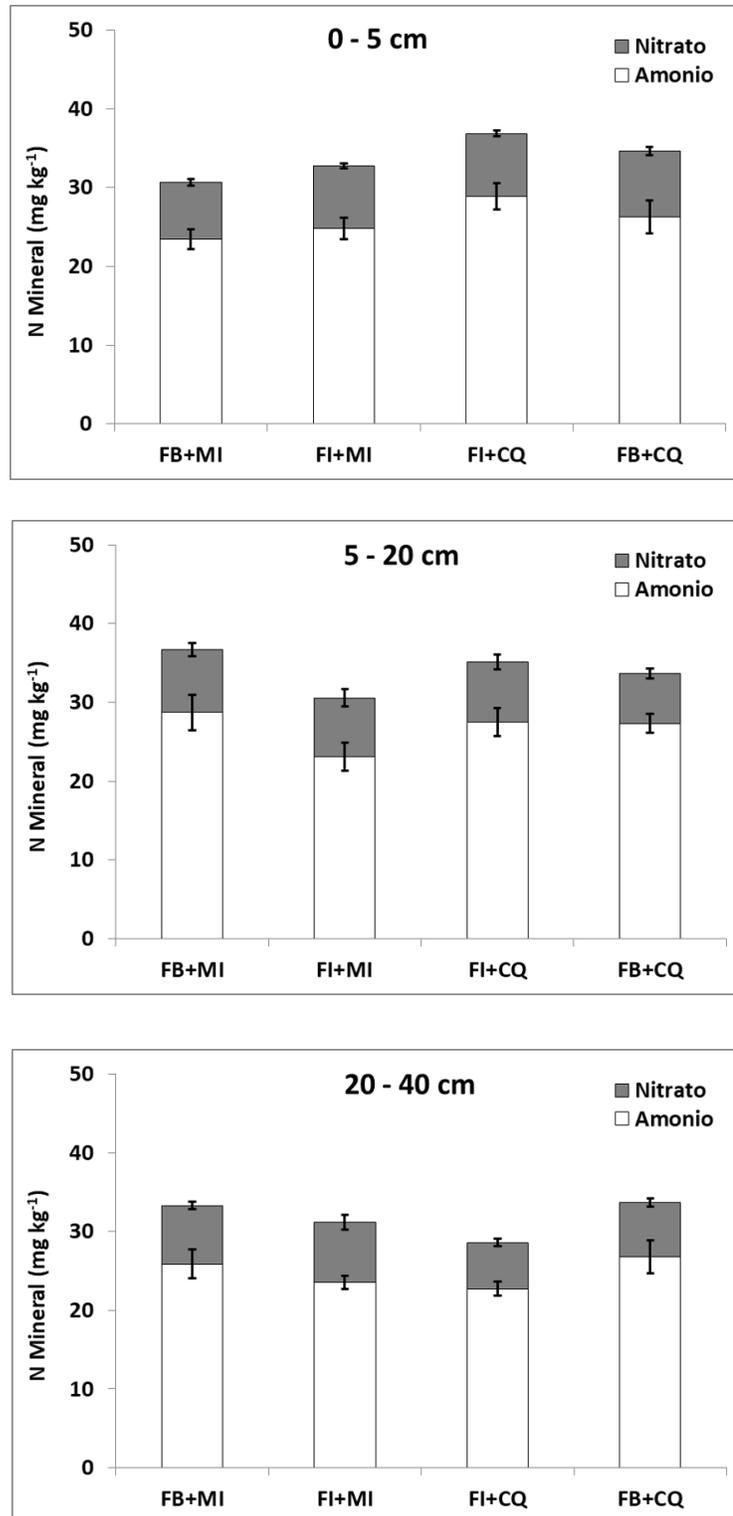


Figura II-7. Distribución en el perfil del nitrógeno mineral (nitrato, NO_3^- y amonio, NH_4^+) en los tratamientos de fertilización y control de plagas y enfermedades evaluados, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. **Fuente:** adaptado de Rodríguez (2011) y Lozano *et al.* (2012).

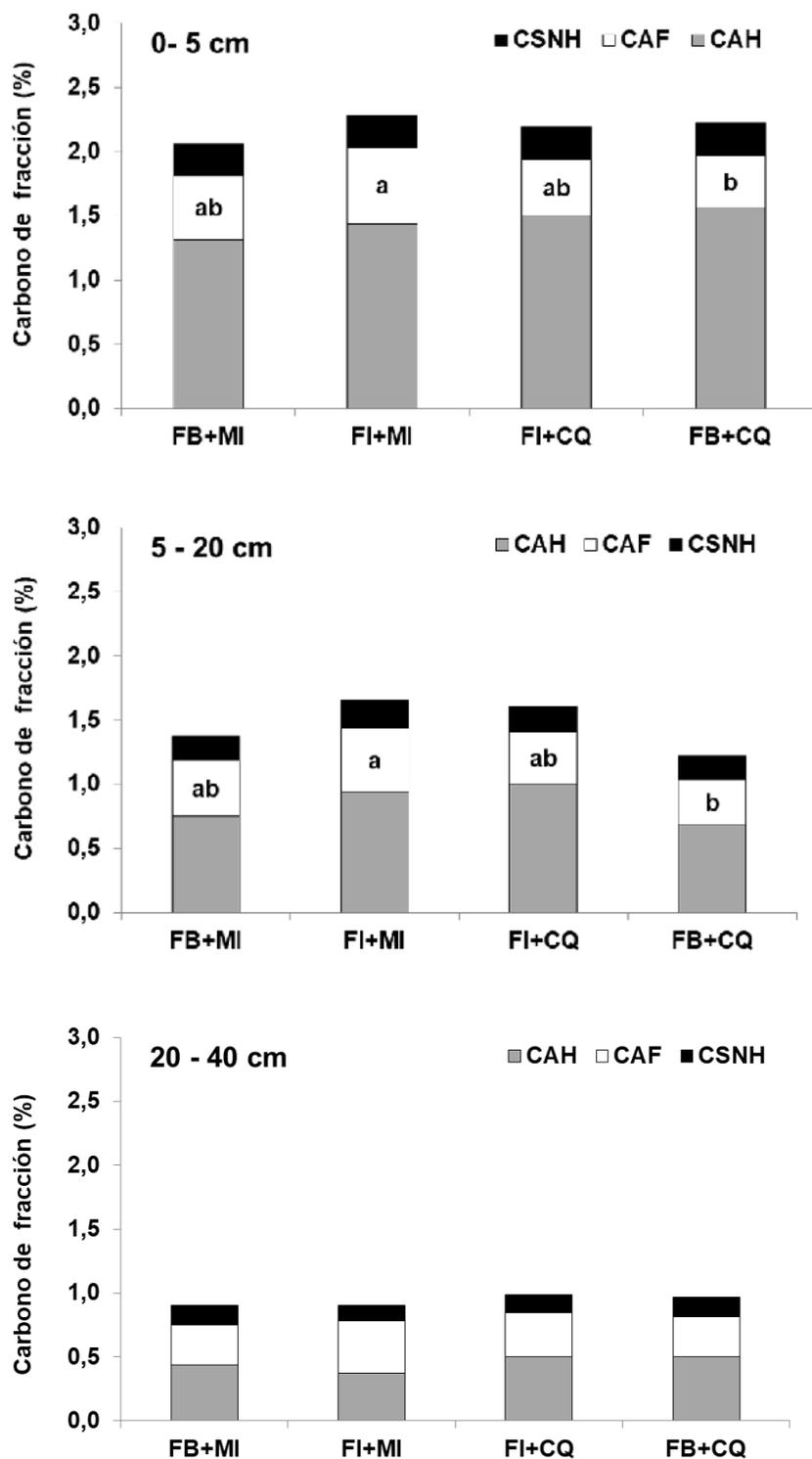


Figura.II-8. Distribución de las sustancias húmicas: carbono en ácidos fúlvicos (CAF), carbono en ácidos húmicos (CAH) y carbono en las sustancias no húmicas (CSNH), en los tratamientos y profundidades evaluadas en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** adaptado de Rodríguez (2011) y Lozano *et al.* (2012).

Cuadro II-6. Índices de humificación y relaciones entre las diferentes fracciones químicas de la materia orgánica para los tratamientos y profundidades evaluadas, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

Profundidad (cm)	Tratamiento	IH	GH (%)	RH (%)	CET:COT	CAH:CET	CAH:CAF	CAF:COT
0 - 5	FI+CQ	0,13	73,33	47,55	0,64	0,56	3,29	0,11
	FB+CQ	0,12	70,36	48,20	0,69	0,55	3,80	0,10
	FI+MI	0,12	73,67	51,08	0,70	0,53	2,53	0,15
	FB+MI	0,13	76,57	49,60	0,65	0,56	2,76	0,13
5 - 20	FI+CQ	0,15	54,40	40,90	0,75	0,39	2,49	0,12
	FB+CQ	0,18	43,58	36,18	0,84	0,30	2,14	0,12
	FI+MI	0,15	58,00	44,54	0,78	0,38	1,95	0,15
	FB+MI	0,16	57,22	42,94	0,76	0,37	1,84	0,15
20 - 40	FI+CQ	0,21	36,68	35,12 ab	0,96	0,21	1,39 ab	0,15 ab
	FB+CQ	0,21	35,39	32,69 b	0,92	0,22	1,74 a	0,12 b
	FI+MI	0,18	41,33	40,29 a	0,98	0,20	1,00 b	0,20 a
	FB+MI	0,21	39,59	36,92 ab	0,93	0,23	142 ab	0,16 ab
Análisis de varianza								
Tratamiento (T)		NS	NS	*	NS	NS	*	*
Profundidad (P)		*	*	*	*	*	*	*
Interacción T*P		*	*	*	*	*	*	*

IH: índice de humificación, **GH:** Grado de humificación, **RH:** Relación de humificación, **COT:** Carbono orgánico total, **CET:** Carbono extraíble total, **CAH:** Carbono en ácidos húmicos, **CAF:** Carbono en ácidos fúlvicos. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico de plagas (Control); **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. *Diferencias estadísticas significativas entre medias del factor ($p < 0,05$); NS: Diferencias entre medias no significativas. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para una misma profundidad. **Fuente:** adaptado de Rodríguez (2011); Lozano *et al.* (2012).

En cuanto a los efectos de los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades aplicados al duraznero sobre del C-BM, se encontró que los valores estuvieron entre 100 y 300 mg C kg suelo⁻¹, siendo similares entre las profundidades consideradas para To, pero con diferencias entre To y Tf, especialmente en la capa superficial (Figura II-11). Hubo una tendencia contrastante en To entre el manejo alternativo (FB+MI) y el manejo tradicional (FI+CQ). En FB+MI el C-BM aumenta con la profundidad, pero en FI+CQ éste disminuye. Este aumento fue mayor cuando el manejo del duraznero incluía el uso de abonos orgánicos como fuente de nutrientes. El orden decreciente del nivel de C-BM en la superficie del suelo fue el siguiente: FB+CQ > FB+MI > FI+CQ > FI+MI. Es de destacar que luego de aplicados los tratamientos (Tf), en todos los tratamientos hubo una disminución del C-BM en el suelo a la profundidad de 5 - 20 cm, lo cual refuerza la hipótesis del mayor efecto de la fertilización orgánica en la superficie del suelo.

Resultados un tanto distintos se encontraron cuando se estimó el N BM (Figura II-12). En este caso los valores fueron menores en la superficie en ambas épocas, con excepción del tratamiento FB+CQ donde no se presentaron diferencias estadísticas entre profundidades. Comparando entre épocas (To y Tf), los incrementos en el N-BM en la capa de 5 a 20 cm fueron mayores en FI+MI y FB+MI. Por el contrario, en el tratamiento FB+CQ ocurrió una disminución en ambas profundidades.

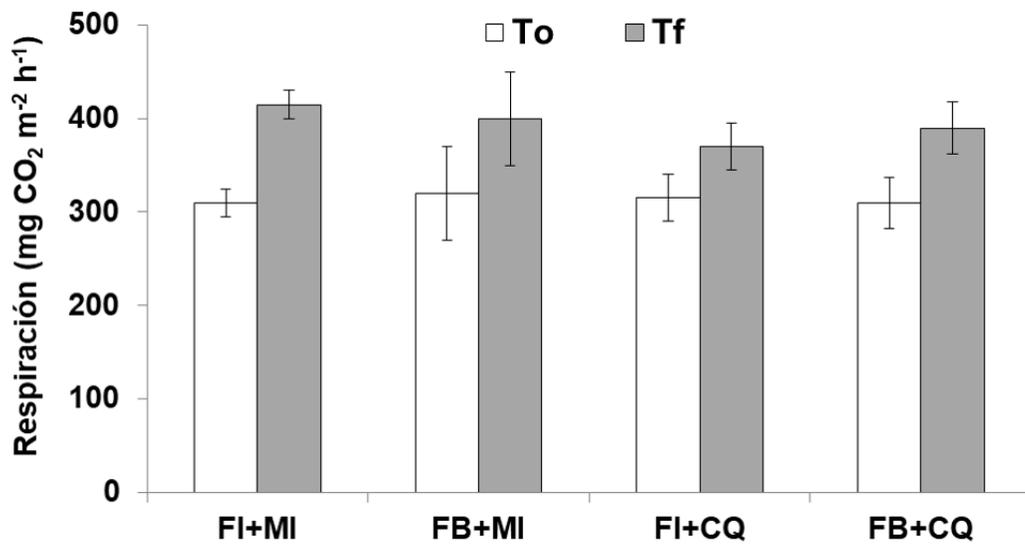


Figura II-9. Cambio en la respiración edáfica bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en la capa de 0 a 5 cm del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. **To:** Tiempo inicial, **Tf:** Tiempo final. **Fuente:** Lozano *et al.* (2012).

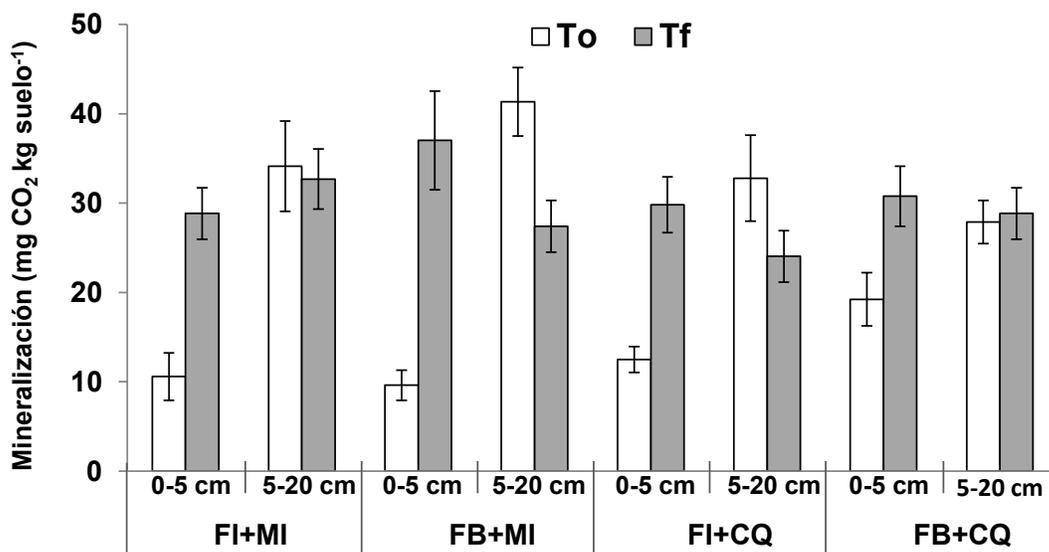


Figura II-10. Cambio en la mineralización (producción de CO₂) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. **To:** Tiempo inicial, **Tf:** Tiempo final. **Fuente:** Lozano *et al.* (2012).

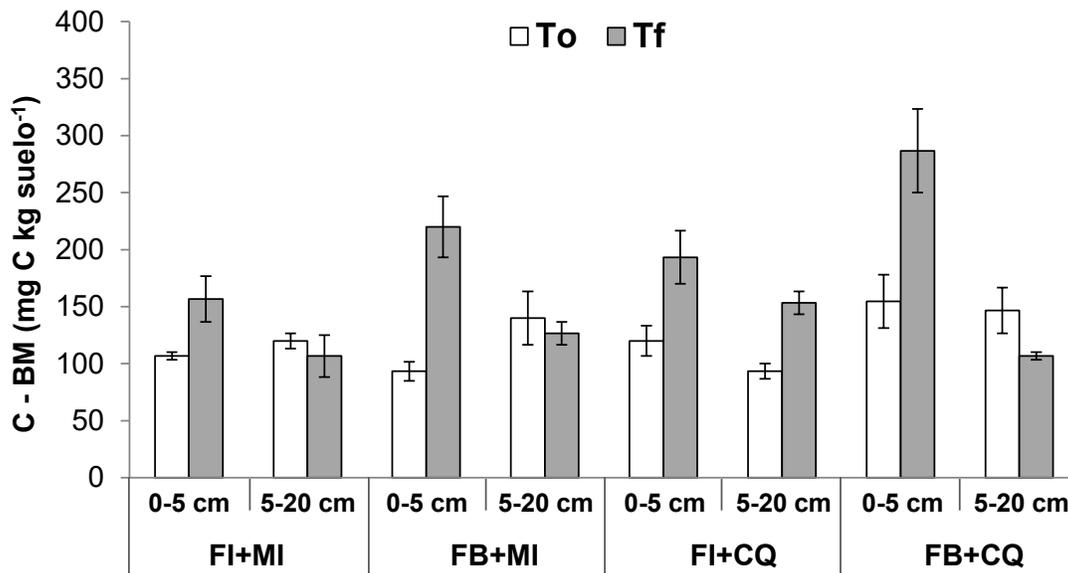


Figura II-11. Cambios en el carbono de la biomasa microbiana (C-BM) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. **To:** Tiempo inicial, **Tf:** Tiempo final. **Fuente:** Lozano *et al.* (2012).

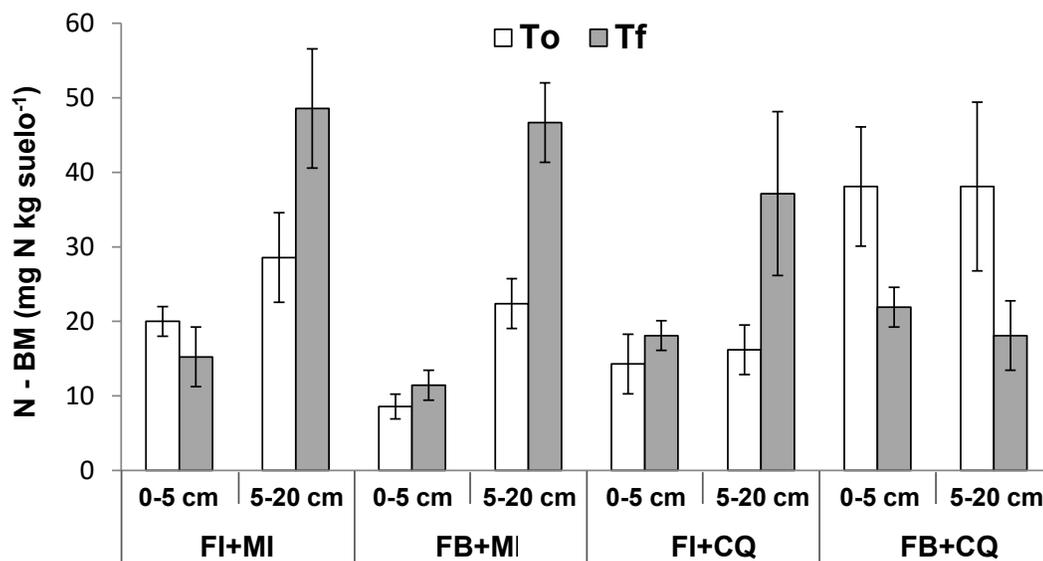


Figura II-12. Cambios en el nitrógeno de la biomasa microbiana (N-BM) bajo los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades, en las dos primeras profundidades del suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. **To:** Tiempo inicial. **Tf:** Tiempo final. **Fuente:** Lozano *et al.* (2012).

Biodiversidad de hongos micorrízicos: en el ensayo sobre diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades en el duraznero, Alguacil *et al.* (2014) consiguieron que el tratamiento con menor biodiversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) fue el que aplica el productor (FI+CQ), donde solo se presentaron 47 clones de 10 especies. Los manejos alternativos de manejo integrado y fertilización balanceada produjeron un aumento en la biodiversidad, evidenciada en un aumento tanto de clones como de especies presentes (hasta 57). Se puede destacar que el tratamiento con mayor biodiversidad fue FB+CQ, el cual fue el único tratamiento donde se presentaron las especies: *Glomus indicum*, *Glomus sp*, *Archaeospora trappei*, *Acaulospora lavéis*, *Scutellospora cerradensis* y *Glomus sinuosum*. Además, fue el único donde no se presentó la especie *Glomus intraradices* (datos no presentados).

Para la evaluación de la diversidad de los HMA, se usó el índice de Shannon-Weaver (H), ya que combina dos componentes de la diversidad, es decir, la riqueza y la uniformidad de las especies. Como se aprecia en el Cuadro II-7, las comunidades de HMA de las raíces de árboles de duraznero en el tratamiento FI+CQ tuvieron la diversidad más baja ($H = 1,78$); los árboles de los tratamientos FB+MI y FI+MI tuvieron una diversidad de HMA similar ($H < 2,0$); mientras que el tratamiento FB+CQ mostró el índice de diversidad más alto ($H = 2,69$).

Hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en la riqueza de taxones de HMA. El tratamiento FB+CQ albergó el mayor número medio de filotipos de HMA por muestra de raíz, que fue significativamente diferente del valor del tratamiento FI+CQ según la prueba de comparación múltiple de Duncans. El número medio de filotipos de HMA detectados en las raíces de los árboles que recibieron los tratamientos FB+MI y FI+MI fue el mismo y no se encontraron diferencias significativas entre estos y ninguno de los tratamientos mencionados anteriormente.

El análisis factorial mostró que ambos factores: la fertilización y el manejo de plagas tuvieron un efecto significativo en la composición de la comunidad de HMA, pero su interacción no fue significativa. Las comunidades de HMA en las raíces de los árboles en el tratamiento FI+CQ tuvieron la abundancia más baja, con el número total más bajo de tipos de secuencias de HMA. Los árboles de los tratamientos FB+MI y FI+MI tuvieron una abundancia de HMA similar, mientras que el tratamiento FB+CQ produjo el mayor número de diferentes tipos de secuencia de HMA y mostró el índice de abundancia más alto.

Varios estudios han demostrado que la presencia de *Trichoderma harzianum* aumenta significativamente la colonización de raíces por *Rhizophagus intraradices* en cultivos de melón (Martinez-Medina *et al.*, 2009; 2011), siendo *R. intraradices* el único taxón que aumentó las poblaciones de *T. harzianum*. Por lo tanto, podría haber existido una relación sinérgica entre *T. harzianum* y *R. intraradices* en raíces del duraznero bajo los tratamientos FB+MI y FI+MI, aumentando sus respectivas abundancias.

Cuadro II-7. Parámetros de biodiversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en raíces de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

	FB+MI	FI+MI	FI+CQ	FB+CQ
Diversidad (H)	< 2 ab	< 2 ab	1,78 b	2,69 a
Riqueza (filotipos/raíz)	5,75 ab	5,75 ab	4,25 b	8,00 a
Abundancia relativa HMA	10 b	11 b	9 c	17 a

FI+CQ: Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, $p < 0,05$) entre tratamientos **Fuente:** adaptado de Alguacil *et al.* (2014).

En la Figura II-13 se pueden observar las diferentes distribuciones de los filotipos de HMA, como consecuencia de los tratamientos. Los símbolos que representan diferentes tratamientos están distantes entre sí, lo que demuestra que los tratamientos tuvieron un efecto significativo en la composición de la comunidad de HMA, y los diferentes tratamientos albergan distintos filotipos. Este diagrama también muestra los filotipos de HMA que se encuentran exclusivamente en cada tratamiento.

Sobre la diversidad de HMA bajo sistemas de manejo evaluados en duraznero, se concluyó que las causas y efectos reales de las diferencias en la composición de la comunidad HMA observada entre los tratamientos fueron muy difíciles de establecer, teniendo en cuenta que los diferentes regímenes de manejo de cultivos estudiados consisten en varios parámetros que influyen. De hecho, el tratamiento fertilización balanceada y control químico (FB+CQ), que produjo la mayor diversidad de HMA, incluyó el mayor número de parámetros.

La investigación adicional de la diversidad de HMA, incluido el análisis de cada factor por separado y, posteriormente, sus interacciones podría ayudar a determinar la causa de los efectos presentados por Alguacil *et al.* (2014). Las diferentes estrategias de manejo de cultivos pueden ejercer una clara influencia en las poblaciones de HMA. El tratamiento que incluye una combinación de fertilización orgánica e inorgánica junto con el control químico, parece ser el más adecuado con respecto a mejorar la diversidad de HMA en este cultivo en condiciones tropicales, mejorando así la sostenibilidad agrícola y ambiental de este agroecosistema.

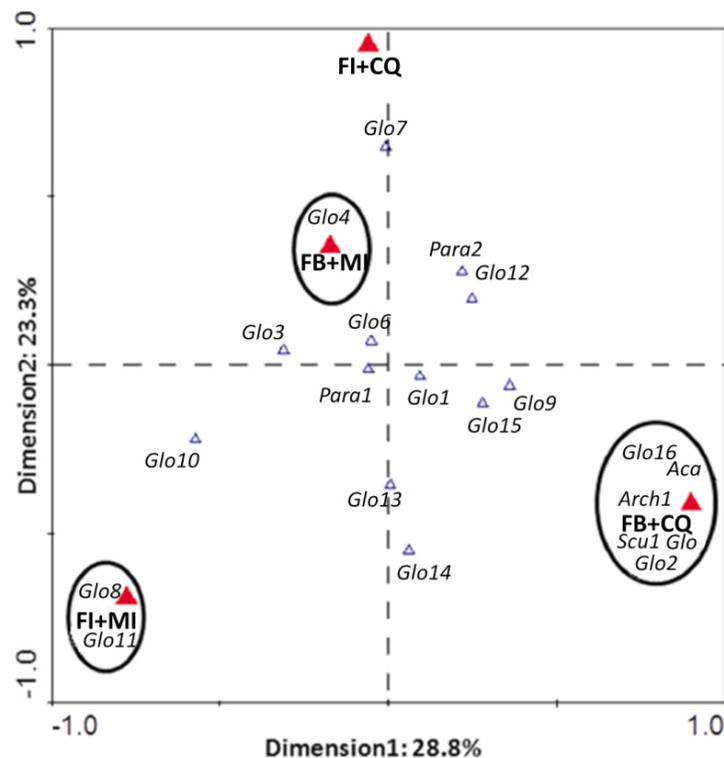


Figura II-13. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) de la composición de la comunidad de Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) encontrada en las raíces de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) bajo diferentes tratamientos manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua. **FI+CQ:** Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Los triángulos rellenos representan los tratamientos y los triángulos vacíos los filotipos de HMA. Los ovals representan los filotipos de HMA que se encuentran exclusivamente en tratamientos individuales. **Fuente:** adaptado de Alguacil *et al.* (2014).

Por otro lado, Alguacil *et al.* (2011), establecieron en plantas de la misma parcela, el efecto de diferentes comunidades de HMA sobre el nematodo *Meloidogyne incognita*, el cual es un patógeno endémico en la zona y que afecta al cultivo de duraznero. Las agallas producidas en las raíces de duraznero por la infección por *M. incognita* fueron colonizadas por una comunidad HMA, perteneciente a las familias *Paraglomeraceae* y *Glomeraceae*, que era diferente de la comunidad HMA detectada en las raíces sanas. Aunque todavía se desconoce la función del HMA en las agallas, se planteó la hipótesis de que el HMA pudiera actuar como agentes protectores contra los patógenos oportunistas. Este estudio se realizó solo con raíces de *P. persica*; por lo tanto, sugieren que se debe hacer más investigación para evaluar si las agallas producidas en otras especies de plantas están colonizadas por HMA, ya que los resultados de las interacciones de HMA - nematodos están influenciados por muchos factores, incluidos factores físicos, fisiológicos y temporales, y las diferencias funcionales entre diferentes taxones de los HMA.

Efecto de los tratamientos sobre el cultivo

Niveles nutricionales en tejido vegetal: como se aprecia en el Cuadro II-8, en el estado nutricional del cultivo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos de manejo evaluados para los macronutrientes P, K, Ca, Mg y Na, y sin diferencias para N y los micronutrientes. Se destaca que los menores contenidos de Na y P en el tejido se presentaron en el tratamiento testigo (FI+CQ), lo que coincide con la menor biodiversidad de hongos micorrízicos en este tratamiento, y los mayores contenido de K en los tratamientos con fertilización balanceada (FB+MI y FB+CQ), a pesar de que en ellos se aplicó menor cantidad de fertilizantes inorgánicos solubles y de que el contenido de K en el abono orgánico era bajo. Es posible que la disminución de la dosis de K soluble en los tratamientos con la mezcla de fertilizante inorgánico y abono orgánico (FB), produjo un balance iónico favorable a la liberación del K fijado en las arcillas (Salas, 1988) y aumentó la absorción del elemento por parte de la planta.

Los mayores contenidos de Ca y Mg se produjeron en los tratamientos con fertilización inorgánica (FI+CQ y FI+MI), posiblemente por su mayor disponibilidad en el suelo (Rodríguez, 2011). Estos resultados contrastan con los de López *et al.* (2002) en algunas zonas del municipio Tovar (estado Aragua), quienes consiguieron deficiencias en tejido de N y K, así como excesos de Cu. Con excepción del P, cuyos contenidos en el tejido fueron altos en todos los tratamientos, el Ca en los tratamientos FB+CQ y FB+MI y los micronutrientes Mn y Zn, los cuales estuvieron por debajo del nivel adecuado en todos los tratamientos evaluados, el resto de los nutrientes presentaron contenidos óptimos en el tejido, según los rangos establecidos por Chapman (1967), Jones (1991) y Jones *et al.* (1991).

Evaluaciones fenológicas: los resultados de esta evaluación se presentan en el Cuadro II-9, donde se observan que ninguno de los parámetros fenológicos medidos presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, aunque la tendencia fue a presentar valores similares entre los tratamientos FB+MI y FI+MI y un poco menores en los tratamientos FI+CQ y FB+CQ. No obstante, la tendencia en la fenología puede arrojar resultados un poco confusos que suelen aclararse con el parámetro rendimiento del cultivo (kg de fruta por planta o por hectárea), ya que en el aspecto fenológico no se está considerando el llenado o peso de la fruta, que es lo que en definitiva determina la productividad por árbol. Los resultados en cuanto a características fenológicas pudieran cambiar con los manejos alternativos en sucesivos ciclos de producción, debido a que el duraznero es un cultivo perenne, los tiempos para los cambios en el suelo y su respuesta en la planta no se observan inmediatamente, sumado al hecho que el tiempo de floración a cosecha dura aproximadamente 6 a 7 meses para el cultivar sembrado en la parcela experimental ('Amarillo criollo').

Rendimiento del cultivo: se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, con mayores rendimientos ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en FB+MI, el cual es el manejo alternativo más agroecológico, y los menores (alrededor de 30% menos) en FI+CQ, que es el manejo tradicional que usa el productor (Cuadro II-6). Estos resultados implican que los cambios que se realicen en los esquemas

tradicionales de manejo, pudieran traer además de los beneficios en la producción, beneficios al ambiente por el menor uso de agroquímicos y a la salud de los trabajadores del campo, al estar menos expuestos a las aplicaciones de productos químicos.

En términos generales, los rendimientos se ajustan a los valores promedio de la zona para el año de evaluación de 16,92 Mg ha⁻¹ año⁻¹, el cual ha variado poco en los últimos años (Fedegro, 2019). Sin embargo, se esperaría que con el efecto acumulado de las estrategias de manejo alternativo en ciclos posteriores, se mejoren estos parámetros de producción para hacer más eficiente y sostenible al sistema de cultivo del duraznero.

Cuadro II-8. Niveles nutricionales en el tejido de las plantas de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua.

Contenido en tejido	Tratamientos			
	FI+CQ	FB+CQ	FI+MI	FB+MI
Nitrógeno (%p)	3,55	3,34	3,41	3,47
Fósforo (%)	0,45 b	0,50 ab	0,67 a	0,54 ab
Potasio (%)	2,35 b	2,81 a	2,33 b	2,65 ab
Calcio (%)	3,91 a	1,20 b	3,87 a	1,85 b
Magnesio (%)	0,87 a	0,43 b	0,83 a	0,55 b
Sodio (%)	0,17 b	0,24 ab	0,20 ab	0,25 a
Hierro (mg kg ⁻¹)	70,9	74,1	69,4	62,4
Manganeso (mg kg ⁻¹)	7,8	9,1	9,4	9,0
Cobre (mg kg ⁻¹)	14,8	13,1	11,6	14,3
Zinc (mg kg ⁻¹)	7,3	6,0	5,8	5,7

FI+CQ: Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. **Fuente:** Adaptado de Rodríguez (2011) y Lozano *et al.* (2012).

Cuadro II-9. Variables fenológicas y rendimiento del cultivo de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) bajo los diferentes manejos de fertilización y de control de plagas y enfermedades, en el suelo ubicado en el sector Cucurucho de la Colonia Tovar, estado Aragua

Tratamiento	Flores por rama	Frutos cuajados por rama	Frutos cosechados por rama	Días de floración a cosecha	Rendimiento por planta (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
FI+CQ	341,33	225,25	27,7	189	17,88 b
FB+CQ	362,94	243,14	30,6	183	19,98 ab
FI+MI	355,61	245,36	35,4	194	22,03 ab
FB+MI	380,80	273,63	38,2	187	24,86 a

FI+CQ: Fertilización inorgánica y control químico (Control); **FB+CQ:** Fertilización balanceada y control químico; **FI+MI:** Fertilización inorgánica y manejo integrado; **FB+MI:** Fertilización balanceada y manejo integrado. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. **Fuente:** Lozano *et al.* (2012).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agassi, M.; G.J. Levy. 1991. Stone cover and rain intensity: effects on infiltration, erosion and water splash. *Australian Journal of Soil Research* 29: 565-601.
- Alguacil, MdM.; E. Torrecillas; Z. Lozano; A. Roldán. 2011. Evidence of differences between the communities of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing galls and roots of *Prunus persica* infected by the Root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Applied and Environmental Microbiology* 77 (24): 8656–8661
- Alguacil, MdM.; E. Torrecillas; Z. Lozano; M.P. Torres; A. Roldán. 2014. *Prunus persica* crop management differentially promotes Arbuscular Mycorrhizal Fungi diversity in a tropical agro-ecosystem. *PLOS ONE* 9 (2): e88454. doi:10.1371/journal.pone.0088454.
- Anderson, D. W. 1982. Soil respiration. (pp. 831-871). *In*: Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Eds.), *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Biological Properties*. 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Anderson, J.; J. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology And Fertility (TSBF). Handbook of Methods*. C.A.B. International. 171 p.
- Aponte, A.; A. Rondón. 2004. Experiencias en el manejo integrado de enfermedades micóticas del duraznero en Venezuela. *CENIAP HOY* N° 5. [Consulta 10-11-2011]. Disponible en: <<http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/>>.
- Aular, J. 2006. Consideraciones sobre el manejo hortícola del duraznero en Venezuela. En: Primer curso de actualización de conocimientos en frutales de altura: fresa, mora y durazno. W. Briceño y J. Aular (Eds.). Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) – San Cristóbal. pp. 20 – 26
- Aular, J.; M. Cásares. 2011. Consideraciones sobre la producción de frutas en Venezuela. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volumen Especial*. pp. 187-198.
- Aular, J.; M. Cásares. 2013. Producción forzada del duraznero en Venezuela (pp. 11-15). *En: Manejo hortícola de huertos de duraznero*. Editorial Horizonte, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, estado Lara – Venezuela.
- Avilán, L.; F. Leal; D. Bautista. 1992. *Manual de fruticultura. Principios y manejo de la producción*. 2^{da} Edición, Tomo II. pp. 1079-1110.
- Bleiholder, H.; L. Buhr; C. Feller; H. Hack; R. Klose; M. Hess; R. Stauss; U. Meier; T. Boom; E. Weber. 1998. Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas - Escala BBCH Extendida. Alemania, 123 p.
- Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indexes. (pp.1324 – 1345). *In*: C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L. E. Ensminger, F.E. Clark (eds.). *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Biological Properties*. 1st ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Cerda A. 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal of Soil Science* 52: 59-68.
- Chapman, H. 1965. Cation exchange capacity. (pp. 891-904). *In*: C.A. Black; Evans D.D.; White J.L,

- Ensminger L.E.; Clark F.E. (eds.). Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Biological Properties. 1st ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Chapman, H. 1967. Plant analysis value suggestive nutrient status of selected crops. *In*: Hardy, G.W (Ed.). Soil Testing and Plant Analysis. Part II. Plant Analysis. Soil Science Society of America, Wisconsin, USA. pp. 72 – 92.
- Chefetz, B.; Y. Chen; Y. Hadar; P. Hatcher. 1998. Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste. *Soil Science Society America Journal* 62 (2): 326-332.
- Ciavatta, C.; M. Govi. 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *Journal of Chromatography* 643: 261-270.
- Ciavatta, C.; M. Govi; L. Vittori; P. Sequi. 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal of Chromatography* 509: 141-146.
- Coleman, N.T.; G.W. Tomas. 1967. The basic chemistry of soil acidity. *Agronomy Monograph* 12. pp. 1-41.
- Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2019. Estadísticas agropecuarias. Producción agrícola. [Consulta: 10/07/2019]. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/producción/Rubros.asp>.
- Cortez, L. 2001. Pteridofitas epifitas encontradas en *Cyatheaceae* y *Dicksoniaceae* de los bosques nublados de Venezuela. *Gayana Botánica* 58 (1): 13-23
- Cousin, I.; B. Nicoulaud; C. Coutadeur. 2003. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. *Catena* 53: 97-114.
- Dell'Abate, M.T.; S. Cannali; A. Trinchera; A. Bennedetti; P. Sequi. 1998. Thermal analysis in the evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 217-224.
- Flint, A.L.; S Childs. 1984. Physical properties of rock fragments and their effects on available water in skeletal soil. *In*: Kral D (Ed.). Erosion and productivity of soil containing rock fragments, 13. Soil Science Society of American, Madison, pp. 91-103.
- Fortun, A.; J. Benayas; C. Fortun. 1990. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. *Journal of Soil Science* 41: 563-572.
- Gee, G.W.; D. Or. 2002. Particle-size analysis. (pp. 255-293). *In*: J.H. Dane y G.C. Topp (Ed.) Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book series N° 5, SSSA, Madison, WI.
- Gilabert de B., J.; I. López de R.; R. Pérez de R. 1990. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 164 p.
- Guerrero-Acosta, R.; J.J. Avelar-Mejía; A. Lara-Herrera; A.F. Rumayor-Rodríguez; J.J. Llamas-Llamas; J. Hernández-Martínez. 2005. Comparación preliminar de dos métodos de diagnóstico nutrimental en durazno, en Zacatecas, México. *Terra Latinoamericana* 23: 563–569.
- Haynes, R.; G. Francis. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science* 44: 665-675.

- Heanes, D. 1984. Determination of total organic- C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Communication in Soil Science Plant Analysis* 15: 1191-1213.
- Hernández-Hernández, R.M.; López-Hernández D 1998. Efecto de la intensidad de la labranza sobre diversas fracciones de la materia orgánica y la estabilidad estructural de un suelo de sabana. *Ecotrópicos* 11: 69-82.
- Jackson, M. 1964. *Análisis químico de suelos*. Barcelona, España. 662 p.
- Jenkinson, D.S.; D.S.Powlson. 1976. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209-213.
- Jones Jr., J.B. 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. *In: Micronutrient in agriculture*. 2nd edn. pp. 477 – 521, Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M. Welch R.M. eds. Soil Sciences Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Jones Jr., J.B.; B. Wolf; H.A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing Inc. 213 p.
- Liu, B.Y.; M.A. Nearing; L.M. Risse. 2001. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37(6): 1835-1840.
- Lobo, D.; A. Puentes; Z. Lozano; G. Rodríguez; J. Saddy; D. Gabriels. 2013. Effects of rock fragments cover and slope on infiltration, runoff and soil loss in an Entisol. *In: L.C. Timm, D. Gabriel and D. Lobo (Eds.)*. Proceeding of the 2nd Workshop of the ICTP Soil Physics Associates (pp. 49-58). ICTP – ICE Special publication N° 2, Trieste, Italy.
- López, M.; I. López; M. España. 2002. Fertilidad del suelo y estado nutricional de las plantas. pp. 43-70. *En: El duraznero en Venezuela*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. Serie B, N° 4, 123 p.
- López, M.; M. España; I. López de R.; A. Bolívar; M. Wagner; G. Medina. 2004. Manejo de suelos ácidos en la producción de durazneros en la Colonia Tovar. INIA Divulga 1. Aragua, Venezuela. pp.1-3.
- Lorenz, K.; R. Lal; C.M. Preston; K.G. Nierop. 2007. Strengthening the soil organic carbon pool by increasing contributions from recalcitrant aliphatic bio (macro) molecules. *Geoderma* 142: 1-10.
- Lozano P, Z.; C. Rivero; C. Bravo; R.M. Hernández. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 28: 35-56.
- Lozano P, Z.; M. Albano; G. Rodríguez; D. Lobo; R.M. Hernández; J. Saddy; M. Delgado; R. Caballero. 2013. Cambios en la fertilidad de un suelo luego de 13 años bajo manejo con duraznero (*Prunus persica* L. Batsch). *Venesuelos* 21: 5-19.
- Lozano, Z.; D. Lobo; R.M. Hernández; G. Rodríguez; J. Saddy. 2012. Informe final del proyecto CDCH-UCV PI-0100-6772-2007. Calidad de suelos en la zona agrícola de influencia de la Estación Experimental Bajo Seco. 92 p.
- Machado, B. 1978. Método químico de mediçao da respiraçao edáfica: algunos aspectos técnicos. *Ciencia E Cultura* 30 (1): 82 - 88.

- Martínez-Medina, A.; J.A. Pascual; E. Lloret; A. Roldán. 2009. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* and their effects on Fusarium wilt in melon plants grown in seedling nurseries. *J Sci Food Agric* 89: 1843-1850.
- Martínez-Medina, A.; A. Roldán; J.A. Pascual. 2011. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and Fusarium wilt biocontrol. *Appl Soil Ecol* 47: 982-105.
- McCallister D.; W. Chien. 2000. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 31: 465-479.
- Medina, A. 1989. Bases para la interpretación de análisis de suelos y follaje. Departamento Técnico COLJAP. Bogotá, Colombia. 49 p.
- Nacci, S.; I. Pla S. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17.
- Nsabimana, D.; R.J. Haynes; F.M. Wallis. 2004. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Applied Soil Ecology* 26: 81-92.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2009. Guía para la descripción de perfiles. 4ta. Edición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 111 p.
- Pascual, J.A.; M. Ayuso; C. García; T. Hernández. 1997. Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste Management and Research* 15: 103-112.
- Pérez-González, S. 2001. Importance of Brazilian peach germoplasm for the Mexican Subtropics. *Acta Horticulturae* 565: 75-78.
- Pla S., I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)*, Alcance N° 32, 91 p.
- Poesen, J. 1986. Surface sealing on loose sediments: the role of texture, slope and position of stones in the top layer. In: Callebaut F, Gabriels D, Boodt M. De (Eds.). *Assessment of Soil Surface Sealing and Crusting. Proceedings of Symposium, Ghent, Belgium*. pp. 354-362.
- Poesen, J.; F. Ingelmo-Sanchez. 1992. Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena* 19: 451-474.
- Poesen, J.; H. Lavee. 1994. Rock fragments in topsoil: Significance and processes. *Catena* 23:1-28.
- Pulido, M.; B. Flores; T. Rondón; R. M. Hernández; Z. Lozano. 2010. Cambios en las fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivos de cítricos. *Bioagro* 22: 201-210.
- Rieke-Zapp, D.; J. Poesen; M.A. Nearing. 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms* 32: 1063-1076.
- Rodríguez, M.A. 2011. Efecto de distintos manejos de fertilización y control de plagas sobre el C, N, P y bases cambiables (Ca, Mg y K) en el suelo y el estado nutricional de las plantas de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch) en el municipio Tovar, estado Aragua. Trabajo de Ascenso a la categoría de Asistente, Facultad de Agronomía, UCV. 62 p.

- Ruiz, M.; J. Paolini. 2005. Parámetros de humificación en suelos cultivados bajo riego. *Agrochimica* 49: 79-86.
- Salas, A. 1988. Evaluación de algunos parámetros físico-químicos que definen el potencial del potasio en dos suelos de carga variable. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay. Venezuela. 175 p.
- Salinas, J.G.; R. García. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 83 p.
- Sanabria, A. 2013. Crecimiento vegetativo, reproductivo y fenología del duraznero (pp. 19-25). En: Manejo hortícola de huertos de duraznero. Editorial Horizonte, Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, estado Lara – Venezuela.
- Schnitzer, M.; P. Schuppli. 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Science Society American Journal* 53: 1418-1424.
- Sequi, P.; M. Nobili; L. Leita; G. Cercigni. 1986. A new index of humification. *Agrochimica* 30: 175-179.
- Silva L., S.; S. Pérez M. 2010. Sustentabilidad en fincas productoras de durazno en El Jarillo, estado Miranda, Venezuela. *Revista de Estudios Transdisciplinarios* 2 (2): 45-61.
- Soil Survey Staff (SSS). 2006. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2, Washington: US Government Printing 384 Office, DC, USA, Agriculture Handbooks N° 436, 332 p.
- Soto, E.; E. Arnal; A. Rondón. 2004. Análisis del proceso productivo de duraznero en Venezuela: Caso de la Colonia Tovar, Estado Aragua. CENIAP HOY N° 5. [Consulta 10-10-2011]. Disponible en: <<http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/esoto.htm>>.
- Sparling, G.P.; A.W. West. 1988. Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and N. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 19: 327-344.
- Tabatabai, M.; J. Bremner. 1972. Distribution of total and available sulphur in selected soils and soils profiles. *Agronomy Journal* 64: 40-44.
- Universidad Central de Venezuela (UCV). 1993. Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía N° 6. Facultad de Agronomía (UCV). 89 p.
- Universidad Central de Venezuela (UCV). 2010. Informe del Proyecto Durazno en el Municipio Tovar, estado Aragua. Facultad de Agronomía, Coordinación de Extensión, 45 p.
- Viloria, J.A.; M.C. Pineda; A. Viloria-Botello; Y. Núñez; A. Valera. 2012. Predicción de pedregosidad superficial del suelo con redes neuro-borrosas en los llanos venezolanos. En: Memorias del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012, 6 p.
- Zalba, P.; A.R. Quiroga. 1999. Fulvic acid carbon as diagnostic feature for agricultural soil evaluation. *Soil Science* 164: 57-61.

CAPÍTULO III

CULTIVOS DE COBERTURA Y TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN UN SUELO DE LAS SABANAS BIEN DRENADAS DEL ESTADO GUÁRICO

Introducción

Las sabanas representan, a escala mundial, una de las mayores extensiones de tierra con potencialidad para la producción agrícola y silvícola. Este ecosistema ocupa el 43% de la superficie continental y constituye el primer bioma intertropical (López-Hernández *et al.*, 2005). Se caracteriza por el dominio de un estrato continuo de vegetación herbácea constituido por gramíneas y ciperáceas, donde se puede presentar un estrato arbóreo discontinuo, con patrones estacionales de disponibilidad de agua, determinados por una marcada estación seca (Berroterán, 2000).

En nuestro país, las sabanas son ecosistemas que ocupan una importante extensión del territorio nacional (7,13%), las cuales han venido sufriendo un acelerado incremento en su uso agrícola. En las sabanas bien drenadas o sabanas de *Trachypogon*, el manejo de estos ecosistemas se fundamenta, en general, en la ganadería extensiva sobre pastos naturales de escaso valor nutritivo y baja disponibilidad de materia seca, con el uso de la quema para eliminar el material lignificado de las especies nativas y permitir el rebrote de pastos tiernos más palatables, como única práctica agrícola (Lopes *et al.*, 1999). Por otro lado, Chacón y Arriojas (1989) sostienen que el *Trachypogon* constituye un recurso forrajero de bajo potencial productivo, con un aporte de materia seca entre 0,4 y 20 kg ha⁻¹ día⁻¹ en las sabanas sin quemar y entre 5,8 y 22 kg ha⁻¹ día⁻¹ en sabanas quemadas; constituyéndose en un recurso limitante para la producción agropecuaria.

Debido a la necesidad de incrementar la oferta forrajera en las sabanas bien drenadas del sur-este del estado Guárico, en las últimas décadas, se ha producido un cambio en el patrón de uso, de la ganadería extensiva hacia la producción en sistemas integrados con cultivos limpios mecanizados y ganadería doble propósito, donde los restos de cosecha son utilizados como forraje en época seca (sistema cereal-ganado), aprovechando ambos componentes en el tiempo y el espacio (Bravo *et al.*, 2004; López-Hernández *et al.*, 2005).

La utilización intensiva de estas sabanas con sobrepastoreo, introducción de maquinarias, uso de altas dosis de fertilizantes y de agroquímicos para el control de competidores bióticos, la sustitución de pasturas naturales por pastos introducidos de mayor valor alimenticio, principalmente de los géneros *Brachiaria* y *Andropogon* (Pizarro *et al.*, 1996), unido a la presencia de suelos susceptibles a la degradación, lluvias de alto poder erosivo y la ocurrencia de períodos secos durante la época húmeda; ha conducido a una disminución de la productividad, con pérdidas económicas para los productores, disminución de la calidad de los recursos suelo y agua, disminución de la vegetación nativa y de la biodiversidad de flora y fauna, lo que hace que el manejo actual no sea sostenible (Bravo y Florentino, 1999; Hernández *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2004).

Los suelos de las sabanas bien drenadas o de *Trachypogon* sp, presentan las siguientes características: i) texturas arenosas en los primeros horizontes, por lo que tienen baja capacidad de retención de humedad y nutrientes; ii) reacción ácida (pH < 5,8), lo cual incide en los bajos contenidos de elementos esenciales tales como P, K, Ca y Mg y disminuye la eficiencia de la fertilización; iii) fragilidad estructural y bajos contenidos de materia orgánica, lo que los hace susceptibles a procesos de endurecimiento, escurrimiento, erosión hídrica y eólica; iv) presentan limitaciones para la penetración de las raíces de las plantas como consecuencia a la acidez, baja disponibilidad de nutrimentos y la presencia de gravas en horizontes cercanos a la superficie; y v) susceptibilidad a la compactación en el subsuelo por el uso excesivo de maquinarias, entre otros (Caraballo *et al.*, 1995; Berroterán, 2000; Hernández *et al.*, 2011).

El uso de las sabanas con prácticas de manejo inadecuadas no solo tiene efectos en el ámbito regional, sino también a escala mundial. La deforestación, la quema y el sobrepastoreo de las sabanas son responsables de un significativo porcentaje de las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O , gases que inciden en el calentamiento global (Wander *et al.*, 2002, Schloter *et al.* 2003; White *et al.*, 2004; Pervanchon *et al.* 2005). Pero con un uso adecuado, los suelos de las sabanas pueden convertirse en un importante sumidero de carbono (Espinoza, 2000; Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002).

En los últimos tiempos se han propuesto numerosas opciones de manejo destinadas a reducir el impacto de la actividad antrópica en estos agroecosistemas, entre las cuales destacan diferentes tipos de manejo agroecológico como: i) rotaciones de cultivos que ayudan a controlar malezas, romper el ciclo de los patógenos y mejorar la fertilidad del suelo (Govaerts *et al.*, 2006); ii) sistemas de siembra directa (Rivas *et al.*, 1998), combinada con el manejo de cultivos de cobertura que pueden ayudar al control de la erosión, mejorar la estructura y el ciclaje de nutrientes, incrementar la eficiencia de uso de agua y mejorar la oferta forrajera para el ganado (Bravo *et al.*, 2004; Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002); iii) utilización de formas de fertilización más “amigables” con el ambiente, que incluyen desde fertilización orgánica y uso de roca fosfórica hasta biofertilizantes con microorganismos aislados de cepas nativas (López-Hernández *et al.*, 2005), entre otros.

Todos estos sistemas permiten mejorar la calidad del suelo gracias al aumento en los contenidos de materia orgánica y nutrientes, mantienen o mejoran la estructura del suelo, incrementan la eficiencia de conservación del agua en el perfil por el aumento de la cobertura del suelo, e incrementar la oferta forrajera durante todo el año (Bravo *et al.*, 2004; Lozano *et al.*, 2011).

Con el objetivo de evaluar sistemas de manejo mejorados con la introducción de especies forrajeras de mayor calidad bioquímica (gramíneas o leguminosas) como cultivos de cobertura y fuentes de residuos para la siembra directa del cultivo principal de maíz (*Zea Mays* L.) / frijol (*Vigna unguiculata* L.), así como fuentes de fertilización fosfórica (fertilizantes solubles, roca fosfórica y fertilización biológica), para el posterior pastoreo con ganado bovino, se instaló un ensayo a largo plazo en un suelo representativo de las sabanas bien drenadas, en una zona cercana a la localidad de Santa María de Ipire (SMI), del estado Guárico.

Descripción del sitio y factores experimentales

En SMI el ensayo se instaló en el año 2002, en un suelo Ultisol clasificado como Typic Plinthustults, ubicado en la Estación Experimental La Iguana, de la Universidad Experimental Simón Rodríguez (UNESR), municipio Santa María de Ipire, en el eje Espino – Santa María de Ipire ($8^{\circ}25'N$ y $65^{\circ}25'O$, 80 a 120 msnm). La zona corresponde a un ecosistema de sabana bien drenada, con una precipitación promedio anual de 1369 mm y una temperatura promedio de $27,9^{\circ}C$, el relieve es plano con pendientes de 2 %.

Se utilizaron dos cultivos de cobertura como barbechos mejorados para la siembra directa de maíz y posterior pastoreo con ganado bovino, los cuales fueron seleccionados por su abundante producción de biomasa y adaptabilidad a la zona (Bravo *et al.*, 2004): *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM). Como testigo para la comparación de las variables evaluadas se usó la sabana natural (SN). La vegetación natural en SN estaba dominada por gramíneas como *Trachypogon* sp, *Axonopus canescen*, *Axonopus capillacea*, *Diectomis fastigiata* y en menor proporción ciperáceas, con árboles dispersos de *Curatella americana*, *Byrsonimia crassifolia* y *Bowdichia virgilioides* (Matheus 1986).

Dentro de cada cobertura se establecieron cuatro tipos de fertilización, con una fertilización básica con N - P_2O_5 - K_2O y variación de la fuente de fósforo, quedando los tratamientos como sigue: **Control**: sin fertilización (0 N - 0 P_2O_5 - 0 K_2O); **ARF**: dosis alta de fósforo (100% del P_2O_5 como roca fosfórica, RF); **ARF+FD**: dosis alta de P (50% del P_2O_5 como RF y 50% como fosfato diamónico, FDA); **BRF+M**: dosis baja de P (25% del P_2O_5 como RF e inoculación con biofertilizante a base de HMA).

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 4 (2 tipos de cobertura y 4 tipos de fertilización) y 12 repeticiones repartidas en tres unidades de muestreo en cada tratamiento. Debido a la necesidad de utilizar unidades experimentales suficientemente grandes para evaluar el efecto del manejo sobre los componentes vegetal, animal y las propiedades del suelo (Carpenter, 1998), se utilizaron parcelas de aproximadamente 2,6 ha (75 m x 350 m) para cada cultivo de cobertura (BD y CM) y 2 ha para SN (100 m x 200 m).

Dentro de cada cultivo de cobertura se colocaron los tipos de fertilización en parcelas de 18 m x 350 m y dentro de cada tipo de fertilización, las unidades de muestreo fueron de 900 m² (15 m x 60 m). Las dimensiones, orientación y número de muestras a tomar en cada una de las parcelas experimentales se determinaron con base a un estudio previo de variabilidad espacial (Lozano *et al.*, 2004). La distribución de los tratamientos se presenta en la Figura III-1.

Manejo del ensayo

Para la siembra de las coberturas (año 2002) se realizó una preparación convencional superficial del terreno (dos pases cruzados de rastra), se aplicó roca fosfórica a razón de 300 kg ha⁻¹, incorporada con un pase de rastra; seis días después se sembraron las coberturas introducidas: 4 kg ha⁻¹ de semillas de BD y 3 kg ha⁻¹ de semillas de CM. A la SN se le dio el manejo tradicional de la zona (quema controlada).

A partir de 2005 se realizó una rotación de tres ciclos de maíz (2005 – 2006, 2006 – 2007 y 2007 – 2008) por un ciclo de frijol (2008). El maíz se sembró anualmente en época de lluvia (junio – septiembre), y el frijol a salidas de lluvia (septiembre - noviembre), ambos en siembra directa sobre los residuos de los cultivos de coberturas introducidos.

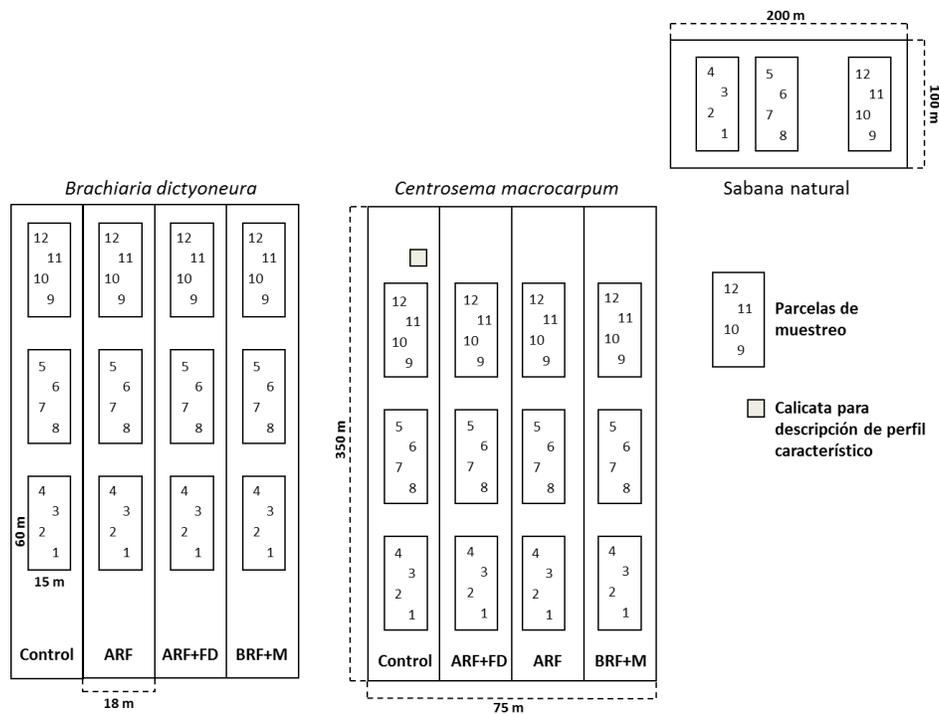


Figura III-1. Distribución de los tratamientos de cobertura y manejo de fertilización en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P₂O₅ como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P₂O₅ como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P₂O₅ como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). Los puntos de muestreo se identifican de 1 al 12 en cada subparcela.

Antes de la siembra del cultivo principal (maíz o frijol) en cada ciclo, se cortó la cobertura con una rotativa y se aplicó un herbicida de contacto. La fertilización basal para el cultivo principal se realizó en hileras con la sembradora-abonadora para siembra directa.

En los diferentes manejos de fertilización las cantidades de N, P₂O₅ y K₂O se establecieron cada año con base en el análisis de suelo. Se varió la fuente de fósforo, usando fuentes de baja solubilidad (RF), de alta solubilidad (FDA) y biofertilizantes (simbiontes nativos de HMA de los géneros *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Acaulospora* y *Glomus*). Como fuente de N se usó urea y como fuente de K (K₂O) el sulfato doble de potasio y magnesio. Posterior a la cosecha del maíz, los restos del cultivo y el rebrote de las coberturas se pastorearon con ganado bovino del tipo mestizo con predominancia de sangre cebú, se usó una carga animal aproximada de 2 ua ha⁻¹ y un peso promedio de 140 kg cada uno. El pastoreo del ganado fue *ad libitum* y tuvo un período de duración variable de año a año dependiendo de la disponibilidad de biomasa.

Muestreos y análisis con fines de caracterización y evaluación

Para la evaluación del efecto de los tratamientos de cobertura y fertilización sobre las propiedades del suelo, se realizaron muestreos en tres periodos climáticos durante cada ciclo (pre húmedo, húmedo y seco), que se correspondieron con diferentes etapas del ensayo. En el establecimiento de las profundidades de muestreo se tomó como base el espesor promedio de los dos primeros horizontes del suelo: A (0 - 15 cm) y E (15 - 30 cm), y con la finalidad de evaluar las variaciones en las propiedades del suelo producto de los residuos en superficie, se tomó como primera profundidad la capa de 0 - 5 cm del primer horizonte, quedando tres profundidades de muestreo: 0 - 5, 5 - 15 y 15 - 30 cm. Se realizaron evaluaciones en 11 épocas desde el inicio del ensayo hasta culminar los tres ciclos maíz – ganado y la rotación con frijol. La información sobre las épocas de muestreo se presenta en el Cuadro III-1.

En cada uno de los tratamientos (cobertura x fertilización), épocas y profundidades se tomaron 12 muestras no alteradas de suelo con toma muestras tipo Umland (cilindros de 5 cm diámetro x 5 cm alto); y 12 muestras disgregadas (compuestas) usando barrenos Oakfield (2,26 cm de diámetro). Otras determinaciones se realizaron directamente en campo. El muestreo para el análisis geoestadístico se describe en Bravo *et al.* (2013).

Las **muestras no alteradas** se mantuvieron a humedad de campo y en ellas se determinó: densidad aparente, distribución de tamaño de poros (porosidad total, porosidad de aireación y porosidad de retención), conductividad hidráulica saturada y cohesión en seco.

Las **muestras compuestas** se secaron al aire y tamizaron (2 y 4 mm) y en ellas se determinó: distribución de tamaño de partículas, los valores de humedad capacidad de campo y punto de marchitez permanente, estabilidad de agregados al humedecimiento, pH, conductividad eléctrica, acidez total e intercambiable, capacidad de intercambio catiónico, contenido de carbono orgánico total, nitrógeno orgánico total, nutrientes disponibles (NO₃⁻, NH₄⁺, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn), fraccionamiento secuencial de fósforo y la actividades de las enzimas ureasa y fosfatasa.

Directamente en campo se determinó: tasa de infiltración en el perfil y en cada uno de los horizontes identificados, resistencia a la penetración y el patrón de distribución de raíces. Los métodos utilizados para las evaluaciones se describen en el Cuadro III-2. Dadas las características propias de las poblaciones de macroinvertebrados, para su evaluación se establecieron épocas de muestreo diferentes que para el resto de las propiedades. En cada época se realizó un muestreo al azar estratificado por la técnica del muestreo manual directo. La estratificación se hizo dividiendo cada parcela en tres subparcelas iguales. Dentro de cada subparcela se seleccionaron al azar dos puntos de muestreo y cada muestra consistió de un monolito de 25 cm × 25 cm × 30 cm, dividido en estratos a las mismas profundidades que se usaron para evaluar las propiedades del suelo (0 - 5, 5 - 15 y 15 - 30 cm). La macrofauna colectada en campo se preservó en frascos con alcohol etílico (70%) hasta su procesamiento. Los detalles del muestreo y evaluaciones se presentan en Morales-Márquez *et al.* (2018)

Cuadro III-1. Descripción de las épocas de muestreo del ensayo ubicado en la Estación Experimental la Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Época de muestreo	Etapa del ensayo	DDE	Periodo climático
To:	Caracterización inicial.	0	Pre húmedo
T1:	Efecto de las coberturas (junio 2004).	671	Pre húmedo
T2:	Antes del corte de la cobertura en el 1 ^{er} ciclo maíz - ganado (junio de 2005).	1044	Pre húmedo
T3:	Floración en el 1 ^{er} ciclo maíz - ganado (agosto 2005).	1120	Húmedo
T4:	Después del pastoreo en el 1 ^{er} ciclo maíz - ganado (febrero 2006).	1303	Seco
T5:	Antes del corte de la cobertura en el 2 ^{do} ciclo maíz - ganado (junio de 2006).	1408	Pre húmedo
T6:	Floración en el 2 ^{do} ciclo maíz - ganado (septiembre 2006).	1506	Húmedo
T7:	Después del pastoreo en el 3 ^{er} ciclo maíz - ganado (mayo 2007).	1742	Seco
T8:	Antes del corte de la cobertura en el 3 ^{er} ciclo maíz - ganado (junio de 2007).	1783	Pre húmedo
T9:	Floración en el 3 ^{er} ciclo maíz - ganado (septiembre 2007).	1884	Húmedo
T10:	Después del pastoreo en el 3 ^{er} ciclo maíz - ganado (abril 2008).	2094	Seco
T11:	Cosecha del frijol en rotación (noviembre 2008).	2306	Seco

DDE: Días después del establecimiento del ensayo.

También se tomaron muestras de los cultivos de cobertura que sirvieron de residuos para la siembra del maíz y se determinó su calidad bioquímica. Estas muestras se analizaron por los métodos de referencia del Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Agronomía.

Análisis estadísticos y geoestadísticos

Los resultados obtenidos en las diferentes determinaciones se sometieron a un análisis exploratorio descriptivo, comprobación de los supuestos estadísticos y la detección y eliminación de valores anómalos. Se realizó el ANOVA y comparación de medias entre coberturas, tipos de fertilización, profundidades y época, según el caso. También se evaluó el grado de asociación de las variables a través de análisis de correlación y el análisis de variabilidad espacial. Para los análisis se usaron los programas STATISTIC v 6, STATISTIX v 8.0 para Windows, SPSS versión 11.0, CANOCO para Windows v 4.5, GS⁺ v 5.1 y SURFER v 8.0.

Evaluación de los sistemas de manejo propuestos

I. Caracterización inicial del suelo

Propiedades biológicas y químicas: En el Cuadro III-3 se presenta la caracterización biológica y química inicial del suelo bajo estudio, a las profundidades seleccionadas 0 a 5, 5 a 15 y 15 a 30 cm. De los datos presentados se aprecia que la respiración basal fue baja, similar a la señalada en otros suelos de sabana. La reacción fue fuertemente ácida en todas las capas analizadas, sin problemas de sales, con baja capacidad de retención de nutrientes debido a la textura gruesa, bajos contenidos de materia orgánica y macronutrientes, especialmente de P y Ca, sin problemas por Na. Los micronutrientes Cu, Zn y Mn, también se presentan en contenidos bajos, no así el Fe que presentó valores medios, posiblemente debido al tipo de material parental del suelo. Con excepción de los microelementos Fe, Cu y Zn, los mayores valores de los nutrientes se presentan a nivel superficial y disminuyen a medida que se profundiza en el perfil. Queda en evidencia que dada la baja fertilidad natural, para el desarrollo de cualquier cultivo en este suelo es necesaria la aplicación de fertilizantes.

Cuadro III-2. Métodos para la evaluación de las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo del ensayo ubicado en la Estación Experimental la Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Parámetro	Método utilizado y referencia
Distribución de tamaño de partículas.	Método del hidrómetro (Gee y Bauder 1986; Gee y Or, 2002).
Resistencia a la penetración.	Cada 5 cm con un penetrómetro de impacto de punta cónica de 0,25 cm ² de base (Nacci y Pla 1991).
Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente.	Humedad retenida a una tensión de -10 kPa y -1500 kPa en olla de presión (Pla, 1983).
Densidad aparente.	Método del cilindro en muestras de 5 cm x 5 cm (Blake y Hartge, 1986 descrito por Pla, 1983).
Distribución de tamaño de poros.	Porosidad total, poros de aireación ($r > 5$ mm) y poros de retención ($r < 15$ mm) en mesa de tensión (Blake y Hartge, 1986 descrito por Pla, 1983).
Conductividad hidráulica saturada.	Permeámetro de carga constante (Pla, 1983).
Cohesión en seco.	Módulo de ruptura en cilindros secos a 50 °C en Unconfined Compression Aparatus (Pla, 1983).
Infiltración instantánea.	Método del doble anillo (Pla, 1983).
Contenido de humedad	Método gravimétrico, por 24 h a 105 °C (Pla, 1983).
Agregados estables al humedecimiento.	Tamizado en húmedo por el método de Yoder modificado (Pla, 1983).
Reacción del suelo (pH).	Potenciométrico en agua en relación 1:1 y 1:2,5 (UCV, 1993; Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Conductividad eléctrica.	Conductométrico en relación suelo:agua 1:5 (UCV, 1993).
Acidez total e intercambiable.	Extracción con KCl y titulación (UCV, 1993).
Capacidad de intercambio catiónico.	Acetato de amonio 1 M, pH 7 (Anderson e Ingram, 1993).
Carbono orgánico total.	Combustión húmeda del CO por el método de Walkley y Black (Nelson y Sommer, 1996). $MO = CO \times 1,724$.
Nitrógeno orgánico total.	Digestión sulfuro-peróxica y destilación en microkjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).
Nitrógeno inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-).	Extracción con KCl 2 M y destilación en microkjeldahl (Anderson e Ingram, 1993).
Fósforo disponible.	Método Olsen (Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Fraccionamiento de fósforo.	Método propuesto por Hedley <i>et al.</i> (1982), modificado por Tiessen y Moir (1993).
Bases cambiables (K, Ca, Mg y Na).	Acetato de amonio 1 M, pH 7 (Gilabert <i>et al.</i> , 1990).
Microelementos catiónicos (Fe, Cu, Zn y Mn).	Extraídos con Mehlich 1 y detección por absorción atómica (UCV, 1993).
Actividad de la enzima ureasa.	Amonio liberado de la urea (Kandeler y Gerber, 1988).
Actividad de la enzima fosfatasa ácida.	r-nitrofenol liberado (Tabatabai y Bremner, 1969).
Macroinvertebrados.	Muestreo manual directo en monolitos (Anderson e Ingram, 1993).
Patrón de distribución de raíces.	Área y longitud de raíces por el método del perfil de pared o excavación (Böhm, 1979) en época de floración.
Rendimiento del cultivo.	Rendimiento en grano en un área de 3 m ² (1,5 m x 2 m), en cada uno de los puntos de muestreo.

Cuadro III-3. Caracterización inicial de las propiedades químicas del suelo (n = 108) en el ensayo ubicado en la Estación experimental la Iguana, municipio santa María de Ipire, estado Guárico.

Parámetro	Profundidad (cm)		
	0 - 5	5 - 15	15 - 30
Respiración basal (mg CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹)	3,33 ±2,1	-	-
Reacción del suelo (pH)	5,01 ±0,18	4,81 ±0,25	4,75 ±0,24
Acidez total (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,46 ±0,21	0,83 ±0,58	1,18 ±0,73
Aluminio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,16 ±0,09	0,34 ±0,23	0,50 ±0,31
Hidrógeno intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,30 ±0,18	0,49 ±0,42	0,67 ±0,53
Conductividad eléctrica (µS cm ⁻¹)	27,53 ±1,32	23,62 ±3,26	22,77 ±3,62
Capacidad de intercambio catiónico (cmol ₊ kg ⁻¹)	2,21 ±0,54	1,94 ±0,81	1,90 ±0,82
Materia orgánica (%)	1,33 ±0,30	1,23 ±0,26	1,04 ±0,27
Nitrógeno total (%)	0,039 ±0,01	0,032 ±0,01	0,028 ±0,01
Nitrógeno inorgánico, NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	21,34 ±11,18	17,23 ±8,45	15,73 ±9,54
Fósforo (mg kg ⁻¹)	11,30 ±3,26	10,01 ±3,62	8,67 ±3,26
Potasio (mg kg ⁻¹)	29,94 ±14,10	19,51 ±7,31	11,53 ±4,40
Calcio (mg kg ⁻¹)	89,64 ±25,21	63,15 ±27,87	38,11 ±14,76
Magnesio (mg kg ⁻¹)	51,35 ±16,94	47,19 ±12,07	39,11 ±14,66
Sodio (mg kg ⁻¹)	2,09 ±1,33	2,40 ±1,65	3,11 ±1,86
Hierro (mg kg ⁻¹)	44,61 ±22,07	53,36 ±25,03	54,38 ±24,96
Cobre (mg kg ⁻¹)	0,71 ±0,44	0,90 ±0,60	1,07 ±0,57
Manganeso (mg kg ⁻¹)	7,76 ±3,60	3,52 ±2,64	2,63 ±1,73
Zinc (mg kg ⁻¹)	1,07 ±0,57	0,86 ±0,37	0,79 ±0,39

Fuente: adaptado de Hernández *et al.* (2011) y Morales-Márquez *et al.* (2018).

Debido al pH ácido y los bajos contenidos de P y Ca, se planteó como alternativa para la fertilización de este suelo la aplicación de roca fosfórica, la cual al disolverse por la acidez del suelo sube el pH y aporta fósforo y calcio en forma progresiva, en lugar de aplicar cal agrícola, ya que pudiera existir el peligro de sobreencalado, dada la baja capacidad de intercambio catiónico del suelo. Para este suelo también es importante el aporte de materia orgánica, la cual al descomponerse pudiera suplir algunos elementos y además mejorar la capacidad de retención de nutrientes. Es importante destacar que las altas desviaciones estándares que se presentan en algunas variables son producto de la extensión de la parcela muestreada para la caracterización inicial (7,2 ha).

Propiedades físicas: con relación a las propiedades físicas del suelo bajo estudio, en el Cuadro III-4, se presentan los resultados para las diferentes profundidades. Se destaca en las tres capas las texturas gruesas (aF), con predominio en la fracción arena de los tamaños de 100 a 500 µm (finas y medias). Los contenidos de arcilla son bajos (6,83 a 10,06%) con un ligero aumento con la profundidad. Se destaca el predominio en todas las capas de las partículas del tamaño limo, arena fina y muy fina (más de 60%), las cuales por su forma laminar y baja cohesión, le confieren al suelo una gran susceptibilidad a la formación de sello superficial, que si se deja expuesto al impacto de gotas de lluvia, pudiera ocasionar problemas con la penetración de agua a pesar de la textura arenosa del mismo (Lozano, *et al.*, 2002). Por otro lado, los bajos contenidos de arcilla y la falta de plasticidad hacen que en este suelo no se presenten mayores limitaciones a la mecanización.

Los valores de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente se corresponden con los de un suelo de textura gruesa, así como el bajo contenido de agua aprovechable en todas las profundidades consideradas. La infiltración es muy rápida en todas las capas y la conductividad hidráulica saturada (K_{sat}), que es un índice de la permeabilidad, es rápida, moderadamente rápida y lenta en las capas de 0 – 5, 5 – 15 y 15 – 30 cm, respectivamente, según los rangos sugeridos por Porta *et al.* (1999). Estos resultados indican que el suelo no tiene limitaciones para la penetración de agua pero si para la retención de agua disponible.

Cuadro III-4. Caracterización inicial de las propiedades físicas del suelo (n = 96) en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Parámetro	Profundidad (cm)		
	0 - 5	5 - 15	15 - 30
% Arcilla	6,83 ±3,46	9,40 ±8,42	10,06 ±2,81
% limo	10,64 ±2,50	8,64 ±3,01	6,79 ±1,71
% arena total	82,47 ±4,59	82,52 ±10,57	80,96 ±7,67
% arena muy fina	3,48 ±0,77	5,43 ±3,71	5,44 ±0,96
% arena fina	51,49 ±6,92	49,21 ±10,94	51,37 ±4,29
% arena media	23,40 ±5,37	22,55 ±10,25	19,77 ±7,74
% arena gruesa	3,63 ±2,60	3,88 ±2,24	3,50 ±2,50
% arena muy gruesa	0,57 ±0,43	0,91 ±0,71	0,88 ±0,43
Clase textural	aF	aF	aF
Capacidad de campo (% p p ⁻¹)	14,29 ±1,58	13,33 ±0,89	12,25 ±1,18
Punto de marchitez permanente (% p p ⁻¹)	8,93 ±1,37	8,56 ±1,66	8,57 ±1,10
Agua aprovechable (% p p ⁻¹)	5,36 ±1,42	4,77 ±1,17	3,68 ±1,14
Infiltración básica del perfil (cm h ⁻¹)		2,89 ±0,98	
Infiltración de la capa u horizonte (cm h ⁻¹)	10,54 ±3,48	2,89 ±1,03	6,32 ±2,44
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,51 ±0,07	1,59 ±0,18	1,72 ±0,12
Conductividad hidráulica saturada (cm h ⁻¹)	10,38 ±6,34	6,71 ±1,42	1,16 ±0,82
Porosidad total (% v v ⁻¹)	44,77 ±7,37	39,33 ±6,52	33,20 ±8,19
Porosidad de aireación, r>15 μm (% v v ⁻¹)	15,70 ±3,41	11,53 ±1,15	5,98±1,10
Porosidad de retención, r<15 μm (% v v ⁻¹)	29,64 ±3,41	29,06 ±2,63	27,22 ±4,64
Cohesión en seco (kPa)	16,74 ±3,18	20,97 ±2,13	21,51 ±1,52
Agregados estables al humedecimiento (%)			
2000 - 850 μm	7,29 ±9,02	3,09 ±1,88	3,92 ±1,98
850 - 500 μm	5,53 ±1,68	10,19 ±5,73	12,60 ±5,00
500 - 250 μm	29,92 ±5,49	31,94 ±6,26	30,98 ±8,04
250 - 150 μm	19,28 ±2,74	14,53 ±3,99	14,38 ±2,38
< 150 μm	37,98 ±4,80	40,25 ±7,16	38,12 ±7,18

Fuente: adaptado de Hernández *et al.* (2011) y Vera *et al.* (2012).

Los valores del índice estructural densidad aparente (D_a) en las dos primeras capas están por debajo del límite crítico de 1,60 Mg m⁻³ señalado por Pla (1983) para la clase textural, mientras que en la última capa está por encima, lo que indica que el suelo no presenta problemas de compactación a nivel superficial, pero pudiera presentar problemas a nivel subsuperficial, lo que pudiera limitar la penetración de raíces a partir de los 15 cm de profundidad. Los valores de porosidad total (PT) estuvieron muy relacionados con los de D_a , a mayor D_a , menor PT.

En correspondencia con los mayores valores de D_a en la capa más profunda (15 a 30 cm), la proporción de poros de aireación (P_a) estuvo por debajo del límite de 10%, sugerido por Pla (1983) como limitante para agricultura de secano. No se presentaron limitaciones por la cohesión en seco, ya que en todas las capas se los valores se encuentran por debajo de 300 kPa (Pla, 1983). El contenido de agregados estables al humedecimiento también se corresponde con los de un suelo arenoso bajo en materia orgánica.

II. Cambio en las propiedades y procesos por efecto de los cultivos de cobertura y tipos de fertilización

Calidad nutricional de las coberturas: Las plantas herbáceas y leñosas se han utilizado tradicionalmente como barbechos biológicamente mejorados para restaurar fertilidad y controlar malezas en sistemas de cultivo (Kass y Somarriba, 1999). La selección de las mejores especies para barbechos mejorados toma en cuenta las concentraciones de nutrientes y otros compuestos en los tejidos de estas plantas, ya que estos afectan la tasa de descomposición de la biomasa y la liberación de los nutrientes al suelo (Palm, 1995; Mafangoya *et al.*, 1998).

En el Cuadro III-5, se presentan algunos parámetros de calidad de los residuos de la gramínea *Brachiaria dictyoneura* (BD) y la leguminosa *Centrosema macrocarpum* (CM), que se usaron como barbechos mejorados en los sistemas de manejo propuestos, en comparación con la vegetación natural característica de la sabana (SN). Se observa un mayor contenido de N, P, Ca, K y de Fe en CM que en BD. La relación C/N fue menor en CM que en BD, tal como era de esperarse por su mayor contenido de N. Por su parte la vegetación de la SN posee mayor lignina, celulosa, hemicelulosa y polifenoles que las coberturas introducidas (CM y BD).

La CM posee un mayor contenido de lignina y polifenoles que BD, lo que haría más lenta su descomposición, debido a que la molécula de lignina presenta un elevado peso molecular, lo que tienen un impacto negativo en la disponibilidad de los polisacáridos para su utilización por parte de los microorganismos (Segura *et al.*, 2007). En lo que respecta al contenido de celulosa y hemicelulosa, estos son mayores en BD que en CM, por lo cual se infiere que pudieran retardar la descomposición de ese material vegetal por parte de los organismos del suelo (Bending *et al.*, 1998).

Cuadro III-5. Calidad de los cultivos de cobertura introducidos y las plantas presentes en la sabana natural (n = 36), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Parámetro evaluado	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	<i>Centrosema macrocarpum</i>	Sabana natural
Biomasa aérea (g m ⁻²)	476,6 ±68,9	211,9 ±15,4	208,5 77,8
Carbono orgánico total (%)	38,3 ±4,6	34,9 ±3,8	33,3 ±1,6
Fósforo (%)	0,30 ±0,13	0,39 ±0,16	0,25 ±0,11
Nitrógeno, N (%)	1,43 ±0,27	3,17 ±0,58	0,82 ±0,12
Calcio (%)	0,32 ±0,09	0,79 ±0,18	0,55 ±0,21
Magnesio (%)	0,12 ±0,03	0,13 ±0,05	0,09 ±0,01
Potasio (%)	0,40 ±0,05	0,52 ±0,09	0,29 ±0,04
Hierro (mg.kg ⁻¹)	50 ±16	62 ±29	69 ±19
Cobre (mg.kg ⁻¹)	9,1 ±2,2	9,7 ±2,3	7,1 ±2,0
Manganeso (mg.kg ⁻¹)	71 ±19	59 ±14	57 ±17
Zinc (mg.kg ⁻¹)	1,7 ±0,5	1,8 ±0,5	1,4 ±0,5
Lignina, L (%)	5,4 ±1,2	9,2 ±2,4	13,5 ±0,74
Celulosa (%)	31,8 ±1,8	24,2 ±2,6	36,7 ±2,2
Hemicelulosa (%)	34,1 ±1,2	14,47 ±0,9	22,2 ±2,5
Polifenoles, PP (%)	6,7 ±1,2	8,4 ±2,1	8,9 ±0,4
Relación C/N	28 ±7	11 ±5	41 ±2
Relación L/N	3,8 ±0,6	2,9 ±0,8	16,2 ±1,1
Relación PP/N	4,68 ±0,73	2,64 ±1,04	10,85 ±0,26
Relación (L+PP)/N	8,5 ±0,9	5,7 ±0,9	27,1 ±1,2
Calidad del residuo (Palm <i>et al.</i> , 2001)	Mediana	Mediana	Mediana

Fuente: adaptado de Rodríguez *et al.* (2013).

Según las relaciones C/N, L/N, PP/N y (L+PP)/N, los residuos son de mediana a baja calidad (Thomas y Asakawa, 1993; Palm *et al.*, 2001). De los resultados se pudiese interpretar que las coberturas introducidas a pesar de tener mayor contenido de nutrientes que SN, los residuos serían de lenta descomposición, CM por poseer mayor contenido de lignina y polifenoles y BD por poseer mayor contenido de celulosa y hemicelulosa; sin embargo, a pesar de que la liberación de nutrientes es lenta en ambos residuos, predominan los procesos de mineralización sobre los de inmovilización.

Propiedades químicas del suelo: las principales limitantes de tipo químico que presentan los suelos de las sabanas bien drenadas venezolanas son la acidez y los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo disponibles. En el ensayo realizado en la Estación Experimental La Iguana sobre opciones de manejo conservacionista para mejorar los sistemas mixtos maíz-ganado, se evaluaron estas propiedades durante tres ciclos consecutivos. Los resultados se presentan a continuación.

Reacción del suelo (pH): El pH del suelo es uno de los atributos que tiene mayor influencia en el crecimiento de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales y aquellos que pueden llegar a niveles tóxicos, afecta la capacidad de intercambio catiónico en suelos con predominio de cargas variables y tiene influencia sobre la magnitud y composición de las poblaciones de los microorganismos del suelo (Solórzano, 1997).

En el ensayo sobre sistemas de manejo alternativos para las asabanas bien drenadas de Guárico, esta variable presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipo de cobertura, fuente de fertilización, con la profundidad y con la época de evaluación; además resultaron significativas las interacciones cobertura por fertilización y cobertura por época, pero la interacción cobertura por profundidad no resultó significativa. En todas las coberturas, tipos de fertilización y profundidades evaluadas, los valores de pH del suelo estuvieron entre 3,8 y 5,9, lo que los califica como de extremadamente ácido a moderadamente ácido, según los niveles descritos por Gilabert *et al.* (1990).

En la Figura III-2, se presenta una comparación de los valores de pH entre los tipos de cobertura (BD, CM y SN), para las profundidades y épocas evaluadas. Como se aprecia en la figura, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) por efecto de los cultivos de cobertura en todas las épocas, principalmente en las dos primeras profundidades, con los mayores valores en BD, los menores en CM e intermedios en SN, más evidentes en capa superficial (0 a 5 cm). Las variaciones del pH serían atribuibles a la descomposición de los residuos aplicados en superficie, a la formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del NH_4^+ proveniente del fertilizante aplicado al cultivo, tal y como lo sugieren Eckert (1991) y Gong *et al.* (2009).

La acidificación del suelo en la leguminosa (CM) pudiera estar asociada a una mayor absorción de Ca y la dependencia de la fijación biológica de N_2 de esta especie, lo cual puede resultar en un exceso de cationes en la planta y un flujo de H^+ a través de las raíces hacia la rizósfera para mantener la electroneutralidad de la célula, tal y como lo señalan Lozano *et al.* (2010): por el contrario, en la gramínea (BD) se produce una mayor absorción de aniones como el NO_3^- , el cual por reducción en las raíces de las células puede generar una gran cantidad de OH^- citoplasmático, el cual pudiera inducir la síntesis de ácidos orgánicos y provocar la extrusión de OH^- hacia la rizósfera, tal y como lo señalan Pérez *et al.* (2007).

Al comparar en pH entre tratamientos de fertilización dentro de cada cobertura, en BD (Figura III-3) solo se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipo de fertilización a partir de los 1044 dde y sin diferencias en la última fecha de muestreo a ninguna de las profundidades evaluadas. Las mayores diferencias entre tipos de fertilización se observa en la capa superficial (0 a 5 cm), pero no se presentó un tratamiento que presentara los mayores o menores valores a lo largo del ensayo. La tendencia general del pH fue a aumentar ligeramente a lo largo del periodo de evaluación, entre 0,2 y 0,5 unidades, efecto que se aprecia principalmente en la capa superficial.

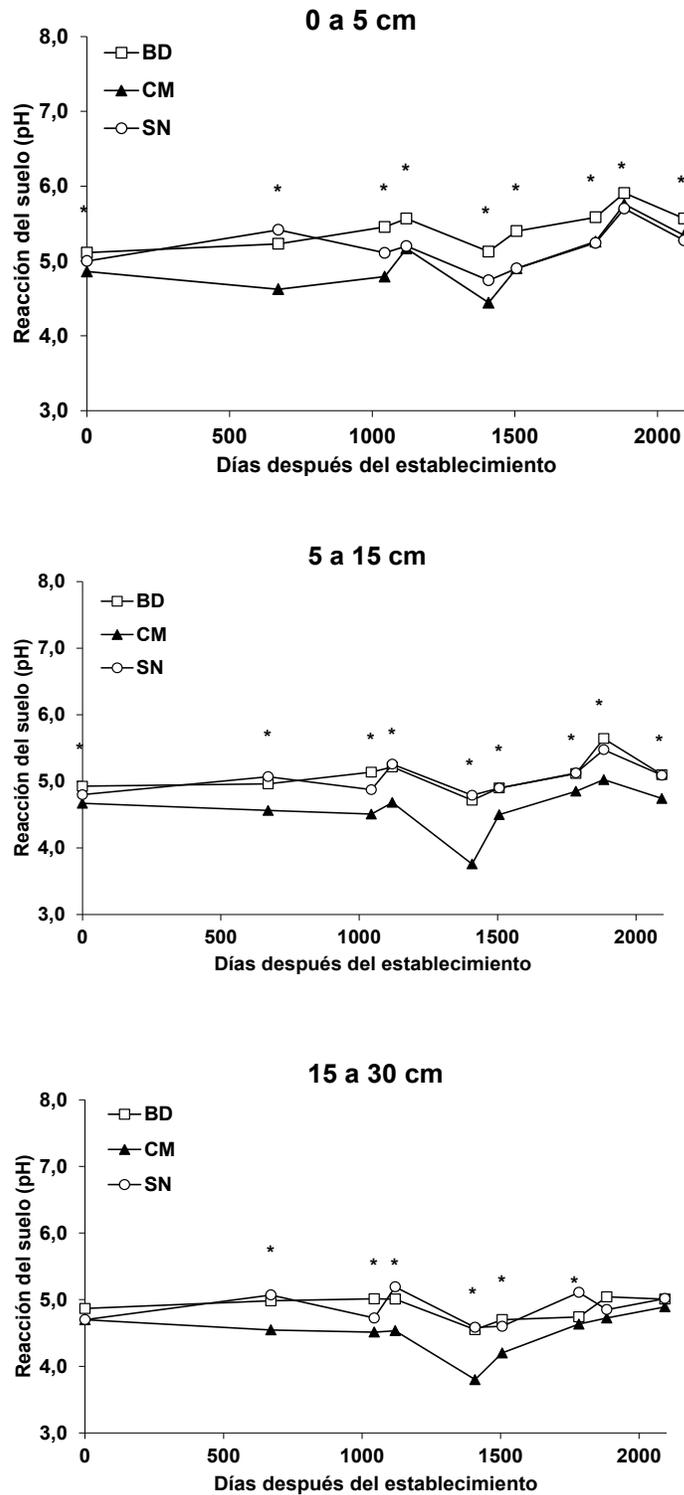


Figura III-2. Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los tipos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM) y sabana natural (SN) a las profundidades evaluadas, en el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **BD:** *Brachiaria dictyoneura*; **CM:** *Centrosema macrocarpum*; **SN:** Sabana natural. *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de cobertura para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Hernández-Hernández *et al.* (2011).

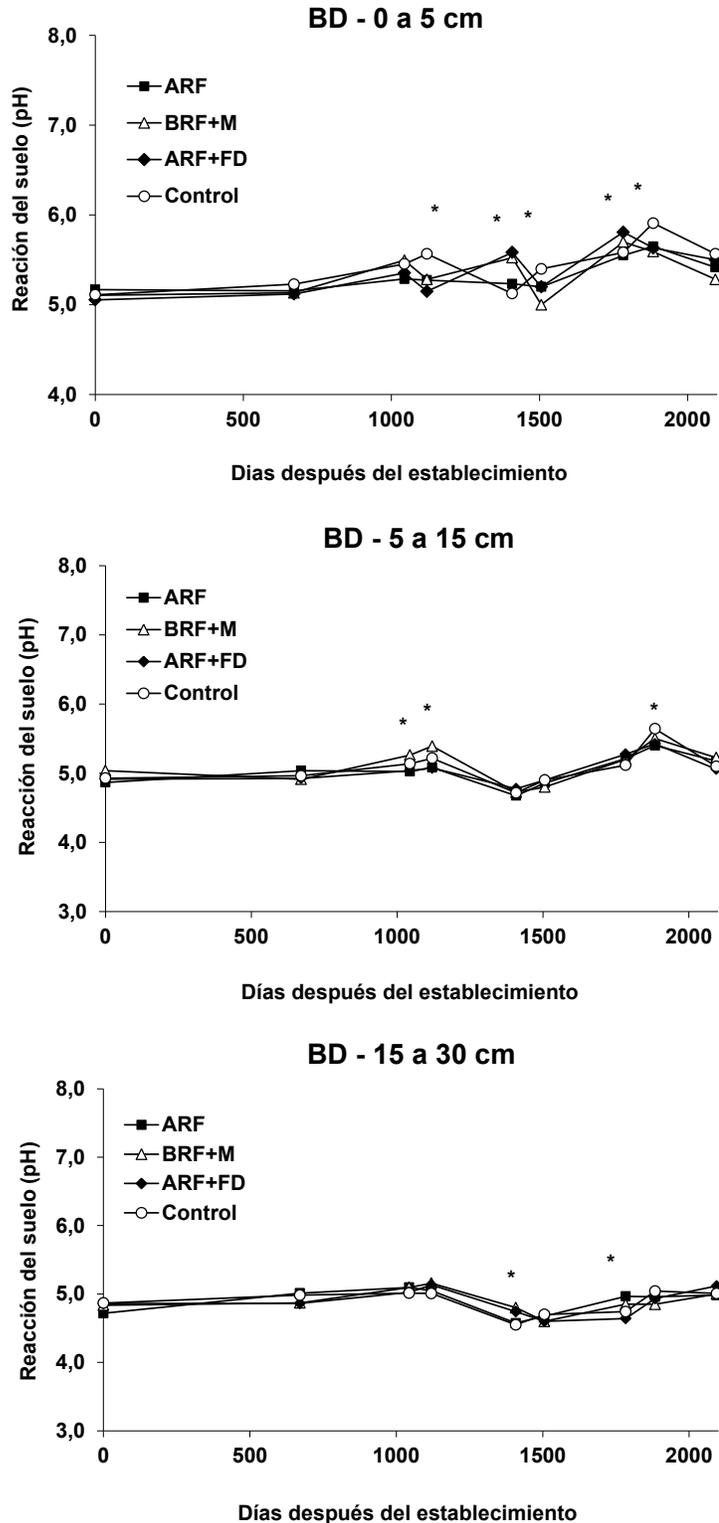


Figura III-3. Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas); *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de fertilización para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Hernández-Hernández *et al.* (2011).

Para la cobertura CM (Figura III-4), también se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre coberturas a partir de los 1044 dde, pero en esta cobertura es evidente que los mayores valores de pH se presentan en el tipo de fertilización Control (sin fertilización), en todas las épocas en la capa superficial y en la mayoría de las época en las capas más profundas. En esta cobertura la tendencia del pH fue a disminuir hasta los 1506 dde, posteriormente el pH aumentó en todos los tratamientos hasta valores similares a los iniciales, con excepción del tratamiento Control donde aumento 0,5 unidades en la capa superficial. Los mayores valores de pH a nivel superficial en todos los tipos de cobertura y fertilización, se pueden atribuir a la remoción de bases por parte de las raíces del cultivo, tal y como lo señalan Guzmán et al. (2006), quienes consiguieron una tendencia similar en un ensayo con sorgo.

Contenido de nitrógeno mineral (Nm): con relación al nitrógeno, Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron la dinámica del nitrógeno mineral ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) en el sistema de manejo propuesto maíz-ganado sobre cultivos de cobertura, durante cuatro épocas del ciclo 2007 – 2008. Los autores consiguieron que el contenido y la dinámica del elemento estuvieron afectados por la calidad de los residuos de los cultivos de cobertura. Los residuos de la CM, a pesar de sus altos valores de lignina (L) y polifenoles (PP), resultaron más mineralizables que los de la gramínea BD, lo que se pudo relacionar con su contenido de N y los menores valores de las relaciones L/N y (L+PP)/N.

Como se puede apreciar en la Figura III-5 para la profundidad de 0 – 5 cm, el N mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) en SN supera significativamente ($p < 0,05$) al de las coberturas introducidas (BD y CM) en la mayoría de las épocas (excepto a los 108 dds), esto podría ser consecuencia de la quema de las pasturas naturales unos meses antes de dicha fecha, práctica común en las sabanas naturales, lo que coincide con lo señalado por Gil y Medina (2001) y Choromanska y De Luca (2002), quienes encontraron que el nitrógeno inorgánico del suelo aumentaba en suelos que habían sido sometidos a la quema, en comparación con suelos sin quemar, aunque Hernández-Valencia y López-Hernández (2002) señalan que después de la quema, la deposición de ceniza sólo devuelve aproximadamente el 0,2% de N del suelo. Sin embargo, tal y como señala Primavesi (1998), el mayor contenido de Nm pudiera estar relacionado al aporte de Ca, K y Mg por la ceniza agregada al suelo, lo que promueve una cobertura más vigorosa y mayor entrada de residuos sujetos a la mineralización.

De las coberturas introducidas, la leguminosa CM se mineralizó más rápido puesto que este material vegetal tiene mayor contenido de N, y por esta causa este Nm fue utilizado por el cultivo en el momento de mayor demanda, sucediendo lo contrario con la gramínea BD cuyo N se libera más lentamente, no es absorbido por el cultivo y la concentración de Nm es mayor a los 108 dds. Esto coincide con lo señalado por diversos investigadores (Palm y Sánchez, 1991; Fioretto *et al.*, 2005).

La disminución del Nm con todas las coberturas y el testigo a los 150 dds, puede deberse principalmente al agotamiento del elemento en el suelo debida a la absorción por parte de las plantas, y el aumento a los 338 dds, correspondiente a la época después del pastoreo de ganado, se pudiera atribuir al efecto de la incorporación de las excretas del ganado. En la Figura III-5, también se aprecia que la dinámica del Nm a la profundidad de 5-15 cm, sigue una tendencia similar a la de la primera profundidad, pero los contenidos son menores. A esta profundidad los contenidos de Nm son mayores en CM que en BD en todas las épocas, lo cual pudiera deberse a que el mayor volumen de raíces se encuentra a esa profundidad.

En la evaluación de la dinámica del Nm bajo los distintos manejos de fertilización con BD como cobertura se presenta en la Figura III-6. Parte de Nm proviene de la fertilización mineral para el maíz y parte de la mineralización de los residuos de las coberturas y el maíz estimulada por la adición de fertilizantes, tal y como lo señalan Carpenter-Boggs *et al.* (2000). Para la tercera y cuarta época evaluada se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los manejos de fertilización, siendo el Nm mayor en el tratamiento donde se aplicó una baja dosis de P y se inoculó con hongos micorrícicos (BRF+M), lo cual influye sobre la biomasa microbiana y por ende sobre la liberación del Nm de los residuos (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000), al igual que ayudan en un incremento de la captación del N (Barea, *et al.*, 1987).

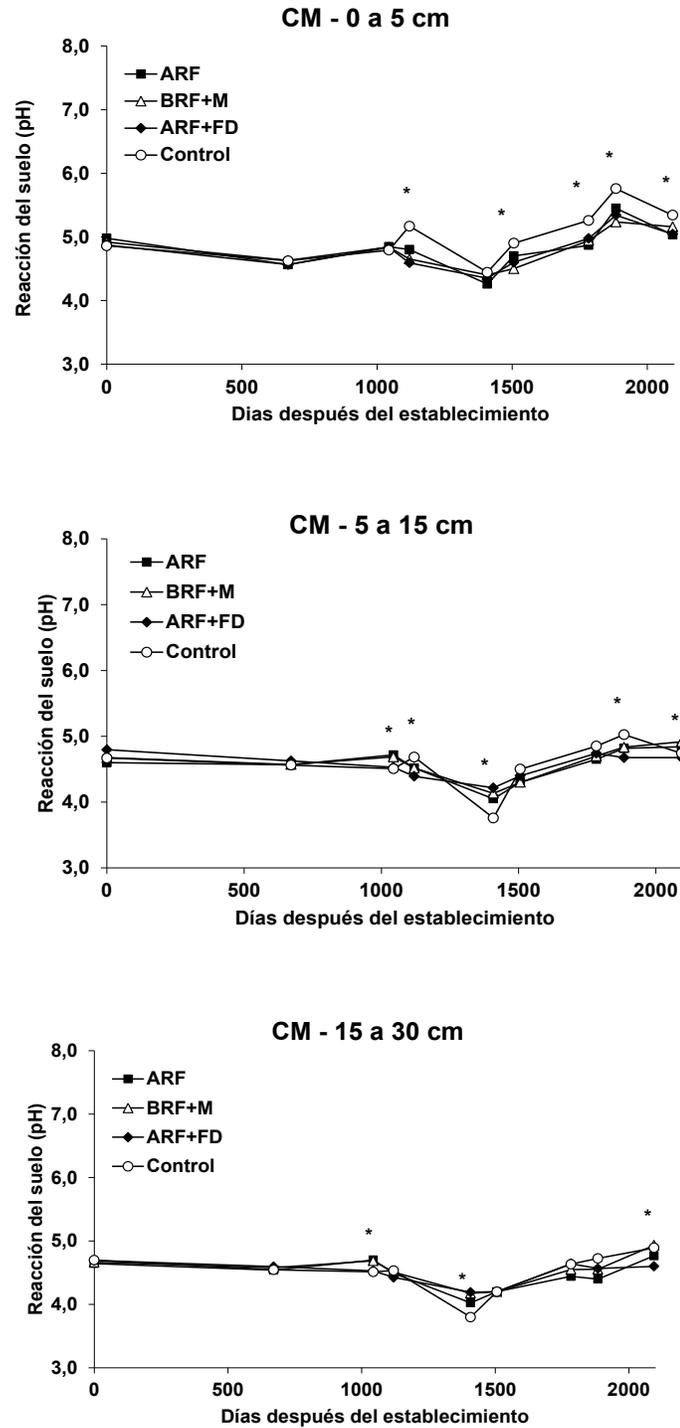


Figura III-4. Dinámica de la reacción del suelo (pH) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura *Centrosema macrocarpum*, a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas); *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de fertilización para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Hernández-Hernández *et al.* (2011).

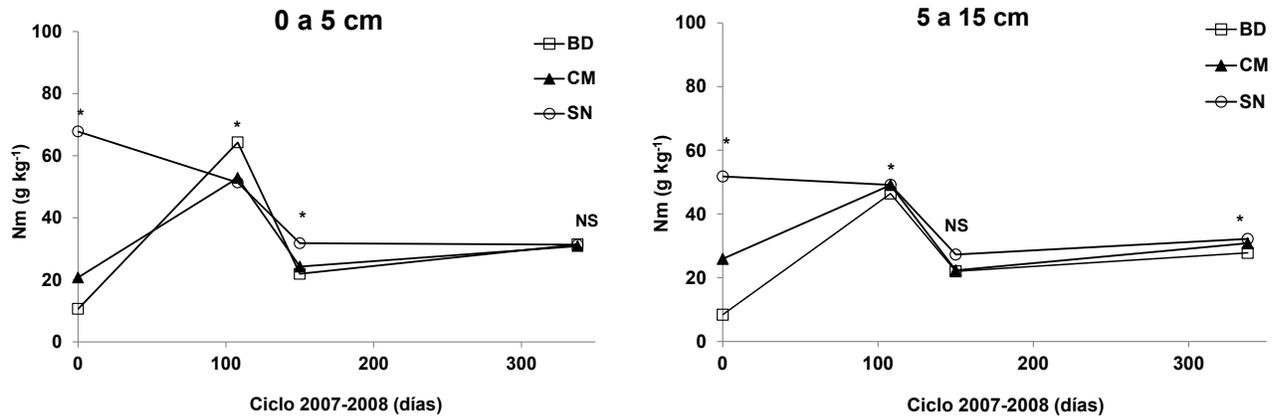


Figura III-5. Dinámica del nitrógeno mineral (Nm) a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes tipos de cobertura en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **BD:** *Brachiaria dictyoneura*; **CM:** *Centrosema macrocarpum*; **SN:** Sabana natural. *Indica diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura; **NS:** diferencias estadísticas no significativas. **Fuente:** adaptado de Rodríguez *et al.* (2015).

En la evaluación de la dinámica del Nm en los distintos manejos de fertilización con CM como cobertura se presenta en la Figura III-7. Se evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los manejos para cada una de las épocas evaluadas y el tratamiento con los mayores contenidos de Nm varió dependiendo del balance de los aportes vía fertilización o mineralización. Es importante señalar que la nodulación y por tanto la fijación de N atmosférico en las leguminosas como CM disminuye cuando se realiza una fertilización nitrogenada (Alves, *et al.*, 2009), por lo que en el tratamiento Control podría existir una mayor cantidad de N proveniente de la fijación, en comparación con los otros tratamientos, como se aprecia en la capa de 5 a 15 cm.

Contenido de fósforo disponible (P-Olsen): con respecto a este elemento, Lozano *et al.* (2012) en evaluaciones a largo plazo el fósforo disponible consiguieron que durante el periodo de evaluación los contenidos de P-Olsen presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) por efecto del tipo de cobertura, tipo de fertilización, con la profundidad y en la diferentes épocas consideradas. También se presentaron diferencias estadísticas en todas las interacciones para estas fuentes de variación (Figura III-8).

Las coberturas introducidas de la leguminosa CM y de la gramínea BD produjeron un incremento en el P-Olsen con relación a la vegetación característica de la sabana (SN) a todas las profundidades consideradas, con la siguiente tendencia a lo largo del periodo de evaluación: $CM > BD > SN$. En general, los valores de P-Olsen fueron de bajos a altos ($0,2$ a $26,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en las coberturas introducidas (BD y CM) y bajos para SN ($0,3$ a $6,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), según los niveles sugeridos por Gilbert *et al.* (1990). Las diferencias entre SN y las coberturas introducidas se podrían atribuir a la aplicación de fertilizantes para el establecimiento de los cultivos de cobertura y a la descomposición de los residuos de las mismas a lo largo del periodo de evaluación.

En el manejo de la fertilización de un agroecosistema de producción mixta maíz-ganado como el propuesto para las sabanas bien drenadas de Guárico, donde se ofrece como opción agroecológica la asociación del maíz con cultivos de coberturas que puedan servir como forrajes, también es importante el tipo de fertilización fosforada para lograr cambios que favorezcan la sustentabilidad del agroecosistema. En este sentido, se evaluaron diferentes tipos de fertilización fosfórica que incluyeron de rápida o lenta solubilización del P y fertilización biológica. La dinámica del contenido de P-Olsen para los diferentes tipos de fertilización en las coberturas BD y CM se presentan en las Figuras III-9 y III-10, respectivamente.

Se evidenció que con el tiempo se logran diferencias por el tipo de fertilización fosforada en las tres profundidades consideradas, bajo los dos tipos de cobertura, especialmente a partir de los 1044 días de establecido el sistema de coberturas asociadas al maíz.

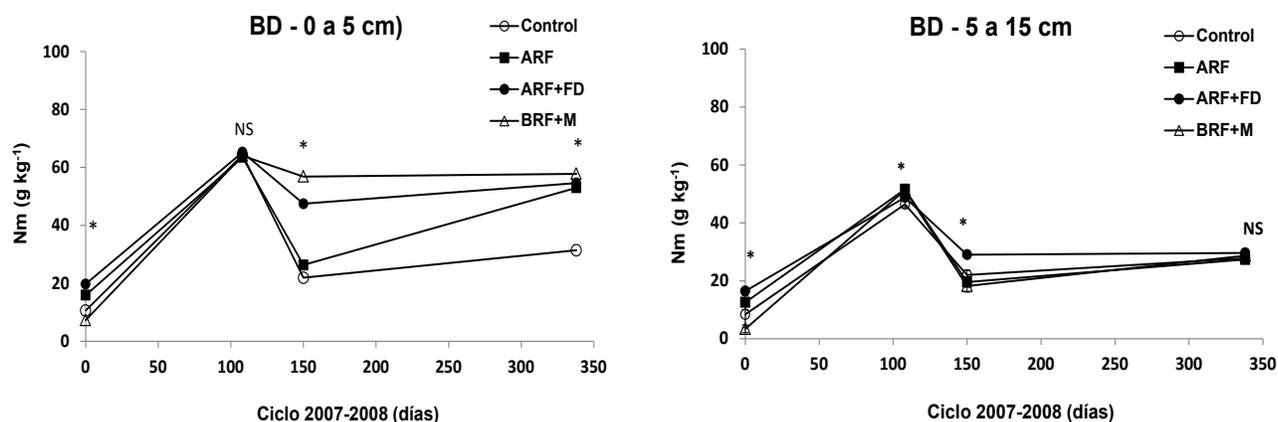


Figura III-6. Dinámica del nitrógeno mineral a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes manejos de la fertilización del maíz con la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). *indica diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre manejo de la fertilización; **NS:** diferencias estadísticas no significativas.. **Fuente:** adaptado de Rodríguez *et al.* (2015).

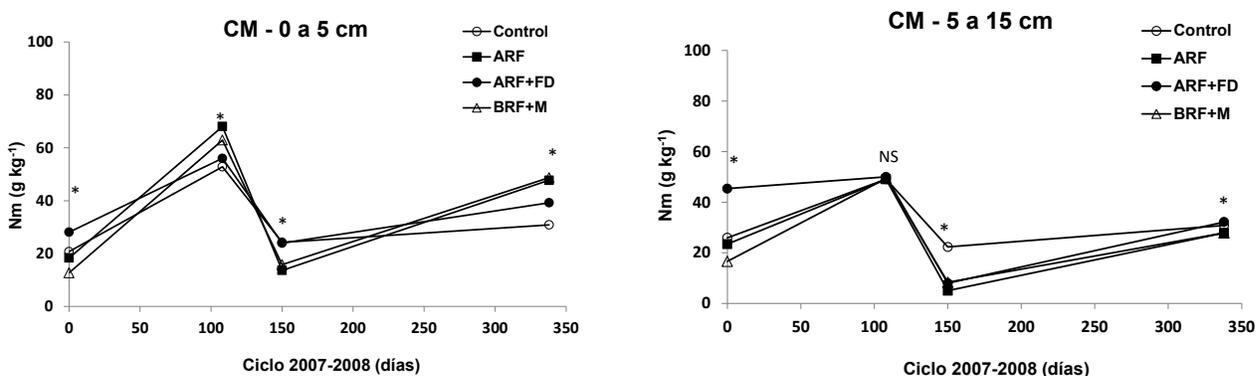


Figura III-7. Dinámica del nitrógeno mineral a las profundidades evaluadas y bajo los diferentes manejos de fertilización del maíz con la cobertura *Centrosema macrocarpum* (CM), en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas). *indica diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura; **NS:** diferencias estadísticas no significativas.. **Fuente:** adaptado de Rodríguez *et al.* (2015).

Para la cobertura de la gramínea (BD), en la Figura III-9 se aprecia que los mayores valores de P-Olsen ($3,7$ a $21,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) se presentaron en los tratamientos donde se aplicó al cultivo altas dosis de P, ya sea todo como roca fosfórica (ARF) o mezclado con la fuente soluble fosfato diamónico (ARF+FD) y los menores (entre $1,6$ a $10,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) cuando el maíz no era fertilizado (Control) o se usaban biofertilizantes (BRF+M). La tendencia de los tratamientos de fertilización fue $\text{ARF} > \text{ARF+FD} > \text{Control} > \text{BRF+M}$, con los mayores valores en las capas superficiales, lo cual se puede asociar a la naturaleza poco móvil del elemento y a la profundidad de incorporación del fertilizante fosforado. Las menores diferencias absolutas entre tratamientos de fertilización se presentaron en las épocas de floración del maíz (período húmedo) de tres ciclos continuos evaluados (1120, 1506 y 1884 dde), posiblemente debido a la absorción por parte del cultivo maíz.

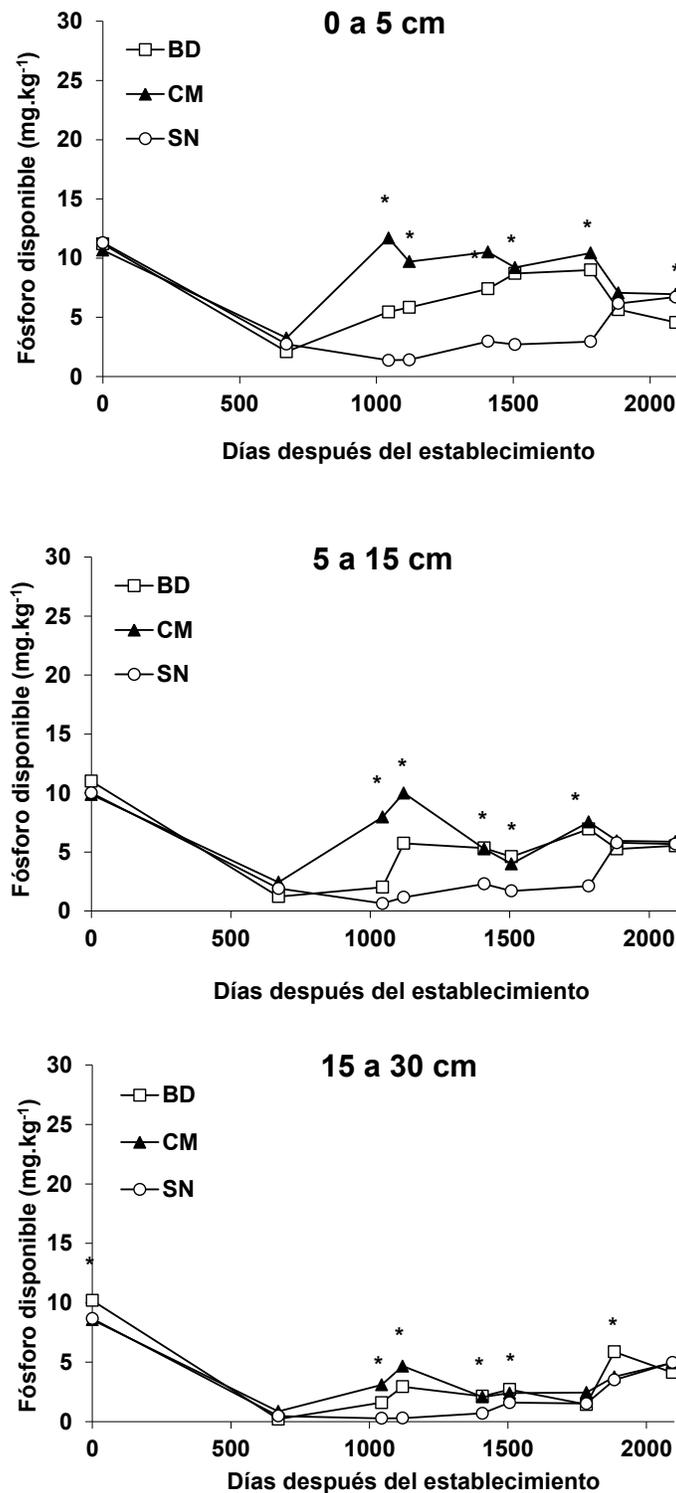


Figura III-8. Dinámica del fósforo disponible (P) en los tipos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM) y sabana natural (SN) a las profundidades evaluadas, en el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **BD:** *Brachiaria dictyoneura*; **CM:** *Centrosema macrocarpum*; **SN:** Sabana natural; *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de cobertura para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Lozano *et al.* (2012).

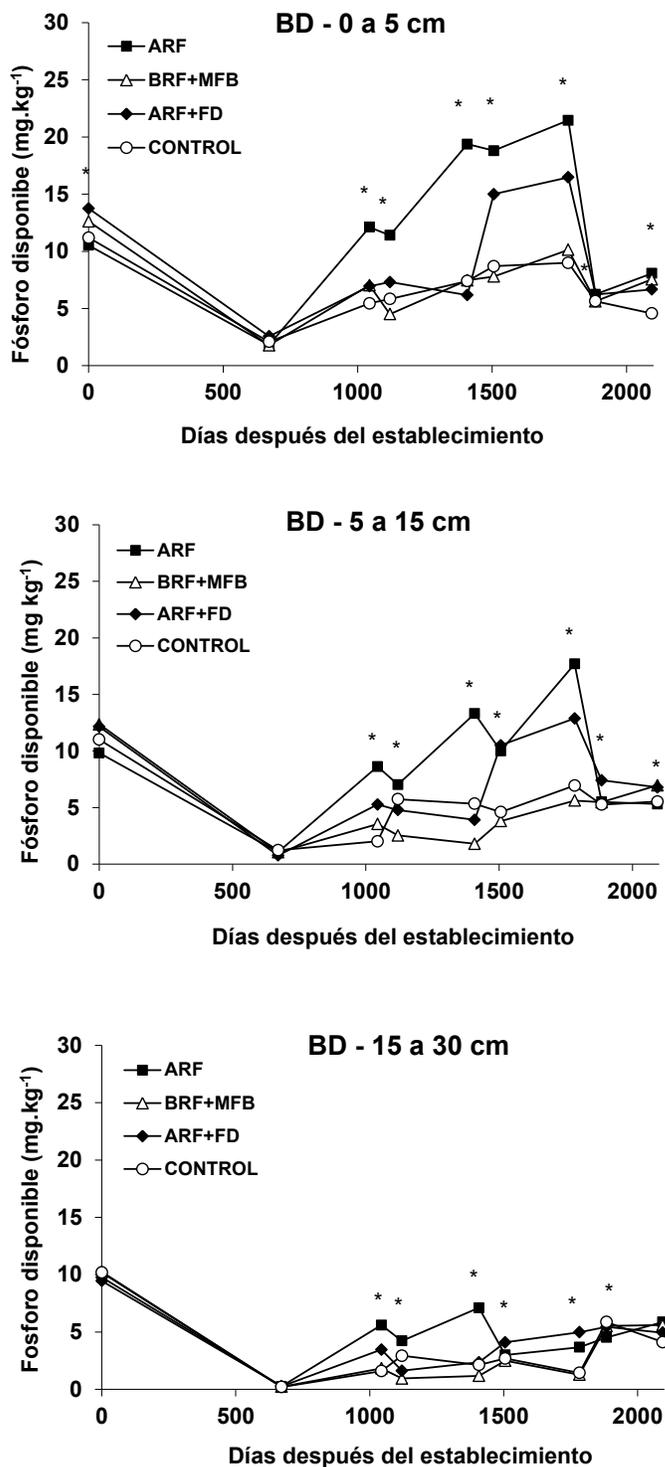


Figura III-9. Dinámica del fósforo disponible (P) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas); *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de fertilización para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Lozano *et al.* (2012).

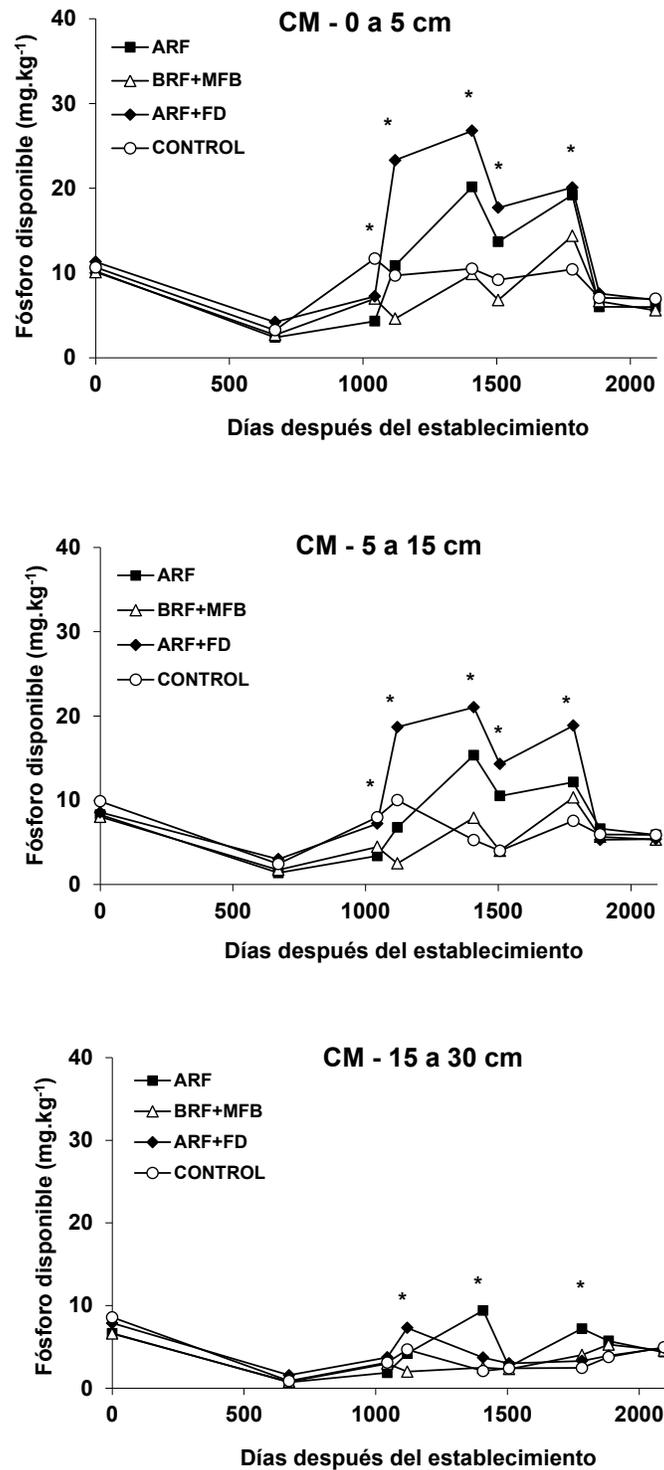


Figura III-10. Dinámica del fósforo disponible (P) en los cuatro tipos de fertilización para el maíz con la cobertura *Centrosema macrocarpum*, a las profundidades evaluadas durante el periodo 2002-2008, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización; **ARF:** dosis alta de P (100% P_2O_5 como roca fosfórica); **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P_2O_5 como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico); y **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P_2O_5 como roca fosfórica + inoculación con micorrizas); *Indica diferencias estadísticas significativas entre tipo de fertilización para una misma profundidad y época (Tukey, $p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Lozano *et al.* (2012).

Con la cobertura de la leguminosa (CM), el suelo del agroecosistema muestra evidencias de que el uso la mezcla fertilizantes fosforados de lenta y rápida solubilidad (ARF+FD), produjo los mayores valores de P-Olsen en la mayoría de la épocas y por lo menos hasta los 30 cm de profundidad, no así cuando no se fertiliza (Control) o se usa biofertilizantes (BRF+M). Pero a diferencia de lo que ocurre con la BD asociada al maíz, en el agroecosistema con la leguminosa CM, la tendencia de P-Olsen fue ARF+FDA>ARF>Control>BRF+M (Figura III-10).

En la dinámica del P-Olsen para estos sistemas de producción propuestos, los contenidos de P van cambiando y después de tres ciclos llegan a hacerse similares entre los agroecosistemas con las distintas fuentes de fertilización fosforada. Llegando a ser similares o inferiores a los iniciales, lo cual pudiera indicar una estabilización del P en sus formas menos disponibles como el ocluido, asociado a óxidos de Fe y Al o asociado al Ca.

Estas diferencias en el P-Olsen entre CM y BD con relación a los tratamientos de fertilización se reflejaron en los contenidos de nutrientes en tejido y en los rendimientos promedio del maíz para tres ciclos continuos del cultivo (Hernández-Hernández *et al.*, 2011). Cuando el cultivo de cobertura asociado fue BD, el mejor rendimiento promedio del maíz en los tres ciclos (5050 ± 721 kg ha⁻¹) se obtuvo al utilizar una dosis alta de P y una fuente de baja solubilidad (ARF). Asimismo, cuando el cultivo de cobertura asociado fue CM, el mejor rendimiento promedio del maíz en los tres ciclos (6381 ± 453 kg ha⁻¹) se obtuvo con una dosis de alta de P con la mezcla de fuentes de baja y alta solubilidad (ARF+FD).

Lozano *et al.* (2012) señalan que en el suelo existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico (Pi) y el orgánico (Po). Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen tanto natural como antropogénico, los cuales difieren ampliamente en su comportamiento y destino en suelos naturales y cultivados. Se estima que sólo el 10 - 20% del P aplicado como fertilizante es aprovechado por los cultivos durante el primer año, ya que la mayor parte es rápidamente fijado o precipitado a formas de baja solubilidad (Vance, 2001; Vu *et al.*, 2008). En suelos ácidos, la baja disponibilidad de P se genera por la alta reactividad de los fosfatos inorgánicos con los oxihidróxidos de Fe y Al, principalmente.

Bajo estas condiciones las fracciones de Po pueden estar envueltas en el ciclo estacional del elemento y constituir una fuente importante de P disponible para las plantas, el cual usualmente no es considerado en los análisis de rutina con fines de diagnóstico de fertilidad (López *et al.*, 2006). La cuantificación de los diferentes reservorios de P en el suelo proporciona información que puede contribuir a un mejor entendimiento de su dinámica para desarrollar sistemas de manejo más eficientes en el uso de los fertilizantes fosforados (Boschetti *et al.*, 2004).

Un método que ha demostrado ser apropiado para caracterizar la fertilidad fosfórica en los suelos ácidos de las sabanas (López-Contreras *et al.*, 2007) es el fraccionamiento secuencial propuesto por Hedley *et al.* (1982) y modificado por Tiessen y Moir (1993). Las fracciones extraídas corresponden a formas químicas que, de acuerdo a su estabilidad y facilidad de extracción, se podrían relacionar con su capacidad de ser transformadas a formas disponibles para las plantas. El uso de este método también permite estimar la cantidad de Po que puede ser mineralizado (Boschetti *et al.*, 2004).

El fraccionamiento secuencial proporciona información sobre la disponibilidad a corto, mediano y largo plazo de las formas de Pi y Po en el suelo, pero no de su composición estructural (Turrion *et al.*, 2007). Esta técnica permite evaluar cómo manejos específicos afectan el ciclaje de P en el suelo, a través de los cambios que se producen en las diferentes fracciones. Serán más sostenibles aquellos manejos en los que se produzca una mejora o conservación de las fracciones disponibles inmediatamente, a corto y mediano plazo, mientras que los menos sostenibles favorezca la reducción de las fracciones de mayor disponibilidad y el incremento de las fracciones más recalcitrantes (Hernández-Valencia, 2008).

En el Cuadro III-6 se presentan los contenidos promedios de las fracciones de P del suelo bajo estudio, realizada a los 1120 dde (floración del primer ciclo maíz-ganado). Sólo se realizó el fraccionamiento de P

para la capa superficial (0 - 5cm) y no se consideró el P residual, basado en los trabajos de Silva (2006), quien trabajando en el mismo suelo no consiguió diferencias en la fracción residual bajo ninguno de los tipos de cobertura, ni en las fracciones por debajo de los 5 cm de profundidad.

Las fracciones determinadas fueron: a) la retenida en una membrana de intercambio aniónico (Pi-MIA), que representa el P soluble e inmediatamente disponible; b) la extraída con bicarbonato de sodio 0,5 M (Pi-NaHCO₃, Po-NaHCO₃), que se considera como el P en equilibrio con la solución del suelo por el aporte de los coloides; c) con hidróxido de sodio 0,1M (Pi-NaOH, Po-NOH), que representan los fosfatos químicamente ligados a Fe⁺³ y Al⁺³; d) con ácido clorhídrico diluido 1 M (Pi-HCl_{dil}, Po- HCl_{dil}), que extrae los fosfatos orgánicos estables, los ocluidos y los adsorbidos en la superficie de compuestos cristalinos como sesquioxidos o carbonatos; y e) con ácido clorhídrico concentrado (Po-HCl_{con}), que extrae los fosfatos asociados a la materia orgánica particulada (MOP).

Estas fracciones representan compartimientos de P con diferente grado de disponibilidad para las plantas (lábil, moderadamente lábil y recalcitrante). En algunas de las fracciones se consideraron las formas orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi) de P. En la mayoría de las fracciones analizadas se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) por efecto del tipo de cobertura (excepto en Pi-HCl_{dil} y Po-HCl_{dil}), del tipo de fertilización y de la interacción cobertura \times fertilización (excepto Po-HCl_{con}).

De las fracciones de P evaluadas, la dominante en el suelo estudiado fue la fracción moderadamente lábil, con aproximadamente 80%. Entre las fracciones de Pi y Po, la predominante fue Po con un 51%. Al comparar la sumatoria del P extraído en todas las fracciones en las coberturas introducidas (BD y CM) con relación a la SN, en la mayoría se produjo un incremento promedio entre 12 y 38%. El mayor incremento en las coberturas introducidas con relación a SN fue en el Pi (76%) y en la fracción lábil (125%), producto posiblemente a la fertilización fosfórica aplicada, tal y como sugiere Hernández-Valencia (2008).

De las fracciones evaluadas, el Pi-MIA representó el 26, 50 y 30% de la fracción lábil para las coberturas SN, BD y CM, respectivamente. Los contenidos de P en esta fracción tuvieron la tendencia BD > CM > SN; por efecto de la fertilización se presentaron diferencias estadísticas dentro de las coberturas introducidas (BD y CM), con los mayores valores de P para ARF y ARF + FD y los menores para BRF + M y Control, lo que era de esperar por la menor o ninguna aplicación de P en los últimos.

Para la fracción P-NaHCO₃, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura y fertilización tanto en Pi como en Po. También se presentaron diferencias con relación al tipo de P predominante en las coberturas introducidas (Pi y Po). Todos los valores de Pi-NaHCO₃ en las coberturas introducidas fueron superiores a los de SN, los de Po-NaHCO₃ fueron superiores en todos los tipos de fertilización en la cobertura CM, pero para BD, sólo en el tratamiento Control. Ninguno de las coberturas evaluadas agotaron el Pi-NaHCO₃ del suelo y en promedio el contenido fue mayor en CM, con un incremento del 196% con relación a SN. El Po-NaHCO₃, considerado un pool relativamente disponible para las plantas, aumentó 51% en CM, pero disminuyó 5% en BD. Esta tendencia opuesta en las fracciones de P entre los cultivos de gramínea y leguminosa ha sido señalada por Li *et al.* (2008).

En la fracción Pi y Po extraídos con NaOH se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tipos de cobertura y fertilización, en el Pi-NaOH para ambas coberturas y en el Po-NaOH sólo para BD. Los mayores valores tanto de Pi-NaOH como de Po-NaOH se presentaron en la cobertura BD, con excepción del tratamiento ARF + FD, donde el Pi-NaOH de CM duplica el contenido en BD. Los valores de P-NaOH de este trabajo son superiores a los obtenidos por Siso (2007) al estudiar suelos de los órdenes Entisol, Vertisol y Ultisol de la misma zona, lo que se puede asociar al aporte de P por la fertilización para el cultivo de maíz. Los resultados contradicen lo señalado por Schmidt *et al.* (1996), quienes consiguieron que el Po-NaOH aumentó en respuesta al suministro de fertilizante, mientras que en este trabajo se encontraron valores más bajos de esta fracción en los tratamientos con la mayor dosis de fertilizante, BD-ARF y CM-ARF + FD.

Cuadro III-6. Diferentes fracciones de P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en la capa superficial del suelo bajo los tipos de cobertura y fertilización, para la época de floración del segundo ciclo maíz-ganado, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Profundidad (cm)	Tipo de fertilización	P-MIA (solución)		P-NaHCO ₃ 0,5 M (Adsorbido a los coloides)		P-NaOH (Quimioadsorbido)		P-HCl 1M (Estable, ocluido y cristalino)		P-HCl concentrado (Asociado a la MOP)		P-bio/Po
		Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	Pi	Po	
Sabana Natural		0,95	0,99	1,72	7,82	5,87	3,12	17,10	0,63	0,4		
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	Control	3,09c*	3,75a	2,56a	11,34a	5,47bc	2,92	17,23	0,00	0,7		
	BRF+M	3,53bc	2,03b	1,39b	5,30c	9,24ab	3,32	16,97	1,10	0,4		
	ARF	5,58a	2,32b	1,22b	11,93a	3,08c	7,65	12,75	0,95	1,1		
<i>Centrosema macrocarpum</i>	ARF+FD	4,14b	1,96b	1,34b	8,40b	12,68a	8,94	11,21	0,47	0,6		
	Control	2,37b	3,45a	2,35ab	10,91b	3,22	8,70ab	11,54bc	2,08	0,9		
	BRF+M	0,95c	1,06b	1,88b	2,58c	2,33	2,33c	18,11 a	1,42	0,2		
	ARF	4,93a	4,07a	2,77ab	11,64b	3,82	3,97bc	16,34ab	1,43	0,8		
	ARF+FD	2,44b	3,16a	3,41a	21,39a	0,93	11,05a	9,26c	1,10	1,8		
		Fracción lábil				Fracción moderadamente lábil				Fracción recalitrante		

Pi: fósforo inorgánico; **Po:** fósforo orgánico; **P-MIA:** fósforo extraído con membrana de intercambio aniónico; **P-NaHCO₃:** fósforo extraído con bicarbonato de sodio; **P-NaOH:** fósforo extraído con hidróxido de sodio; **P-HCl:** fósforo extraído con ácido clorhídrico; **MOP:** materia orgánica particulada; **P-bio:** fósforo biodisponible (Pi-MIA+Pi-NaHCO₃+Pi-NaOH); **Control:** sin fertilización; **BRF+M:** dosis baja de P (25% del P₂O₅ como roca fosfórica + inoculación con micorrizas); **ARF:** dosis alta de P (100% P₂O₅ como roca fosfórica); y **ARF+FD:** dosis alta de P (50% del P₂O₅ como roca fosfórica + 50% como fosfato diamónico). *Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tipos de fertilización en una misma cobertura (Tukey, p<0,05). **Fuente:** adaptado de Lozano *et al.* (2012).

Las fracciones P_i -MIA, P_i - NaHCO_3 y P_i - NaOH , actuaron como sumidero del P aplicado con los fertilizantes y del proveniente de la descomposición de residuos de las coberturas. El hecho de que en algunas fracciones se presenten los menores valores de P en el tratamiento BRF+M, en ocasiones menores al Control en ambas coberturas, se puede atribuir a que en este tratamiento se aplicó una dosis baja de P y en Control, a pesar de que no se aplicó P, el cultivo de maíz no se desarrolló, por lo que no hubo pérdidas por la absorción del cultivo.

En las fracciones de P extraídas con la solución de HCl_{dil} , el $P_o > P_i$ (1,3 a 7,8 veces mayor) en la mayoría de los tipos de fertilización, tanto en BD como en CM. Para esta fracción sólo se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para CM, donde hubo una tendencia contraria entre los tratamientos de fertilización para P_i - HCl_{dil} y P_o - HCl_{dil} . Los valores de P_i y de P_o en esta fracción fueron mayores a los señalados por Siso (2007) y Silva (2006) en suelos de sabana con características similares.

Por último, en la fracción P_o - HCl_{con} no se apreciaron diferencias estadísticas entre tipo de fertilización para ninguna de las dos coberturas introducidas. Los valores en SN fueron $< 1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, similares o ligeramente mayores a los de la cobertura BD, mientras que en CM los valores fueron el doble de los observados en SN.

Hernández-Valencia y Bautis (2005) señalan que en suelos de baja disponibilidad de P las plantas y los microorganismos compiten por el P en la solución del suelo, lo que favorece un rápido ciclaje a través de los procesos de mineralización-inmovilización, donde el P_o constituye una fuente importante para suplir estas demandas. Neufeld *et al.* (1999) por su parte, señalan que cuando el suelo se fertiliza esta competencia disminuye, produciéndose un aumento proporcional en el contenido de P disponible y una reducción en la tasa de recambio del P_o , por lo que proponen un índice que denominan **P biodisponible**, que permite comparar las deficiencia de P bajo diferentes manejos y condiciones texturales ($P \text{ biodisponible} = P_i\text{-resina} + P_i\text{-NaHCO}_3 + P_i\text{-NaOH} / P_o \text{ total}$). A medida que este índice es menor indica mayor deficiencia de P y por tanto el ciclaje de P_o debe ser más rápido para satisfacer las demandas de plantas y microorganismos. Los valores de este índice obtenidos para los tipos de cobertura y fertilización evaluados, muestran mayor deficiencia de P en SN y en el tratamiento BRF+M de ambas coberturas, con los mayores valores (> 1) en BD-ARF y CM-ARF+FD. Esto coincide con lo mostrado en las Figuras III-9 y III-10 y con los rendimientos del cultivo, mayores en el tratamientos ARF+FD para CM y en el tratamiento ARF para BD.

Propiedades físicas del suelo: el efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo y la distribución de las raíces del maíz, es discutido por Vera *et al.* (2012), quienes consiguieron que después de seis años de la introducción de los cultivos de cobertura de la leguminosa (CM) y la gramínea (BD), y los tratamientos de fertilización para el cultivo de maíz, se produjeron cambios en las propiedades físicas del suelo, en comparación con las condiciones iniciales; así como diferencias en el patrón de distribución de las raíces del maíz para los diferentes tipos de fertilización fosfórica.

En el Cuadro III-7 se presentan algunos índices estructurales como: densidad aparente (D_a), conductividad hidráulica saturada (K_{sat}) y porosidad total (P_t) del suelo para los diferentes tipos de cobertura y fertilización fosfórica en cada una de las profundidades de muestreo consideradas.

Los valores obtenidos en la D_a , en todos los casos están por debajo del límite crítico de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$ señalado por Pla (1983) para la clase textural areno francosa, e inferiores a los valores iniciales, principalmente en la capa superficial, lo cual puede atribuirse a la preparación del terreno para el establecimiento de los cultivos de cobertura y al efecto de las raíces de las coberturas (Bravo *et al.*, 2004). No se evidenciaron problemas de compactación producto de las labores mecanizadas para el cultivo o el pastoreo realizado en los tres ciclos consecutivos maíz-ganado previos a este muestreo.

La D_a no se afectó por el tipo de cobertura, ni por la aplicación de los tratamientos de fertilización fosfórica en ninguno de los cultivos de cobertura evaluados, pero si se apreció una tendencia a aumentar con

la profundidad, con los menores valores en la capa superficial, aumentando en las capas más profundas. Este incremento de la D_a con la profundidad, se puede atribuir al mayor contenido de arcilla; y fue similar al señalado por otras investigaciones realizadas en el mismo suelo (Bravo *et al.*, 2004).

Los valores de la K_{sat} son muy altos en la capa superficial, disminuyendo con la profundidad, pero sin alcanzar los valores señalados por Pla (1983) como limitantes para la penetración y movimiento de agua ($< 0,5 \text{ cm.h}^{-1}$). La mayoría de los valores de K_{sat} disminuyeron ligeramente con relación a los valores iniciales, especialmente en el tratamiento Control. En este sentido, muchos estudios han señalado que el manejo del suelo con labranza cero o siembra directa disminuye la permeabilidad del suelo en comparación con otros tipos de manejo (Reynolds *et al.*, 2000; Cameira *et al.*, 2003). Se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) por el tipo de fertilización fosfórica sólo en la cobertura BD en las capas más profundas, con los menores valores en el tratamiento Control, diferentes estadísticamente ($p < 0,05$) del resto de los tratamientos, lo cual puede atribuirse al escaso crecimiento de las raíces tanto de los cultivos de cobertura como del maíz en ese tratamiento. En campo, también se pudo apreciar en este tratamiento una menor cantidad de bioporos (poros formados por acción biológica), los cuales contribuyen al movimiento del agua a través del perfil.

Cuadro III-7 Propiedades físicas del suelo a las profundidades evaluadas bajo los tipos de cobertura y fertilización para la época después del pastoreo del ganado del tercer ciclo maíz-ganado, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico.

Cobertura	Tipo de fertilización	Profundidad (cm)	D_a (Mg m^{-3})	K_{sat} (cm h^{-1})	Pt (% v v ⁻¹)
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	0 – 5	Control	1,49	8,80	42,8c
		BRF	1,45	9,49	50,2a
		ARF	1,46	10,00	47,2ab
		ARF+FD	1,47	12,00	44,8b
	5 – 15	Control	1,57	1,96b	38,0b
		BRF	1,49	6,49a	45,5a
		ARF	1,54	5,55a	40,8b
		ARF+FD	1,50	7,68a	41,1b
	15 – 30	Control	1,60	1,77b	37,9ab
		BRF	1,52	5,82a	44,0a
		ARF	1,53	5,64a	41,4ab
		ARF+FD	1,48	7,39a	39,2b
<i>Centrosema macrocarpum</i>	0 – 5	Control	1,41	7,20	40,2
		BRF	1,47	6,27	38,5
		ARF	1,47	5,33	41,4
		ARF+FD	1,43	7,00	40,0
	5 – 15	Control	1,54	5,56	35,9
		BRF	1,60	5,78	33,1
		ARF	1,54	3,31	37,4
		ARF+FD	1,54	2,96	35,6
	15 – 30	Control	1,55	3,73	37,1
		BRF	1,60	5,39	35,9
		ARF	1,50	2,18	35,9
		ARF+FD	1,52	3,59	37,2

D_a : Densidad aparente, **K_{sat}** : Conductividad hidráulica, **Pt**: Porosidad total, **Control**: sin fertilización fosfórica, **BRF+M**: dosis baja de P como roca fosfórica (25% P_2O_5 + inoculación con micorriza), **ARF**: dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica), **ARF+FD**: dosis alta de fósforo (50 % roca fosfórica + 50% fosfato diamónico). *Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tipos de fertilización fosfórica para una misma cobertura y profundidad (Tukey, 95%). **Fuente**: adaptado de Vera *et al.* (2012).

Los valores de P_t presentaron una tendencia similar a los de D_a , lo que indica la alta relación entre estas variables. La P_t fue mayor en la primera capa las dos coberturas y en todos los tipos de fertilización. Los análisis estadísticos revelaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tipos de fertilización fosfórica sólo para la cobertura BD, con los mayores valores e BRF+M en todas las profundidades evaluadas y los menores en el tratamiento Control. En la cobertura CM la P_t disminuyó con relación a los valores iniciales en las capas de 0 a 15 cm. Resultados similares fueron presentados por Bravo *et al.* (2004), quienes consiguieron diferencias entre cultivos de cobertura y por efecto del pastoreo, en la capa superficial del perfil.

Para diagnosticar las posibilidades de penetración y movimiento de agua en el perfil del suelo y las condiciones de aireación, se debe considerar además de la P_t , la distribución de tamaño de poros en macro y microporos, los primeros son los poros de aireación y movimiento del agua y los segundos los de retención de agua (Martínez *et al.*, 2008). Los resultados de los o de poros de radio equivalente $> 15 \mu\text{m}$ (poros de aireación, P_a) y los poros de radio equivalente $< 15 \mu\text{m}$ (poros de retención, P_r) para los cultivos de cobertura, tipos de fertilización fosfórica y profundidades evaluadas, se presentan en las Figuras III-11 y III-12, respectivamente.

Los valores de P_a fueron en su mayoría superiores al 10%, señalado por Pla (1983) como limitante para agricultura de secano, y por Martínez *et al.* (2008), como aquel valor por debajo del cual se disminuye la respiración de las raíces, con excepción de la SN en las dos últimas capas; lo que indica que el sistema de manejo empleado de maíz en siembra directa sobre coberturas de la gramínea (BD) y la leguminosa (CM) y posterior pastoreo, mantuvo las buenas condiciones de aireación del suelo, tal como ha sido señalado por Bravo *et al.* (2004). Al analizar por tipo de cobertura (Figura III-11), se aprecia que los valores de P_a fueron mayores en CM, estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) de los de SN en la primera capa (0 a 5 cm) y similares entre los tres tipos de cobertura en las capas subsuperficiales.

La P_a fue mayor en la capa superficial (0 a 5 cm) y disminuyó en las capas subsiguientes. Se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) por efecto del tratamiento de fertilización fosfórica, tanto cuando el cultivo de cobertura fue BD, como con CM. Los mayores valores se presentaron en los tratamientos BRF+M y ARF para la cobertura BD y en BRF+M y Control para la cobertura CM, y los menores valores en el tipo de fertilización donde se combinaron las fuentes de baja solubilidad y solubles (ARF+FD) en ambos tipos de cobertura.

Por su parte los valores de P_r estuvieron entre 19 y 36%, mayores en la cobertura BD, principalmente a nivel superficial y disminuyeron a medida que se profundizó en el perfil (Figura III-12). Los valores de P_r en BD fueron similares a los iniciales, mientras que en CM se produjo una disminución entre 6 y 35%. Se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tipos de fertilización fosfórica en ambas coberturas. En BD los mayores valores de P_r se presentaron en el tipo de fertilización BRF+M; mientras que en CM fue en ARF a las tres profundidades consideradas. Del análisis de la distribución de tamaño de poros, se encontró que la mayor proporción de poros estuvo representada por la fracción de poros de retención.

Patrón de distribución de las raíces de maíz: las plantas tienen diversas estrategias para hacer frente a la deficiencia de P, ya sea mediante la reducción de la demanda de P a través de una tasa de crecimiento más lento, aumentando la eficiencia de uso interno de P, o aumentando la capacidad de adquisición de P por la alteración morfológica de las raíces, especialmente por de raíces finas en las etapas de crecimiento clave (Zhang *et al.*, 2012). Por su parte, Liu *et al.* (2004) expresan que bajo condiciones de bajo nivel de P en el suelo, las raíces incrementan su crecimiento lateral, lo que pareciera ser un mecanismo específico de adaptación a la baja disponibilidad de P.

En las Figuras III-13 y III-14 se presentan los diagramas del patrón de distribución de las raíces del maíz en los diferentes tipos de fertilización fosfórica para las coberturas BD y CM, respectivamente. Cualitativamente se pueden apreciar grandes diferencias en el patrón de distribución, tanto vertical como horizontal de las raíces del maíz, en cada combinación de cobertura y fertilización fosfórica.

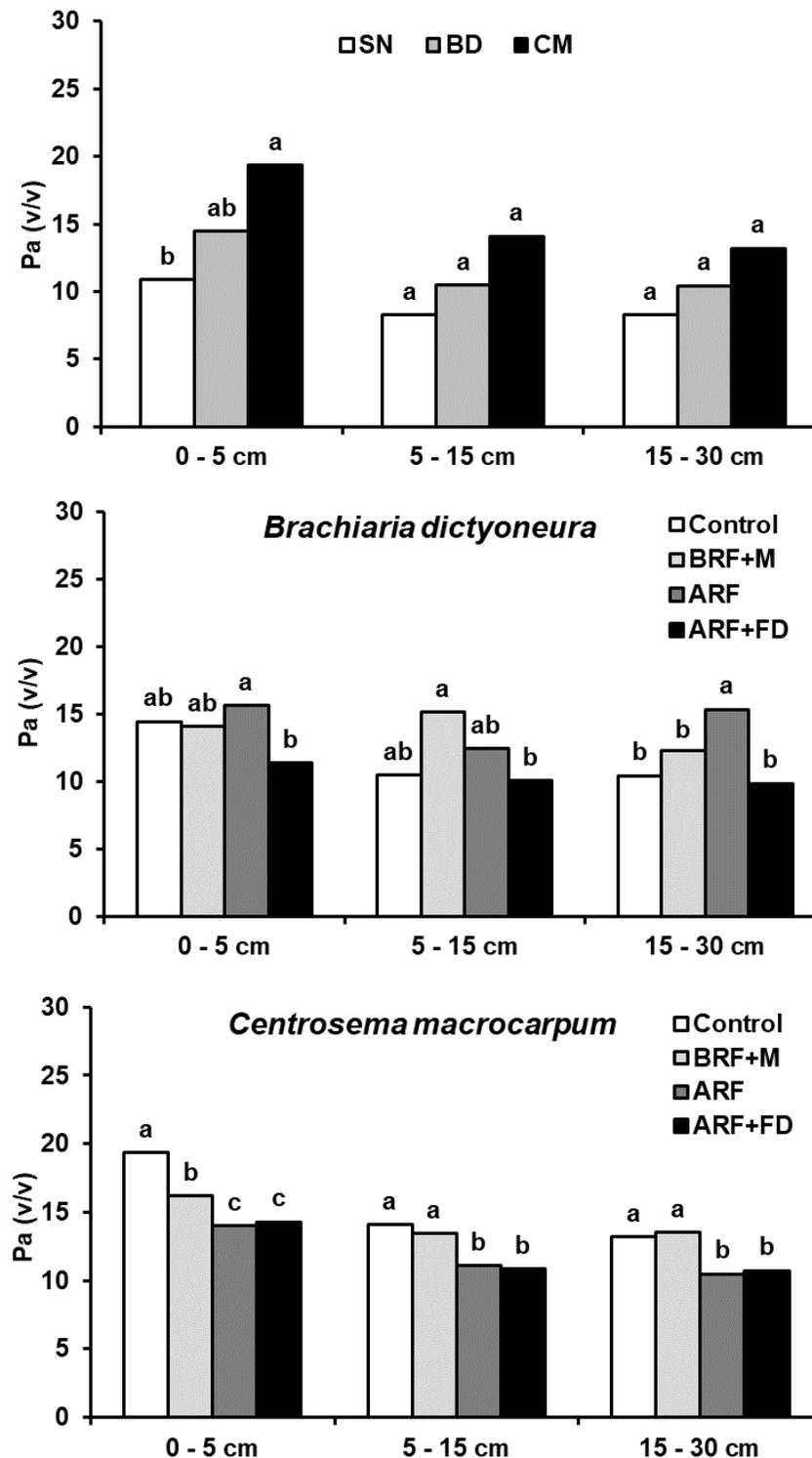


Figura III-11 Poros del suelo con radio equivalente mayor a 15 μm (Pa) a las profundidades evaluadas en las coberturas (Sabana natural, SN; *Brachiaria dictyoneura*, BD; *Centrosema macrocarpum*, CM), y los tratamientos de fertilización, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización fosfórica, SN: Sabana natural; **BRF+M:** dosis baja de P como roca fosfórica (25% P_2O_5 + inoculación con micorriza), **ARF:** dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica) y **ARF+FD:** dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico). *Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 95%) entre tratamientos de fertilización fosfórica para una misma cobertura y profundidad. **Fuente:** adaptado de Hernández-Hernández et al. (2011) y Vera et al. (2012).

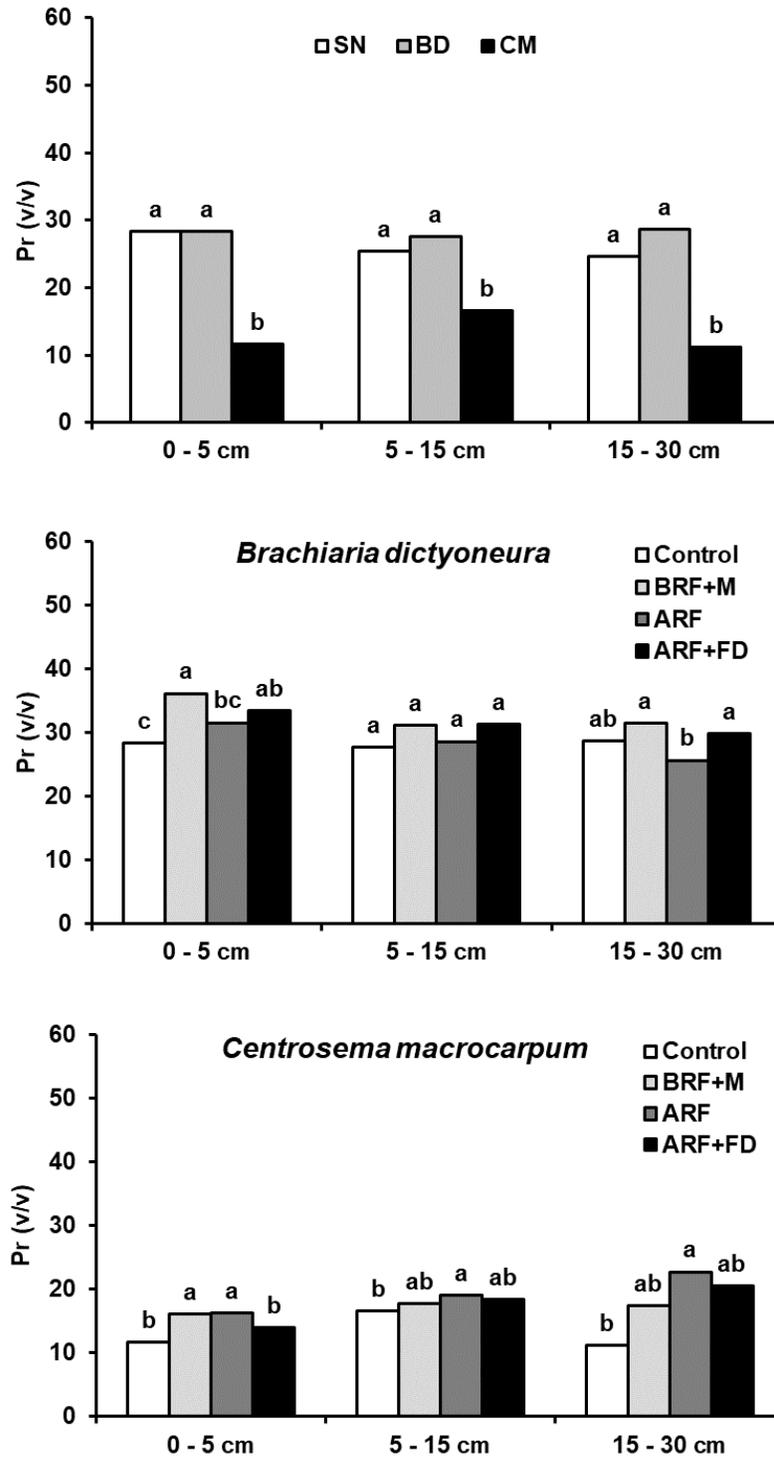


Figura III-12 Poros del suelo con radio equivalente menor a $15 \mu\text{m}$ (Pr) a las profundidades evaluadas en las coberturas (Sabana natural, SN; *Brachiaria dictyoneura*, BD; *Centrosema macrocarpum*, CM), y los tratamientos de fertilización, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control**: sin fertilización fosfórica, SN: Sabana natural; **BRF+M**: dosis baja de P como roca fosfórica (25% P_2O_5 + inoculación con micorriza), **ARF**: dosis alta de fósforo (100% P_2O_5 como roca fosfórica) y **ARF+FD**: dosis alta de fósforo (50% Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico). *Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 95%) entre tratamientos de fertilización fosfórica para una misma cobertura y profundidad. **Fuente**: adaptado de Hernández-Hernández *et al.* (2011) y Vera *et al.* (2012).

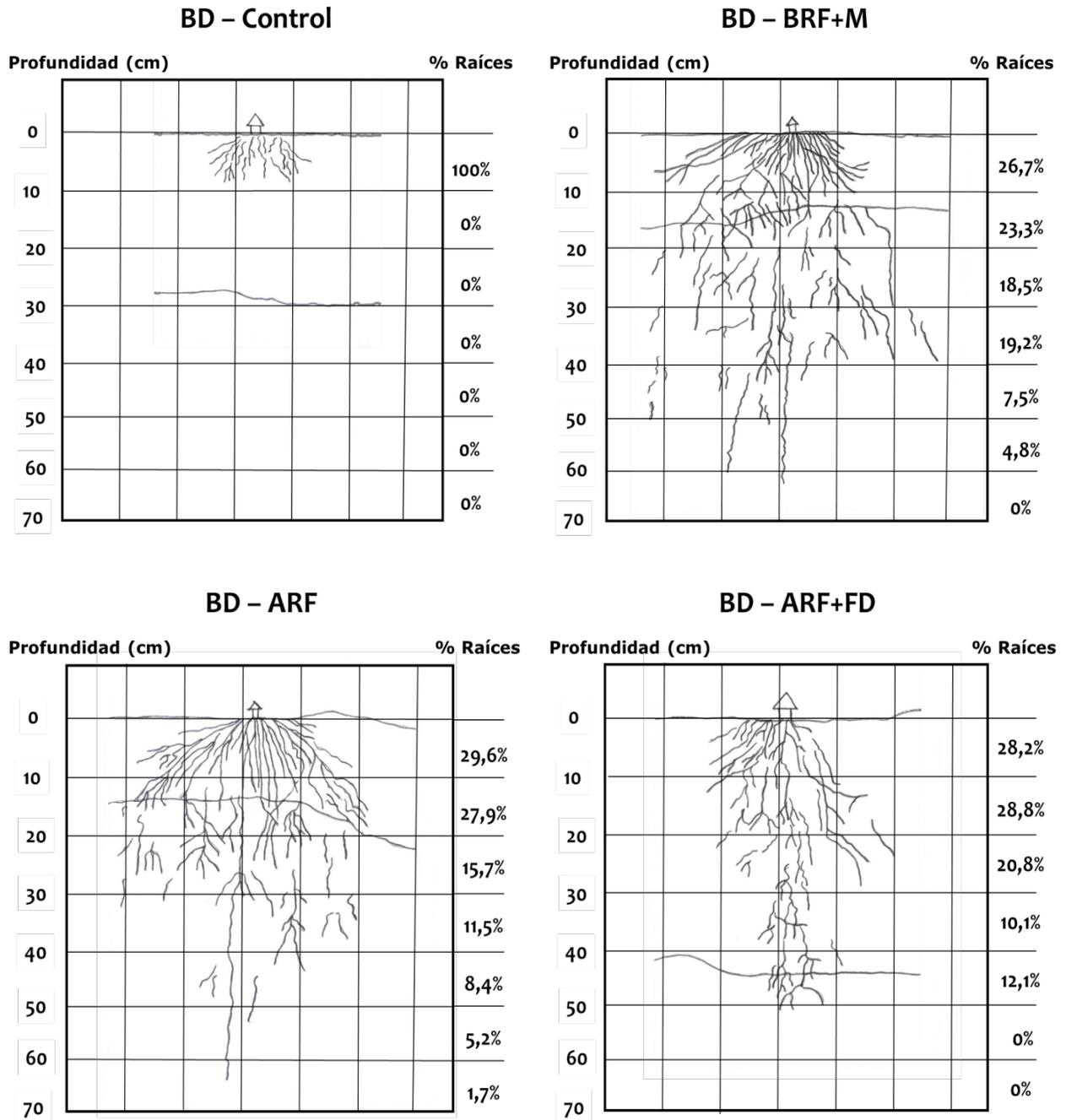


Figura III-13. Patrón de distribución porcentual de las raíces de maíz (*Zea mays* L.) sobre la cobertura *Brachiaria dictyoneura*, en los diferentes tratamientos de fertilización fosfórica, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización fosfórica; **BRF+M:** dosis baja de P como roca fosfórica (25% P_2O_5 + inoculación con micorriza); **ARF:** dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica) y **ARF+FD:** dosis alta de fósforo (50% roca fosfórica + 50% fosfato diamónico). **Fuente:** adaptado de Vera *et al.* (2012).

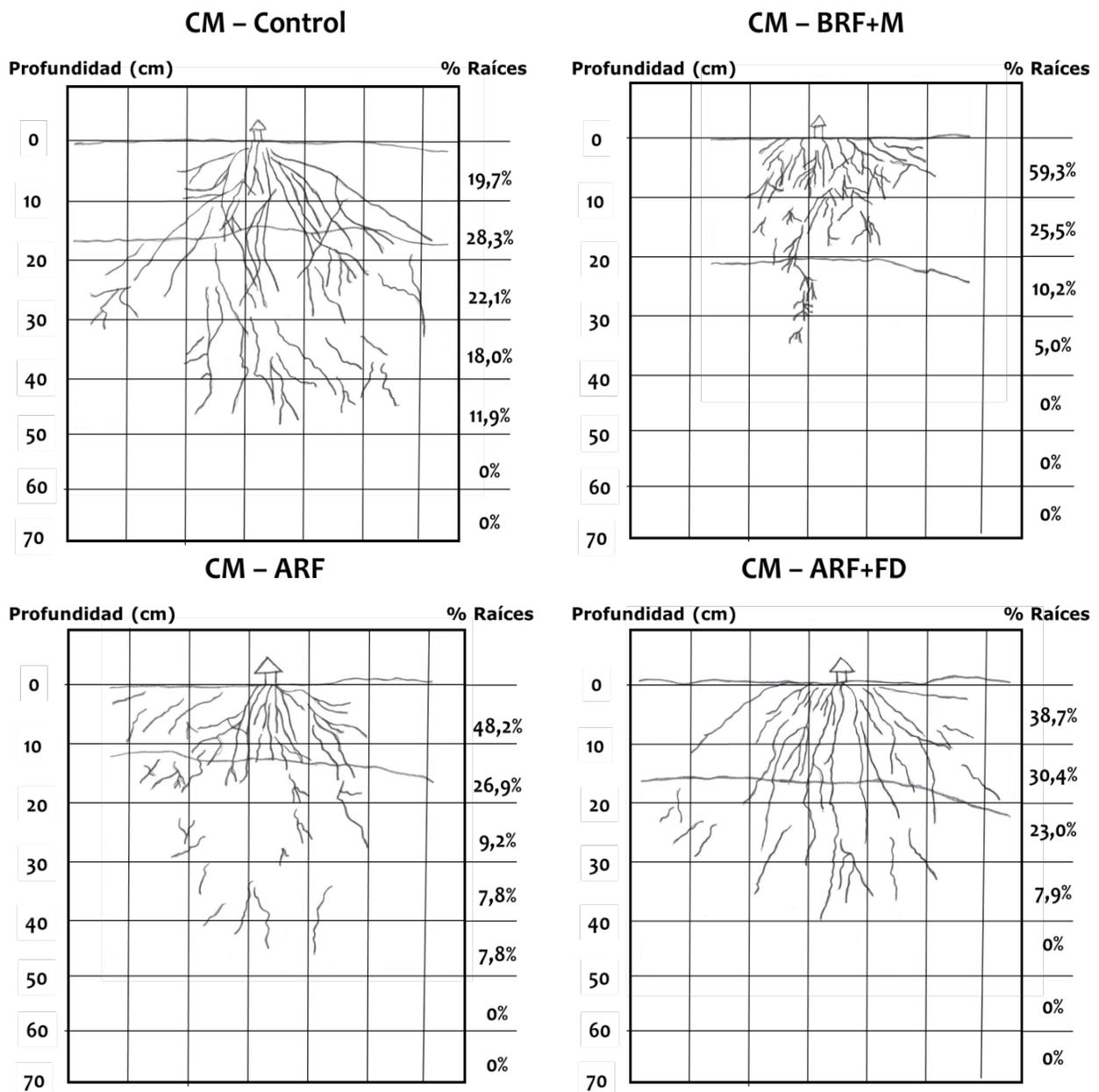


Figura III-14. Patrón de distribución porcentual de las raíces de maíz (*Zea mays* L.) sobre la cobertura *Centrosema macrocarpum*, en los diferentes tratamientos de fertilización fosfórica, en el ensayo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Control:** sin fertilización fosfórica; **BRF+M:** dosis baja de P como roca fosfórica (25% P_2O_5 + inoculación con micorriza); **ARF:** dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica) y **ARF+FD:** dosis alta de fósforo (50% roca fosfórica + 50% fosfato diamónico). **Fuente:** adaptado de Vera *et al.* (2012).

Cuando el cultivo de cobertura fue la gramínea (BD) se observó que en el tratamiento Control el 100% de las raíces se concentró en los primeros 10 cm, mientras que en los tratamientos fertilizados, las raíces alcanzaron a profundizar más allá de los 50 cm, observándose una mejor distribución en los tratamientos BRF+M y ARF. Cuando el cultivo de cobertura fue la leguminosa (CM) más del 50% de las raíces en el tratamiento Control se concentraron en los primeros 30 cm, mientras que el resto de los tratamientos se concentraron en los primeros 20 cm, presentándose un desarrollo más superficial en el tratamiento BRF+M.

La mejor distribución de raíces en la cobertura de gramíneas (BD) que en las leguminosas (CM) pudiera estar asociadas al tipo de sistema radical, fasciculado sin crecimiento secundario en BD y pivotante con ramificaciones laterales en CM, tal como lo señalan Roche *et al.* (1990). En este sentido, Chen y Weil (2001) señalan que en este tipo de sistema de manejo mejorado con cultivos de coberturas se deberían combinar los cultivos de gramínea con leguminosa, ya que la gramínea proporciona un mantillo sobre el suelo que ayuda a la conservación del agua y la leguminosa funciona como una labranza biológica que favorece la penetración de las raíces del cultivo principal, en nuestro caso el maíz.

Propiedades bioquímicas del suelo: a diferencia de las propiedades físicas y químicas del suelo, las propiedades biológicas y bioquímicas responden rápidamente al manejo del suelo y pudieran considerarse indicadores del efecto de los sistemas de manejo. En el trabajo realizado por Rodríguez *et al.* (2013), se evaluó la actividad enzimática como indicador temprano de calidad del suelo. Se evaluaron las enzimas ureasa y fosfatasa en las dos primeras capas (0 a 5 y 5 a 15 cm) del suelo manejado bajo el sistema maíz-ganado propuesto con cultivos de cobertura y diferentes fuentes de fertilización. En la Figura III-15 se presenta la comparación entre tipos de coberturas de la actividad de las enzimas ureasa y fosfatasa ácida para las tres épocas evaluadas: antes del corte de las coberturas (AC), en el periodo de floración del maíz (F) y después del pastoreo del ganado (DP), del ciclo maíz-ganado 2007 - 008.

En la enzima ureasa (Figura III-15a) los menores valores se presentaron en la época AC, luego aumenta para la época F y disminuyen posteriormente en la época DP para todos los tipos de cobertura, lo cual hace evidente el efecto de las condiciones de humedad del suelo sobre la actividad de esta enzima. En las tres épocas evaluadas se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre tipo de cobertura. La mayor actividad de la enzima se logró con los residuos de las coberturas introducidas (BD y CM) y los menores en SN. En la época F, los mayores valores se presentaron en CM, lo que pareciera indicar que el aumento en la disponibilidad de C y N puede aumentar la actividad enzimática, tal y como lo sugieren Gallo *et al.* (2004) y Waldrop y Firestone (2006).

En una investigación realizada por García *et al.* (2000), encontraron que la actividad ureásica era significativamente superior en el suelo enmendado con residuos con alto contenido de compuestos nitrogenados, en comparación con un suelo control. Pareciera que la presencia de los residuos de las coberturas BD y CM en la superficie, es suficiente para iniciar la formación de una biomasa microbiana, la cual activará el ciclo del N, entre otros, principalmente cuando el residuo es de leguminosa (CM), ya que la enzima ureásica no sólo cataliza la hidrólisis de la urea (fertilizante nitrogenado), sino que también participa en la hidrólisis de los sustratos tipo ureico naturales, como por ejemplo los productos resultantes de la mineralización del ácido nucleico (Burbano, 1989).

En la Figura III-15b se presenta actividad de la fosfatasa ácida para las tres épocas evaluadas. Al igual que para la enzima ureasa, se compara entre tipo de cobertura. Para esta enzima se presentó una tendencia diferente de acuerdo a la época, con diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) sólo en las épocas AC y DP. En todas las épocas los menores valores se presentaron cuando el residuo era la leguminosa (CM), lo que se puede atribuir a una inhibición de la enzima por una mayor disponibilidad de P en el suelo cuando se utiliza este cultivo de cobertura, tal y como lo señalan Lozano *et al.* (2012).

Los mayores valores en la época AC se presentaron para el residuo de la SN, mientras que en las dos épocas restantes los mayores valores se presentaron para el residuo de BD. Esta tendencia también se asoció a las variaciones temporales en los contenidos de la materia orgánica del suelo (MOS) con los distintos tipos de residuos (datos no presentados). En este sentido, Vuorinen y Saharinen (1996) consiguieron disminuciones en la actividad de esta enzima en suelos con alto contenido de MO y lo atribuyen a que la enzima queda adsorbida por la MOS de forma que es menos afín a su sustrato.

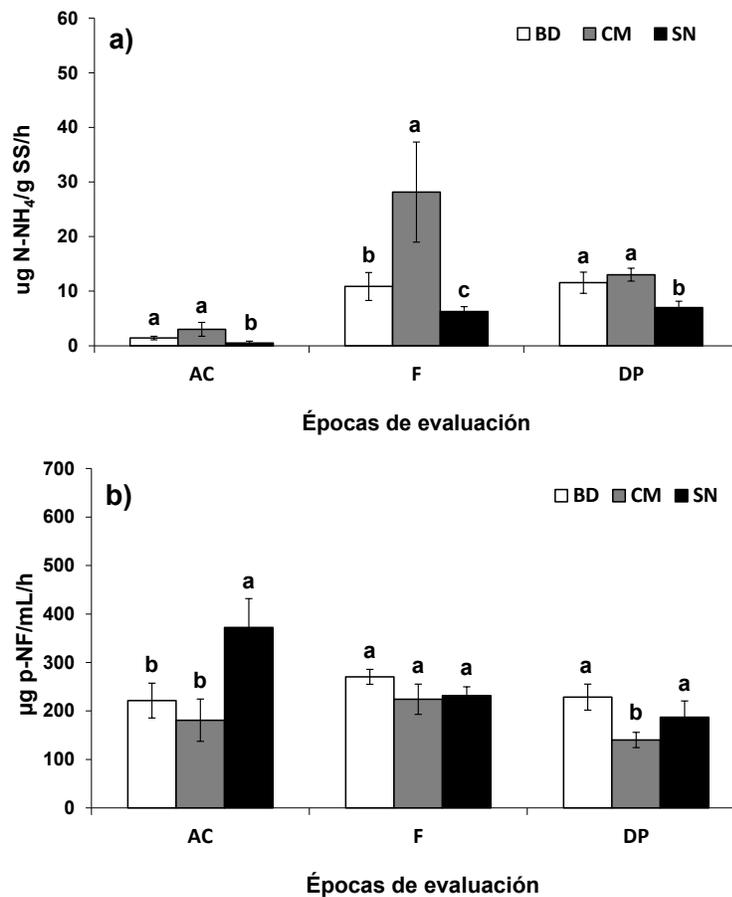


Figura III-15. Actividad de las enzimas a) ureasa y b) fosfatasa ácida para los tipos de cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD), *Centrosema macrocarpum* (CM) y Sabana natural (SN), durante el ciclo maíz ganado 2007 - 2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. AC: antes del corte; F: floración; DP: después del pastoreo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tipo de cobertura para una misma época. **Fuente:** adaptado de Rodríguez *et al.* (2013).

Al comparar la actividad de la enzima **ureasa** entre los tipos de fertilización fosfórica empleados para el cultivo de maíz, se consiguió que cuando el residuo era de la gramínea BD (Figura III-16), se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para la todas las épocas evaluadas, y los menores valores se presentaron en el tratamiento Control (sin fertilización); esto concuerda con lo encontrado por Palma *et al.* (1997), quienes señalan que la fertilización con urea indujo un incremento en la actividad de la enzima ureasa, ya que actúa como un sustrato enzimático. En todas las épocas los mayores valores se presentaron en los tratamientos ARF y BRF+M.

Es importante destacar que en el tratamiento BRF+M que consistió en una dosis baja de P y la inoculación con micorrizas, se obtienen resultados similares al tratamiento ARF con dosis alta de P, proveniente de fuentes de baja solubilidad (roca fosfórica).

Con relación a lo que se mencionó anteriormente, es necesario considerar la relación N:P, tal y como sugiere Bustamante *et al.* (2006), ya que en la zona rizoférica existe una actividad de microorganismos muy importante y que no sólo se le adjudica a las micorrizas sino a la cooperación que se presenta entre toda la microbiota existente en dicha zona (Barea *et al.*, 2002). En ARF+FD la fuente fosfórica es más soluble y de mayor disponibilidad tanto para el cultivo como para los microorganismos, lo que inhibe a la enzima, por lo tanto sus valores bajos y similares al Control, especialmente en las épocas AC y F.

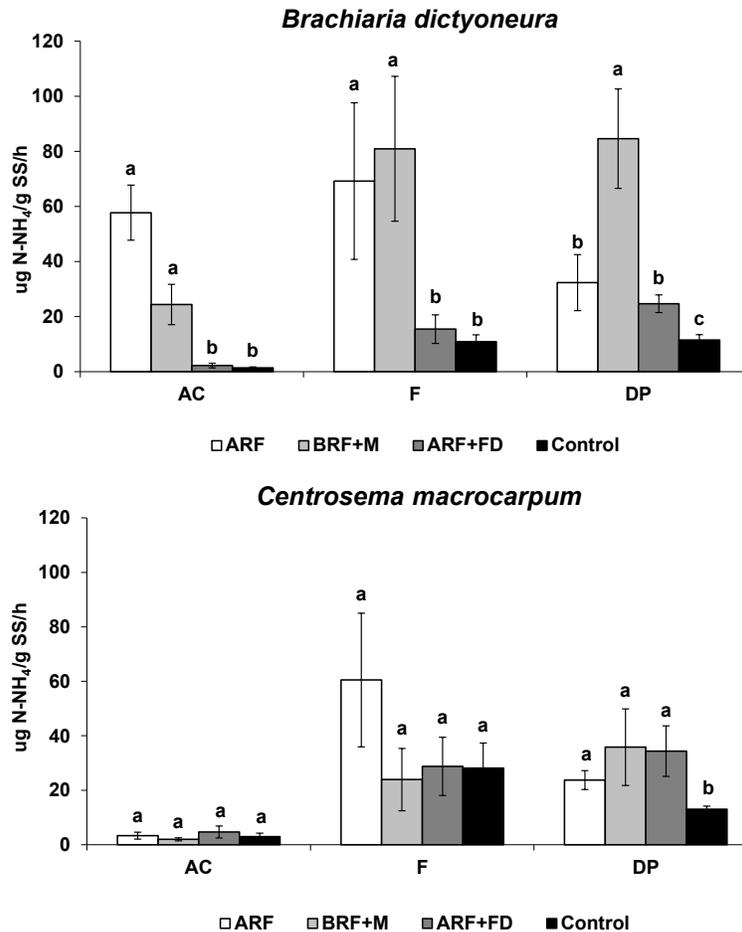


Figura III-16. Actividad de la enzima ureasa en la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM) para los diferentes tipos de fertilización durante el ciclo maíz - ganado 2007 - 2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **AC:** antes del corte; **F:** floración; **DP:** después del pastoreo. **Control**, sin fertilización, **BRF+M**, dosis baja de P (25% P_2O_5 como roca fosfórica inoculación con micorriza), **ARF**, dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica) y **ARF+FD**, dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico. ¹). Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tipos de fertilización para una misma época. **Fuente:** adaptado de Rodríguez *et al.* (2013).

Cuando el residuo es BD, a pesar de sus mayores contenidos de celulosa y hemicelulosa, al aplicar fertilizante se estimula la actividad de la ureasa. Cuando se usó CM como residuo, en las dos primeras épocas no se presentaron diferencias estadísticas en la actividad de la enzima, solo en la época DP, donde la actividad ureásica es significativamente menor ($p < 0,05$) en tratamiento Control (sin fertilización). En esta época las diferencias se pudieran atribuir a una menor proporción de residuos en el tratamiento sin fertilización, por lo cual disminuye la actividad ureásica (García *et al.*, 2000).

Para algunos tipos de fertilización tanto en BD como en CM la introducción del ganado (DP) produjo un aumento en la actividad de la ureasa. Este resultado concuerda con lo señalado por Zacheis *et al.* (2002), quienes indican que el incremento en la actividad enzimática se debe a un suministro extra de MOS debido al aporte de estiércol del animal; pero es contrario a lo expresado por otros autores como Cao *et al.* (2004). Estos investigadores señalan que también se puede provocar un detrimento en la actividad enzimática asociado a la perturbación de la estructura del suelo por el pastoreo.

Con relación a la actividad de la enzima fosfatasa ácida (Figura III-17), al comparar entre tipo de fertilización, se encontró que tanto para los tratamientos cuyo residuo era BD como para aquellos cuyo residuo era CM, sólo se presentaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre tipos de fertilización para la primera época (AC), lo que indica que las labores agronómicas de fertilización fosforada, independientemente de la fuente, y el pastoreo uniformizan las condiciones de suelo y no permitieron evidenciar el efecto de los tratamientos de fertilización.

En la época AC con el residuo de gramínea (BD), los mayores valores de fosfatasa se presentaron en ARF y BRF+M, mientras que con el residuo de leguminosa (CM) los mayores valores se presentaron en BRF+M, lo que pudiera estar relacionado con la presencia de una fuente de fósforo menos soluble como lo es la roca fosfórica, tomando en cuenta que los mecanismos enzimáticos se ven inhibidos por una mayor disponibilidad de nutrientes, especialmente el P lábil en el suelo, tal y como lo sugieren Olander y Vitousek (2000).

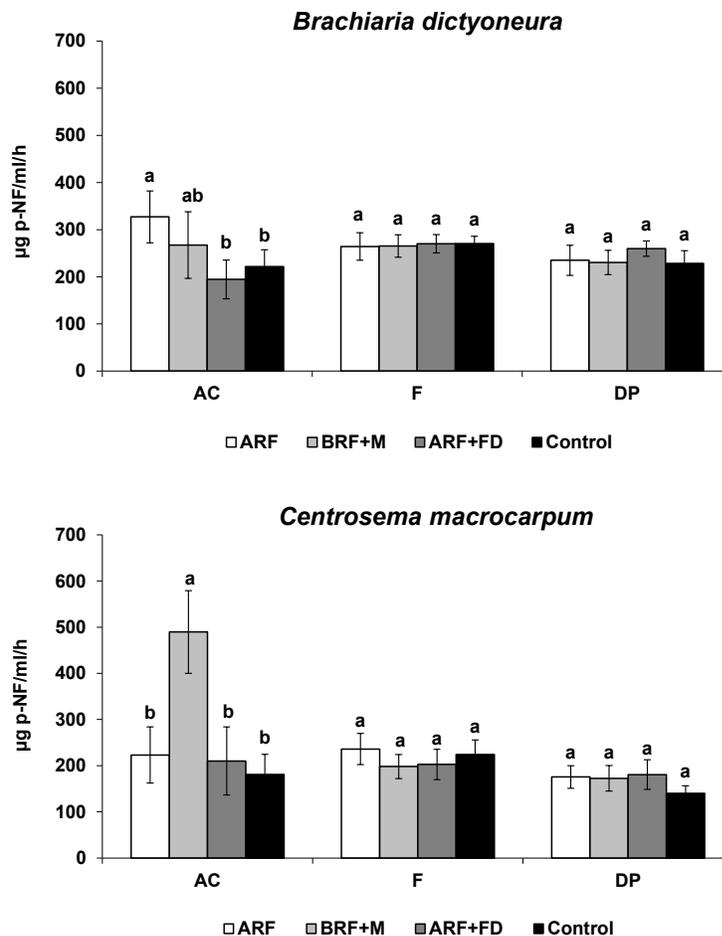


Figura III-17. Actividad de la enzima fosfatasa en la cobertura *Brachiaria dictyoneura* (BD) y *Centrosema macrocarpum* (CM) para los diferentes tipos de fertilización durante el ciclo maíz - ganado 2007 - 2008, en la capa superficial del suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. AC: antes del corte; F: floración; DP: después del pastoreo. Control, sin fertilización, BRF+M, dosis baja de P (25% P_2O_5 como roca fosfórica inoculación con micorriza), ARF, dosis alta de fósforo (100 % P_2O_5 como roca fosfórica) y ARF+FD, dosis alta de fósforo (50 % Roca fosfórica + 50% Fosfato diamónico. ¹). Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre tipos de fertilización para una misma época. Fuente: adaptado de Rodríguez *et al.* (2013).

En resumen, el uso de una fuente de P de baja solubilidad como la roca fosfórica tanto a dosis altas como a dosis bajas, cuando se acompañó de la inoculación con micorrizas, estimuló la actividad enzimática, principalmente de la ureasa, mientras que la fuente de alta solubilidad como el fosfato diamónico la disminuyó. Las actividades enzimáticas evaluadas variaron dependiendo del tipo de residuo y fertilización aplicados, por lo que pueden ser usadas como indicadores tempranos de los cambios en la calidad del suelo por efecto del manejo conservacionista.

Efecto sobre las comunidades de macroinvertebrados del suelo: en el estudio realizado por Morales-Márquez *et al.* (2018) en las parcelas experimentales de las sabanas bien drenadas, consiguieron que la comunidad de macroinvertebrados edáficos tuvo una densidad promedio total de $243,5 \pm 183.6$ individuos m^{-2} , baja en comparación con otros estudios, una riqueza de 32 familias, pertenecientes a 11 órdenes, similares o superiores a las reportadas en otros estudios, y una diversidad promedio de 4.5 ± 2.8 familias (Morales y Sarmiento, 2002; Dominguez *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011; Marichal *et al.*, 2014). Esto podría explicarse por los factores edáficos y climáticos, especialmente las altas temperaturas y los suelos con baja retención de humedad (Vera *et al.*, 2012] que podrían determinar no solo los recursos disponibles sino también las condiciones para el metabolismo de los macroinvertebrados (Jiménez y Thomas, 2003).

Esta combinación de factores podría ser desfavorable para un gran número de poblaciones dentro de cada familia lo que, por otro lado, podría aumentar indirectamente la cantidad de nichos y facilitar una mayor riqueza familiar. La comunidad de macroinvertebrados del suelo mostró una variación vertical en su estructura ecológica (Figura III-18), e independientemente de la profundidad Coleoptera fue el orden más dominante, seguido de Hymenoptera e Isoptera; mientras que el menos dominante fue Lepidoptera, similar a lo señalado para otros entornos (Lui *et al.*, 2011; Marichal *et al.*, 2014).

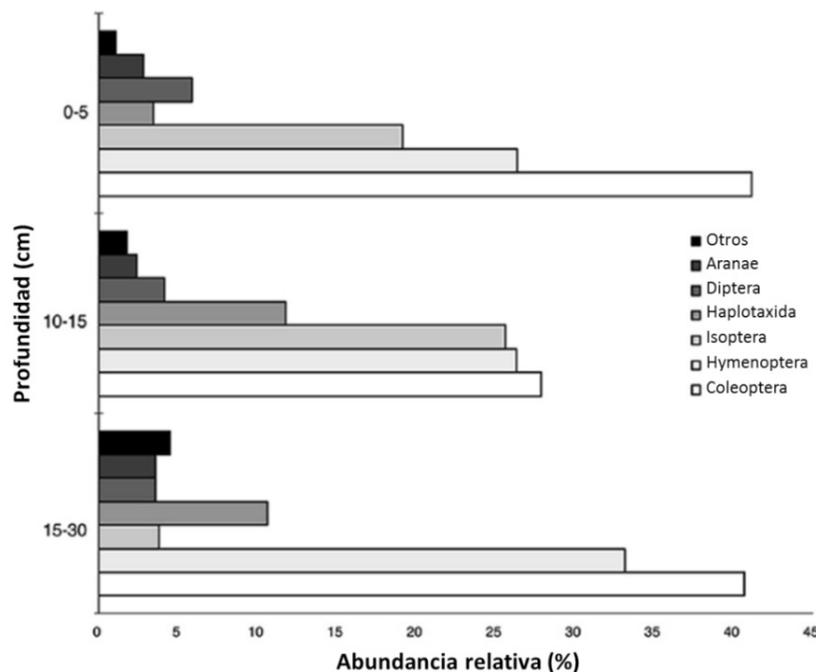


Figura III-18. Abundancia relativa (%) de los macroinvertebrados del suelo de una sabana bien drenada en los Llanos venezolanos según la profundidad (0 – 5, 5 – 15 y 15 – 30 cm). Cada tono gris indica un taxón diferente. **Otros:** Solifugae, Chilopoda, Hemiptera, Homoptera, Lepidoptera con menor o igual a 1.5 ind m^{-2} . **Fuente:** adaptado de Morales-Márquez *et al.* (2018).

Dentro de las familias las de mayor significancia fueron: Formicidae (Hormigas), Termitidae (Termitas) y Glossoscolecidae (lombrices de tierra), tal y como señalan Morales *et al.* (2018). Por otro lado, la variación vertical de la estructura ecológica de la comunidad de macrofauna del suelo podría deberse a la existencia de grupos funcionales de macroinvertebrados (epigeos, endógenos y anécicos) que podrían adaptarse a ciertas condiciones características de cada nivel subterráneo (Schon *et al.*, 2012). Pero también, el resultado podría verse influenciado por el tipo de protocolo de muestreo utilizado (Morales-Márquez *et al.*, 2018).

Los atributos ecológicos de los macroinvertebrados del suelo, mostraron diferentes patrones de variación temporal sin discriminar por profundidad (Figura III-19). La densidad, riqueza de familias y la diversidad de los macroinvertebrados del suelo tendieron a disminuir con el tiempo, mostrando diferencias entre los tiempos de muestreo, asociada a las condiciones de humedad del suelo. Esto se confirmó aplicando la correlación lineal de Pearson ($p < 0.05$) entre la época y cada atributo ecológico: densidad, riqueza y diversidad ($r = -0.62$; $r = -0.50$ y $r = -0.50$, respectivamente).

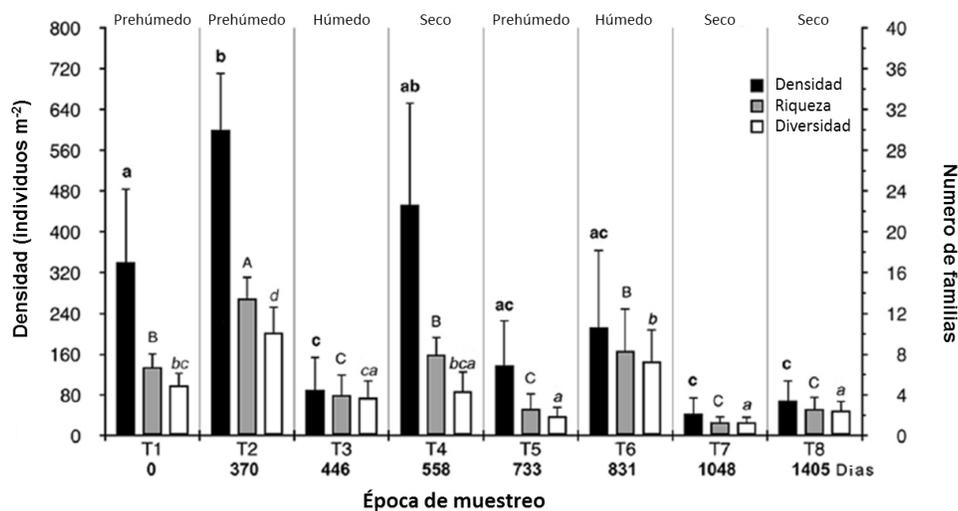


Figura III-19. Densidad, riqueza y diversidad de familias de macroinvertebrados de suelo de una sabana bien drenada de los Llanos venezolanos en un periodo de 1405 días de estudio. Letras minúsculas desiguales en negrita indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la densidad, las letras mayúsculas para la riqueza de las familias y las letras minúsculas en cursiva para la diversidad de las familias. La variación temporal se refleja en los periodos climáticos (prehúmedo, húmedo y seco). **Fuente:** adaptado de Morales-Márquez *et al.* (2018).

Las relaciones de los atributos de la comunidad de macroinvertebrados edáficos con las propiedades físicas y químicas del suelo, se analizaron a través de la correlación lineal de Pearson (Cuadro III-8). Se encontró que la conductividad eléctrica (EC) se correlacionó negativamente con la densidad, riqueza y diversidad de familias de la macrofauna de la tierra. Asimismo, se obtuvo que la densidad aparente (BD) se relacionó negativamente con la riqueza de familias, mientras que la porosidad total (TP) se relacionó positivamente con la densidad y riqueza de familias de los macroinvertebrados edáficos. Las variables TP y EC, podrían explicar la disminución en el tiempo de los atributos ecológicos, ya que mostraron una relación significativa con el tiempo (TP: $r = -0,82$; EC: $r = 0,77$). La disminución del TP podría tener relación con el efecto del pisoteo por el pastoreo del ganado.

Si bien se controló el pastoreo, es posible que en la época seca el ganado tenga un mayor impacto en la sabana, por la disminución del forraje, afectando negativamente las propiedades del suelo. Se ha comprobado el efecto negativo del pastoreo sobre la porosidad del suelo (Schon *et al.*, 2012; Cecagno *et al.*, 2016) y sobre los macroinvertebrados que habitan en él (Costa *et al.*, 2014; Grisso *et al.*, 2009). Además, el aumento de la CE a lo largo del tiempo podría estar asociado con la disminución de TP, factor que afecta la infiltración de agua del suelo, y por tanto el contenido de humedad (M).

Cuadro III-8. Correlaciones lineales de Pearson (r) entre los atributos ecológicos: densidad, riqueza y diversidad de familias de suelos macroinvertebrados y algunas variables edáficas en una sabana bien drenada de los llanos venezolanos ($n = 48$).

Atributo	BD	TP	P _{macro}	P _{micro}	Ksat	M	OM	pH	EC	P
Densidad	-0,240	0,524 ^c	0,014	0,290	0,239	-0,145	0,012	-0,061	-0,373	-0,322
Riqueza	-0,383	0,366	-0,005	0,220	0,329	-0,140	-0,127	-0,159	-0,411	-0,321
Diversidad	-0,294	0,307	-0,142	0,315	0,299	-0,008	-0,170	-0,138	-0,505	-0,329

BD: Densidad aparente; **TP:** Porosidad total; **P_{macro}:** Poros de radio equivalente $>15 \mu\text{m}$; **P_{micro}:** Poros de radio equivalente $<15 \mu\text{m}$; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **M:** Contenido de humedad; **OM:** Materia orgánica; **CE:** Conductividad eléctrica; **P:** Fósforo Disponible. Los valores en negrilla indican la correlación significativa ($p < 0,05$). **Fuente:** adaptado de Morales-Márquez *et al.* (2018).

El Análisis de Redundancia (ADR) de los resultados se presenta en la Figura III-20, donde se aprecia que se presentó el 82% de la varianza total explicada para los primeros tres ejes del ADR. El primer eje, fue determinado principalmente por las familias Rutelidae y Geotrupilidae, y en sentido opuesto por Cerambycidae y Formicidae. El segundo eje fue determinado por Termitidae y Staphylinidae. El tercero, fue establecido por Tenthredinidae y Tenebrionidae, y en dirección opuesta por Aphodiidae y Lampyridae. De acuerdo al valor mínimo de la correlación de Spearman $r_s = 0.71$ ($p < 0.05$), las variables de suelo que se correlacionan significativamente con los tres primeros ejes fueron Macroporosidad (P_{macro}) y microporosidad (P_{micro}). Dada la proximidad entre los vectores que constituyen la ADR, Lampyridae, Aphodiidae y Formicidae tuvieron una correlación positiva con P_{macro}; Tenthredinidae y Tenebrionidae tuvieron una correlación positiva con el P_{micro}. Los tiempos de muestreo no presentan una agrupación clara.

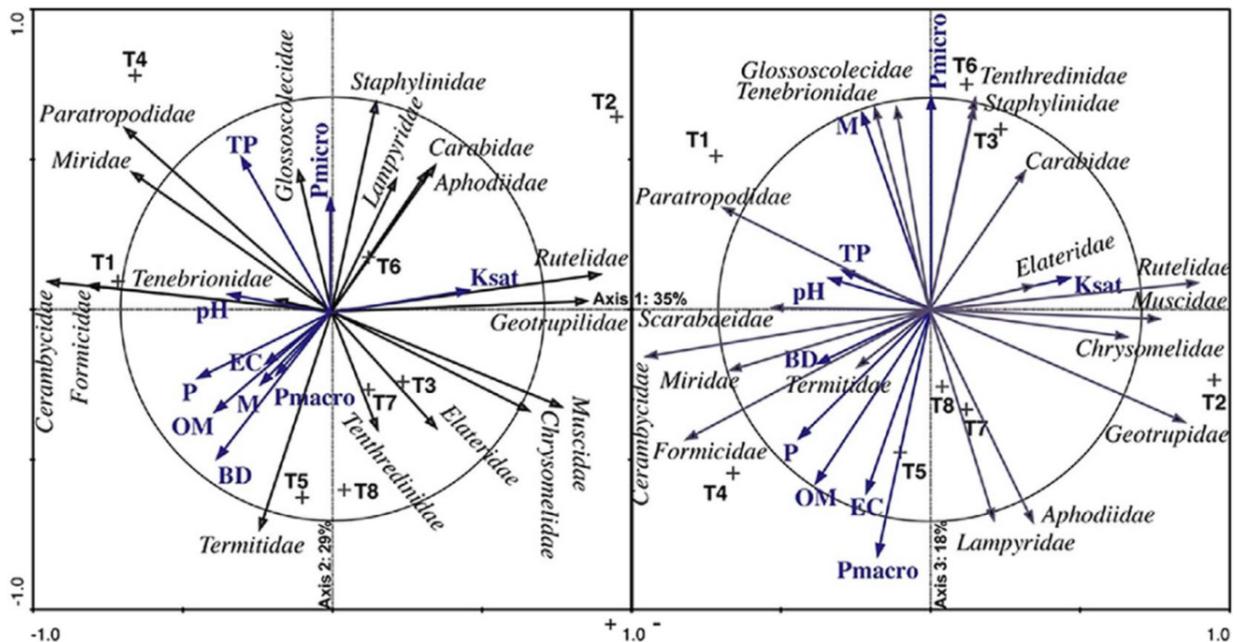


Figura III-20. Análisis de Redundancia (ADR) del ordenamiento de las épocas de muestreo (tiempos) según densidad promedio de las familias de macroinvertebrados del suelo (*cursiva*) y su correlación con las propiedades del suelo (**negrita**) de una sabana bien drenada de los llanos venezolanos. El primer y segundo eje están en el lado izquierdo y el tercer eje en el lado derecho. El tamaño del círculo central indica el valor mínimo de significancia del coeficiente de correlación ($r = 0.071$; $p < 0.05$; $n = 8$). **BD:** Densidad aparente; **TP:** Porosidad total; **P_{macro}:** Poros de radio equivalente $>15 \mu\text{m}$; **P_{micro}:** Poros de radio equivalente $<15 \mu\text{m}$; **Ksat:** Conductividad hidráulica saturada; **M:** Contenido de humedad; **OM:** Materia orgánica; **CE:** Conductividad eléctrica; **P:** Fósforo Disponible. **Fuente:** adaptado de Morales-Márquez *et al.* (2018).

Los resultados de la ADR, en cuanto a las correlaciones entre las familias de la macrofauna y las propiedades del suelo, corresponden a los resultados obtenidos por otros autores. La correlación positiva entre Pmacro y las familias Lampyridae y Aphodiidae del orden Coleoptera fue explicada en estudios previos por la actividad que estos organismos desarrollan en el suelo (Vasconcellos *et al.*, 2013). Por otro lado, la relación entre Tenthredinidae y Tenebrionidae con el Pmicro puede estar asociada a que a mayores valores de esta variable, mayor es la capacidad del suelo para retener agua, lo que es un beneficio en la época seca (Lavelle *et al.*, 1994). Estos resultados evidenciaron que las comunidades de macroinvertebrados y la estructura del suelo están estrechamente relacionadas; de modo que aunque este suelo es de textura gruesa, la densidad aparente y la porosidad del suelo, debe tenerse en cuenta al diseñar prácticas agrícolas en esta área, por ejemplo, el reducir la intensidad del pastoreo en la estación seca.

Efecto sobre el rendimiento del cultivo de frijol: diversas investigaciones (Rey y Ovalles, 2001; Bravo *et al.*, 2006; Timm *et al.*, 2010) demuestran que no existe un patrón único de distribución espacial de suelo y la misma puede ser influenciada por el manejo agrícola y la escala de muestreo a que se esté trabajando. En el estudio de Bravo *et al.* (2013) se realizó un muestreo sistemático y se utilizó el análisis geoestadístico de algunos atributos físicos y químicos del suelo para evaluar el patrón de variabilidad espacial (Isaak y Srivastava, 1989) y su relación con el rendimiento del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata* (L) Walp), bajo el manejo conservacionista propuesto de siembra directa con distintos cultivos de coberturas y tratamientos de fertilización.

Para realizar las estimaciones en sitios no muestreados de los distintos atributos del suelo en las parcelas bajo estudio, se aplicó la interpolación por Krigging ordinario considerando un comportamiento isotrópico. Los mapas de variabilidad espacial de las propiedades del suelo y rendimiento del frijol bajo dos tratamientos se muestran en las Figuras III-21 y III-22 para los tratamientos con los cultivos de cobertura de *Brachiaria dictyoneura* y *Centrosema macrocarpum*, respectivamente. De los atributos físicos se evaluaron los contenidos de las partículas primarias (%Arena, %Limo y %Arcilla) y de los químicos el pH, el contenido de carbono orgánico (%COT) y el fósforo disponible (P mg kg⁻¹).

En ambos tipos de coberturas se observó un comportamiento inverso del contenido de arena con la arcilla y limo. Si bien, el suelo es de textura gruesa (areno franco), la estructura de variación del contenido de arcilla en estas condiciones puede favorecer en algunas áreas, una mejor disponibilidad de nutrientes y mayor almacenamiento de humedad, lo cual pudiera incidir en la variación del rendimiento del cultivo. Se pudo evidenciar una pérdida de partículas como la arcilla en la parte más alta de las parcelas y acumulación en las zonas bajas, lo que pudiera afectar el contenido de humedad, la resistencia a la penetración, el contenido COT y otros atributos de relevancia (Rey y Ovalles, 2001; Lozano *et al.* 2004).

Los mapas de pH del suelo muestran valores que oscilan de 4.7 a 5.9 para CM, mientras que para BD variaron de 4.6 a 6.4, en ambos casos clasificados de moderada a ligeramente ácidos. Las variaciones pudieran ser atribuibles a la descomposición de los residuos aplicados en superficie, la absorción diferencial de Ca⁺² y NO₃⁻ por parte de los cultivos de cobertura, a la formación de ácidos orgánicos o a la nitrificación del NH₄⁺ proveniente del fertilizante aplicado al cultivo, entre otros, tal como sugieren Gong *et al.* (2009) y Lozano *et al.* (2010).

La representación de las estimaciones del COT muestra que gran parte de la parcela de CM presentó valores cercanos a 1%, con pequeños parches o agregados distribuidos de manera aleatoria con valores de 1,6 a 2,1%, mientras que para BD los contenidos variaron de 0,2 a 2,7%, con mayores porcentajes hacia la zona este de la parcela. En BD se favoreció una mayor incorporación de COT al suelo, posiblemente debido a la presencia de una mayor cantidad de raíces finas que se descomponen con mayor facilidad que en CM, tal y como sugieren Lozano *et al.* (2010).

A pesar de ser un ensayo de labranza conservacionista donde se usan coberturas vivas y no se perturba el suelo, el COT en toda el área de la parcela para ambos tratamientos registró valores considerados de bajos a medianos. Esto probablemente se deba por un lado, a que gran parte de los residuos de cosecha son retirados para su utilización en la alimentación del ganado, dejando pocos residuos para su incorporación, y por otro, que en suelos arenosos hay mayor oxidación y descomposición de la materia orgánica incorporada.

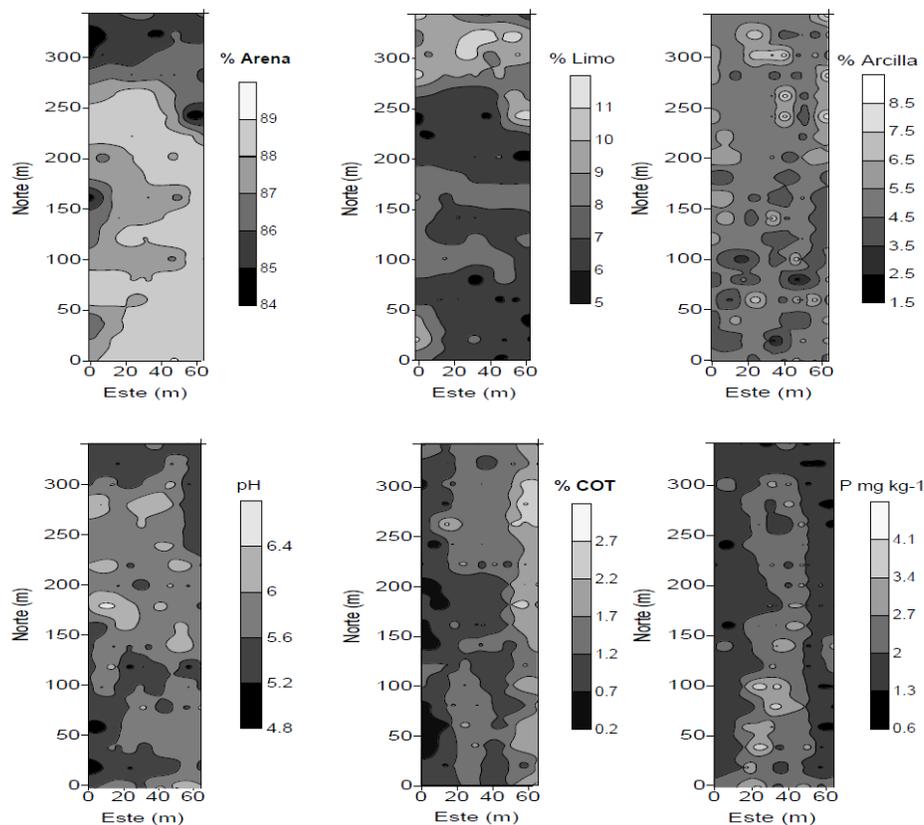


Figura III-21. Mapas de variabilidad espacial para algunas de las propiedades del suelo estudiadas (arena, limo, arcilla, pH, COT y P) en la parcela experimental con la cobertura *Brachiaria dictyoneura*, en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguaña, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Fuente:** adaptado de Bravo *et al.* (2014).

En los mapas de distribución del P disponible se aprecia que para CM en gran parte de la parcela los valores fluctuaron entre 1,4 y 2,6 mg kg⁻¹, con algunos agregados con mayor concentración de fósforo (3,2 mg kg⁻¹), mientras que en BD los contenidos de P variaron de 0,6 a 3,4 mg kg⁻¹ con parches distribuidos de manera aleatoria de 4,1 mg kg⁻¹. En la parcela bajo BD se detectó una franja con mayores contenidos de P en la parte central que se corresponde con los tratamientos de fertilización con fuentes de baja solubilidad (roca fosfórica), aplicados en los ciclos previos de cultivo de maíz. A pesar de la siembra y fertilización durante varios años, en ambos tratamientos de cobertura los contenidos de P fueron muy bajos, lo indica que la fertilización solo está supliendo las necesidades de los cultivos.

La distribución espacial del rendimiento de frijol (Figura III-23) en ambas coberturas presentó un comportamiento espacial sin ninguna tendencia, con valores en la parcela de CM que fluctuaron de 0,2 a 2,0 Mg ha⁻¹, mostrando alguna distribución en pequeños agregados, cuyos valores están por encima de los promedios de rendimiento de la zona (FEDEAGRO, 2019). Para BD se observó cierta agregación en la parte central de la parcela donde se registraron los mayores rendimientos. El rendimiento en grano presentó valores que fluctuaron de 0,15 y 1,15 Mg ha⁻¹, obteniendo mayor rendimiento en la parte central de la parcela y menor rendimiento en el resto de la superficie. Distintas causas pueden incidir en la variación del rendimiento, pero fundamentalmente se puede clasificar en dos categorías, las que pueden ser controladas y las que no pueden serlo (Johnson *et al.* 2002).

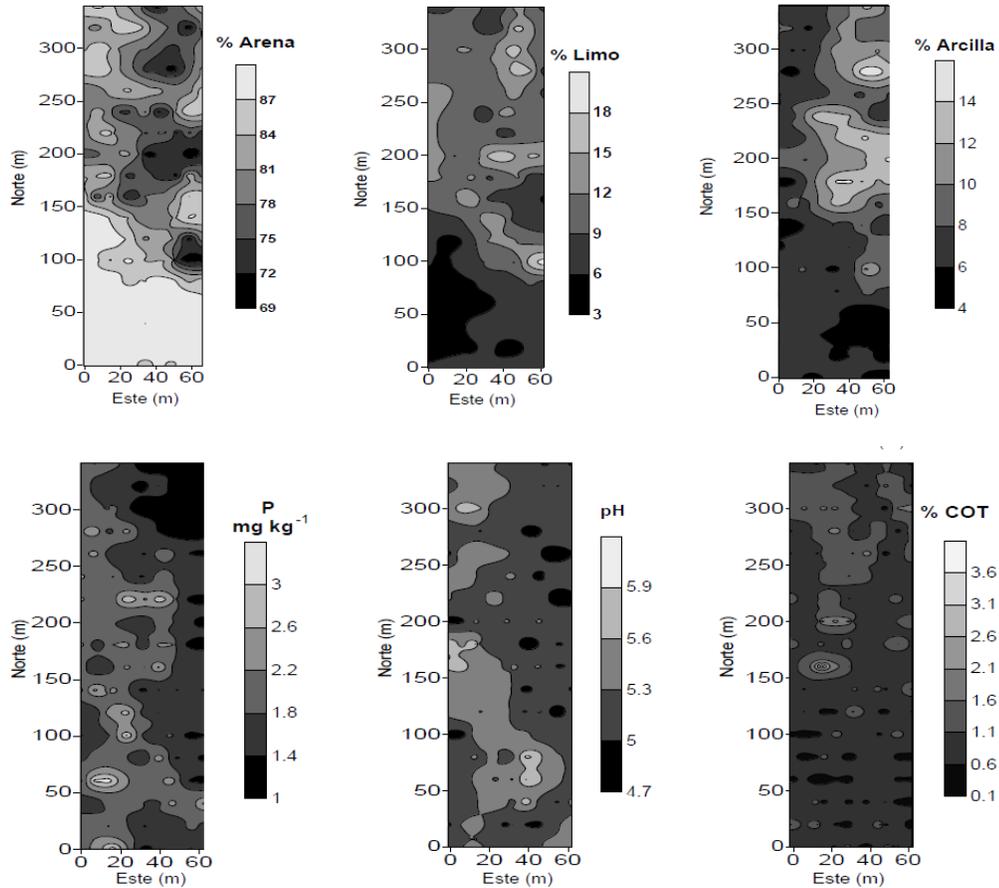


Figura III-22. Mapas de variabilidad espacial para algunas de las propiedades del suelo estudiadas (arena, limo, arcilla, pH, COT y P) en la parcela experimental con la cobertura *Centrosema macrocarpum*, en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Fuente:** adaptado de Bravo et al. (2014).

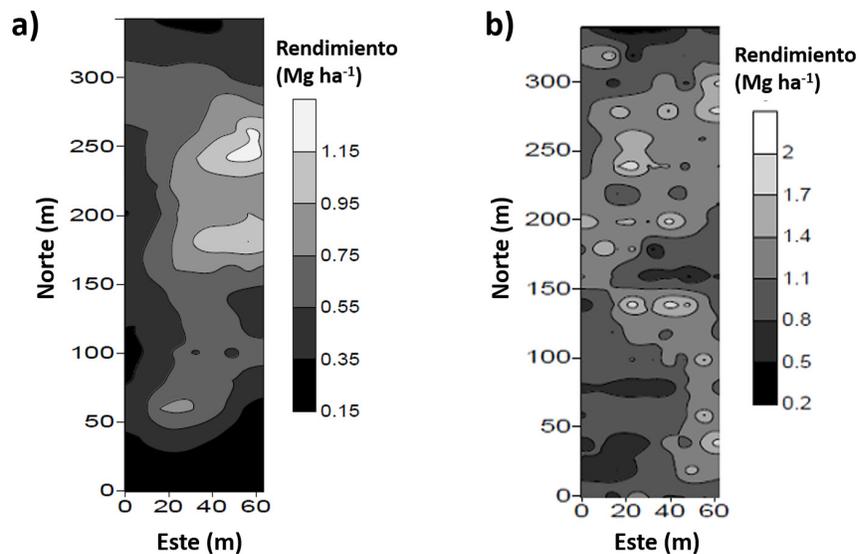


Figura III-23. Mapas del rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* (L) Walp) en la parcela experimental con las coberturas de a) *Brachiaria dictyoneura* y b) *Centrosema macrocarpum*, en el suelo ubicado en la Estación Experimental La Iguana, municipio Santa María de Ipire, estado Guárico. **Fuente:** adaptado de Bravo et al. (2014).

Los parámetros físicos y químicos considerados presentaron de baja a ninguna correlación espacial con el rendimiento de frijol; sin embargo, los mapas de distribución de las variables texturales (arena, limo) presentaron cierta correspondencia con algunas zonas del rendimiento del frijol, lo cual pudiera influir sobre la variabilidad de los rendimientos. El contenido de arena el cual fue negativamente relacionado ($r = -0,46$, $p < 0,05$) con el rendimiento y el contenido de limo con un grado de correlación positiva ($r = 0,26$, $p < 0,01$), sugiriendo que zonas con mayor contenido de arena están asociadas con áreas de menor rendimiento, mientras que zonas con mayor contenido de limo poseen rendimientos más altos.

Algunos estudios muestran asociación entre las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo (Daniels *et al.* 2001, Johnson *et al.* 2002, Bravo 2005), mientras que otros señalan relaciones débiles o ninguna relación (Frogbrook *et al.* 2002). Tal situación obedece a que la variación del rendimiento del cultivo depende de la interacción de un conjunto de factores (suelos, topográficos, climáticos, entre otros) que en algunos casos pudiera estar ejerciendo una mayor influencia que las variables consideradas en este trabajo. Los resultados sugieren que una parte de la variabilidad de los rendimientos de frijol pudiera ser explicada por las fracciones granulométricas (arena y limo) y su variación con el componente topográfico (datos no mostrados), lo cual es consistente con los resultados obtenidos por otros investigadores (Bravo 2005, Cox *et al.* 2006). Tomando en cuenta que estos lotes (parcela con cobertura de CM y BD) son usados como parcelas experimentales, se hace necesario considerar la variabilidad espacial de los atributos edáficos como factor que puede enmascarar el efecto de los tratamientos usados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves J.; M.J. Bastos de Andrade; J. Guedes de Carvalho; N. Batista; A. Ramalho de Morais. 2009. Adubação nitrogenada do feijoeiro, em plantio e cobertura, em plantio direto e convencional. *Ciência e Agrotecnologia* 33 (4): 943-949
- Anderson, J.; J. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility (TSBF). Handbook of methods. C.A.B. International. 171 p.
- Barea, J.M.; C. Azcón-Aguilar; R. Azcón. 1987. Vesicular-arbuscularmycorrhiza improves both symbiotic N_2 fixation and N uptake from soil as assessed with a ^{15}N technique under field conditions. *New Phytology* 107:717-725
- Barea, J.M.; R. Azcón; C. Azcón-Aguilar. 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Antonie van Leeuwenhoek* 81: 343-351.
- Bending, G.; M. Turner; I. Burns. 1998. Fate of nitrogen from crop residues as affected by biochemical quality and the microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 2055-2065.
- Berroterán, J.L. 2000. Modelo de utilización cereal-pasto en sistemas de producción de sabanas bien drenadas con suelos ácidos en Venezuela. *Interciencia* 25: 203-209.
- Blake J.; L. Hartge. 1986. Bulk density. (pp. 349-378). In: Klute C.A. (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Book Series 9. ASA-SSSA, Madison, EUA.*
- Böhm, W. 1979. *Methods of Studying Roots Systems.* Spriger-Verlag, New York. EUA.
- Boschetti, N.; C.E. Quintero; M.R. Befani. 2004. Dinámica de las fracciones de fósforo en el suelo en una pastura fertilizada. *Rev. Cient. Agropec.* 8: 65-71.

- Bravo, C. 2005. Influencia de algunos factores edáficos en la producción vegetal bajo diferentes sistemas agrícolas en el sur de España. Trabajo de Grado Doctoral. Córdoba, España; Universidad de Córdoba. 209 p.
- Bravo, C.; A. Florentino. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y aguas bajo diferentes sistemas de labranza. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 25: 57-74.
- Bravo, C.; J. Cabrera; M. Carvallo; Z. Lozano; F. Ovalles. 2013. Análisis geoestadístico de propiedades del suelo y rendimiento del cultivo de frijol (*Vigna unguiculata* L.) bajo manejo conservacionista. *Suelos Ecuatoriales* 42 (2): 108-120.
- Bravo, C.; R. Ordoñez; P. González; J. Giráldez; J. Agüera. 2006. Algodón: Variabilidad espacial de las propiedades físico-químicas del suelo y su relación con el rendimiento. *Revista de Agricultura de Conservación* 2: 39-42.
- Bravo, C.; Z. Lozano; R.M. Hernández; L. Piñango; B. Moreno. 2004. Efecto de diferentes especies de cobertura sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16: 163-172.
- Bremner, J.; C. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. (pp. 595-642). *In*: Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Eds.), *Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and biological properties*. 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Burbano, H. 1989. El suelo: Una visión sobre sus componentes biorgánicos. 1ra Ed. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 447 p.
- Bustamante, M.M.C.; E. Medina; G.P. Asner; G.B. Nardotot; D.C. García-Montiel. 2006. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochem.* 79: 209–237.
- Cameira, M.; R. Fernando; L. Pereira. 2003. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. *Soil Till. Res.* 70: 131–140.
- Cao, G.; Y. Tang; W. Mo; Y. Wang; Y. Li; X. Zhao. 2004. Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau. *Soil Biol. Biochem.* 36: 237-243.
- Caraballo, L.; T. Rodríguez; M. Sindoni. 1995. Sabanas orientales: Características, ventajas y limitaciones para la producción agrícola. *En*: Memorias de Taller sobre Algunos aspectos físicos de los suelos de las sabanas orientales y su efecto sobre la productividad. *El Tigre*, 5 al 8 de abril de 1994. 53 p.
- Carpenter, S.R. 1998. The need for large scale experiments to assess and predict the response of ecosystems to perturbation. *In*: Pace, M.; P. Groffman (Eds.). *Success, Limitations and Frontiers in Ecosystem Science*. Springer-Verlag, New York. EUA. pp. 287-312.
- Carpenter-Boggs, L.; J. Pikul; M. Vigil; W. Riedell. 2000. Soil nitrogen mineralization influenced by crop rotation and nitrogen fertilization. *Soil Science Society of America Journal* 64:2038-2045.
- Cecagno, D.; S.E.V.G. de Andrade Costa; I. Anghinoni; T.R. Kunrath; A.P. Martins; J.M. Reichert; P.I. Gubiani; F. Balerini; J.R. Fink; P.C. de Faccio Carvalho. 2016. Least limiting water range and soybean yield in a long-term, no-till, integrated crop-livestock system under different grazing intensities, *Soil Tillage Res.* 156: 54–62.

- Chacón, E.; L. Arriojas. 1989. Producción de biomasa y valor alimenticio de pasturas naturales en Venezuela. En *Quinto Cursillo sobre bovinos de carne*. Universidad Central de Venezuela, Maracay, pp. 197–229.
- Chen, G.; R.R. Weil. 2011. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. *Soil Till. Res.* 117: 17–27
- Choromanska, U.; T.H. Deluca. 2002. Microbial activity and nitrogen mineralization in forest mineral soils following heating: evaluation of post-fire effects. *Soil Biology and Biochemistry* 34:263-271.
- Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2019. Estadísticas agropecuarias. Producción agrícola. [Consulta: 10/07/2019]. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/producción/Rubros.asp>.
- Costa, M.M.; D.M. de Queiroz; F.D.A. de C. Pinto; E.F. dos Reis; N.T. Santos. 2014. Moisture content effect in the relationship between apparent electrical conductivity and soil attributes, *Acta Sci. Agron.* 36: 395-401.
- Cox, M.; P. Gerard; M. Abshire. 2006. Selected soil properties' variability and their relationships with yield in three Mississippi fields. *Soil Sci.* 171: 541-551.
- Daniels, M.; P. Delaune; P.A. Moore Jr.; A. Mauromoustakos; S.L. Chapman; J.M. Langston. 2001. Soil phosphorous variability in pastures: Implication for sampling and environmental management strategies. *J. Environ. Qual.* 30: 2157-2165.
- Domínguez, A.; J.C. Bedano; A.R. Becker. 2010. Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands, *Soil Tillage Res.* 110: 51–59.
- Eckert, D. 1991. Chemical attributes of soil subjected to no-till cropping with rye cover crop. *Soil Science Society of America Journal* 55:405-409.
- Espinoza, Y. 2000. Dynamic and mechanisms of stabilization of C and N in soil. PhD Dissertation. Kansas State University, Manhattan, Kansas (USA). 185 p.
- Fioretto, A.; C. Di Nardo; S. Papa; A. Fuggi. 2005. Lignin and cellulose degradation and nitrogen dynamics during decomposition of three leaf litter species in a Mediterranean ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* 37:1083-1091
- Frogbrook, K.; M. Oliver; M. Salah; R. Ellis. 2002. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. *Soil Use and Management* 18: 1-9.
- Gallo M.; R. Amonette; C. Lauber; R. Sinsabaugh; D. Zak. 2004. Microbial community structure and oxidative enzyme activity in nitrogen-amended north temperate forest soils. *Microb Ecol* 48: 218-229.
- García, C.; T. Hernández; J. Pascual; J.L. Moreno; M. Ros. 2000. Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategias para su rehabilitación. En: *Investigación y Perspectivas de la enzimología de suelos en España*. 1ra ed. CSIC, España. 352 p.
- Gee, G.W.; D. Or. 2002. Particle-size analysis. (pp. 255–293). In: Dane, J.H.; G.C. Topp (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 4. SSSA. Book Series No. 5*. Madison, EUA.
- Gee, G.W.; J. Bauder. 1986. Particle size analysis. In: *Methods of Soil Science*. Klute, A. (Ed.). American Society of Agronomy; Madison. pp. 383-411.

- Gil, J.; M. Medina. 2001. Efecto de dos épocas de quema sobre la dinámica poblacional de una pastura de *Urochloa decumbens* Stapf. *Zootecnia Tropical* 19: 407-422.
- Gilabert de B, J.; I. López de R.; R. Pérez de R. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. Versión preliminar. CENIAP, Maracay. 164 p.
- Gong, W.; X. Yan; J. Wang; T. Hu; Y. Gong. 2009. Long-term manure and fertilizers effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149:318-324.
- Govaerts, B.; K.D. Sayre; J. Deckers. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of México. *Soil and Tillage Research* 87: 163-174.
- Grisso, R.; M. Alley; D. Holshouser; W. Thomason, Precision farming tools: soil electrical conductivity, *Va. Coop. Ext.* 442: 1-6.
- Guzman, J.; C. Godsey; G. Pierzynski; D. Whitney; R. Lamond. 2006. Effects of tillage and nitrogen management on soil chemical and physical properties alter 23 years of continuous sorghum. *Soil Till Res* 91:199-206.
- Hedley, M.J.; J.M.B. Stewart; B.S. Chauhan. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society American Journal* 46: 970-976.
- Hernández, R.M.; A. Florentino; D. López-Hernández. 2000. Efecto de la siembra directa y de la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de un Ultisol del estado Guárico-Venezuela. *Agronomía Tropical (Ven)* 50: 9-29.
- Hernández, R.M.; Z. Lozano; C. Bravo; J. Morales; M. Toro; E. Ramírez; I. Castro; C. Rivero; A. Ojeda. 2011. Informe final del proyecto "Manejo agroecológico de suelos de sabanas bien drenadas con unidades de producción cereal – ganado". 352 p.
- Hernández-Hernández, R.M.; D. López-Hernández. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under convencional and no-tillage. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1563-1570.
- Hernández-Valencia, I.; D. López-Hernández. 2002. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Rev. Biol. Trop.* 50 (3/4): 1013-1019.
- Hernández-Valencia, I.; M. Bautis. 2005. Cambio en el contenido de fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas a pinares. *Bioagro* 17: 69-78.
- Hernández-Valencia, I. 2008. Evaluación de la fertilidad fosfórica en diferentes sistemas de producción ubicados en sabanas bien drenadas de Venezuela a través de técnicas de fraccionamiento. *Acta Biol. Venez.* 28: 57-68.
- Isaac, E.H.; R.M. Srivastava. 1989. *An Introduction to applied geostatistic*. Oxford University Press, New York, 561 p.
- Jiménez, J.; R. Thomas. 2003. *El Arado Natural, Las Comunidades de Macroinvertebrados del Suelo en las Sabanas Neotropicales de Colombia*, CIAT.

- Johnson, R.; R. Downer; J. Bradow; P. Bouer; E. Sadler. 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality and soil properties in southeastern Coastal Plain. *Agron. J.* 94: 1305-1316.
- Kandeler, E.; H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biology and Fertility Soils* 6: 68-72.
- Kass, D.C.L.; E. Somarraba. 1999. Traditional fallow systems on Latin America. *Agroforestry Systems* 47: 13-36.
- Lavelle, P.; M. Dangerfield; C. Fragoso; V. Eschenbrenner; D. Lopez-Hernandez; B. Pashanasi; L. Brussaard. 1994 The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: P.L. Woomer, M.J. Swift (Eds.), *Biol. Manag. Trop. Soil Fertil., Tropical Soil Biology and Fertility Programme*, C. Sayce Publishing, pp. 137-169.
- Li, H.; J. Shen; F. Zhang; M. Clairotte; J.J. Drevon; E. Le Cadre; P. Hinsinger. 2008. Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) grown in monocropping and intercropping systems. *Plant Soil* 312: 139-150.
- Liu, R.; H. Zhao; X. Zhao. 2011. Desertification impact on macro-invertebrate diversity in grassland soil in Horqin, northern China, *Procedia Environ. Sci.* 10: 1401-1409.
- Liu, Y.; G. Mi; F. Chen; J. Zhang; F. Zhang. 2004. Rhizosphere effects and root growth of maize (*Zea mays* L.) genotypes with contrasting P efficiency at low P availability. *Plant Sci.* 167: 217-223
- Lopes, A.S.; M. Ayarza; R. Thomas. 1999. Sistemas agropastoriles en las sabanas de América Latina Tropical: Lecciones del desarrollo agrícola de los Cerrados de Brasil. *En: E.P. Guimarães, J.I. Sanz, I.M. Rao; M.C. Amézquita; E. Amézquita (Eds.). Publicación CIAT N° 313.* pp. 9-30.
- López, M.; N. Alfonso; A. Florentino; M. Pérez. 2006 Dinámica del fósforo y reducción del aluminio intercambiable en un ultisol sometido a manejo conservacionista. *Interciencia* 31: 293-299.
- López-Contreras, A.Y.; I. Hernández-Valencia; D. López-Hernández. 2007. Fractionation of soil phosphorus in organic amended farms located on savanna sandy soils of Venezuelan Amazonian. *Biol. Fertil. Soils* 43: 771-777.
- López-Hernández, D; R.M. Hernández-Hernández; M. Brossard. 2005. Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del sur. *Estudios de casos en sabanas del Orinoco.* *Interciencia* 30: 623-630.
- Lozano, Z.; R.M. Hernández-Hernández; C. Bravo; C. Rivero; M. Toro; M. Delgado. 2012. Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia* 37:820-827.
- Lozano, Z.; A. Mogollón; R.M. Hernández; C. Bravo; A. Ojeda; A. Torres; C. Rivero; M. Toro. 2010. Cambios en las propiedades químicas de un suelo de sabana por la introducción de pasturas mejoradas. *Bioagro* 22:135-144.
- Lozano, Z.; C. Bravo; F. Ovalles; R.M. Hernández; B. Moreno; L. Piñango; J.G. Villanueva. 2004. Selección del diseño de muestreo en parcelas experimentales a partir del estudio de la variabilidad espacial de los suelos. *Bioagro* 16: 61-72.
- Lozano, Z.; C. Rivero; C. Bravo; R.M. Hernández. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 28: 35-56.

- Lozano, Z.; D. Lobo; I. Pla S. 2002. Susceptibilidad a la degradación física de Alfisoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 28 (1):41-57.
- Mafangoya, P.L.; K.E. Giller; C. A. Palm. 1998. Decomposition and nitrogen release: patterns of tree pruning and litter. *Agroforestry Systems* 38: 77-97.
- Marichal, R.; M. Grimaldi; M.A. Feijoo; J. Oszwald; C. Praxedes; D.H. Ruiz Cobo; M. del Pilar Hurtado; T. Desjardins; M.L. da Silva Junior; L.G. da Silva Costa; I.S. Miranda; M.N. Delgado Oliveira; G.G. Brown; S. Tsélouiko; M.B. Martins; T. Decaëns; E. Velasquez; P. Lavelle. 2014. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia, *Appl. Soil Ecol.* 83: 177–185.
- Martínez, E; J. Fuentes; P. Silva; S. Valle; E. Acevedo. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil Till. Res.* 99: 232–244.
- Matheus, R. 1986. Los suelos de la Estación Experimental La Iguana. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV (Maracay). 199 p.
- Morales, J.; L. Sarmiento. 2002. Dynamics of soil macroinvertebrates and its relationships to vegetation in a secondary succession of the Venezuelan Paramo, *Ecotropicos* 15: 99–110.
- Morales-Márquez, J.A.; R.M. Hernández-Hernández; G.K. Sánchez; Z. Lozano; I. Castro; C. Bravo; E. Ramírez; R. Jiménez-Ballesta. 2018. Soil macroinvertebrates community and its temporal variation in a well-drained savannah of the Venezuelan Llanos. *European Journal of Soil Biology* 84: 19-26.
- Nacci, S; I. Pla S. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17. Maracay (Venezuela). 40 p.
- Nelson, D. W.; L. E. Sommers. 1996. Total carbon, total organic carbon and organic matter. (pp. 961-1010). *In: Sparks, D.L. (Ed.). Agronomy Monograph Number 9. Methods of soil analysis, Part 3: Chemical properties.* 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin (USA).
- Neufteld, H.; D.V.S. Resck; M.A. Ayarza; W. Zech. 1999. Soil organic matter in oxisol of the brazilian cerrado. In Thomas R, Ayarza MA (Eds.) *Sustainable Land Management of the Oxisol of Latin American Savannas.* CIAT. Cali, Colombia. pp. 89-109.
- Olander, L.P.; P.M. Vitousek. 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochem.* 49: 175-190.
- Oliveira de, O.C.; I.P. de Oliveira; B.J.R. Alves; S. Urquiaga; R.M. Boddey. 2004. Chemical and biochemical indicators of decline/degradation of Brachiaria pasture in Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 289-300.
- Palm, C.A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plant. *Agroforestry Systems* 30: 105-124.
- Palm, C.A.; C.N. Ganchego; R.J. Delve; G. Cadisch; K.E. Giller. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83: 27–42.
- Palm, C.A.; P.A. Sánchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 83-88.
-

- Palma, R.M.; N.M. Arrigo, M.F. Vasquez; J. Utsumi. 1997. Actividad ureas en distintos sistemas de labranza y su relación con la acidez titulable. *Ciencia del Suelo* 15: 99-101.
- Pérez, M.J.; T.J. Smyth; D.W. Israel. 2007. Comparative effects of two forage species on rhizosphere acidification and solubilisation of phosphate rocks of different reactivity. *J. Plant Nutrition* 30: 1421-1439.
- Pervanchon, F.; C. Bockstaller; B. Amiaud; J. Peigné; P.Y. Bernard; F. Vertès; J.L. Fiorelli; S. Plantureux. 2005. A novel indicator of environmental risk due to nitrogen management on grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 1-16.
- Pizarro, E.A.; C.B. do Valle; G. Séller-Grein; R. Schultze-Kraft; A.H. Zimmer. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America – Savannas. (pp. 225-246). In: Miles, Maass, do valle y Kumble (Eds.). *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement*. CIAT-Cali, Colombia/EMBRAPA-Campo Grande, Brazil.
- Pla S., I. 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV), Alcance* N° 32, 91 p.
- Porta, J.; M. López Acevedo; C. Roquero. 1999. *Edafología y el medio ambiente*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 849 p.
- Primavesi, A. 1998. *Manejo Ecológico del Suelo*. (5ta Ed), Editorial Ateneo, Buenos Aires. 342 p.
- Rey, J.C.; F. Ovalles. 2001. Efecto de técnicas exploratorias de los datos en estimaciones Kriging de propiedades del suelo. *Agronomía Trop.* 51:81-106.
- Reynolds, W.D.; B.T. Bowman; R.R. Brunke; C.F. Drury; C. Tan. 2000. Comparison of tension infiltrometer, pressure infiltrometer, and soil core estimates of saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 478-484.
- Rivas, E.; M. Rodríguez; U. Manrique. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. *Agronomía Tropical (Ven)* 48: 157-174.
- Roche, R; J. Menéndez; J. Hernández. 1990. Características indispensables para la clasificación del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*. (Cuba) 13: 205-222.
- Rodríguez, M.A.; Z. Lozano; O. Castillo; A. Ospina. 2015. Dinámica del nitrógeno mineral en un sistema mejorado maíz-ganado con cultivos de cobertura. *Venesuelos* 23: 33-40.
- Rodríguez, M.A.; Z. Lozano; P. González; S. Rodríguez; R. Caballero; M. Delgado. 2013. Actividad enzimática como indicador temprano de calidad en un suelo de sabana bajo manejo conservacionista. *Venesuelos* 21: 21-31.
- Schlöter, M.; O. Dilly; J.C. Munch. 2003. Mineralization parameters from organic materials added to soil as a function of their chemical composition. *Bioresource Technology* 45: 131-135.
- Schmidt, J.; S. Boul; E. Kamprath. 1996. Soil phosphorus dynamic during 17 years of continuous cultivation: fractionation analysis. *Soil. Sci. Soc. Am J.* 61: 1168-1172.
- Schon, N.L.; A.D. Mackay; M.A. Minor. 2012. Vulnerability of soil invertebrate communities to the influences of livestock in three grasslands, *Appl. Soil Ecol.* 53: 98-107.

- Segura, F.; R. Echeverri; A. Patiño; A. Mejía. 2007. Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquía*. 14: 72-81.
- Silva, M. 2006. Efecto del Uso de Coberturas sobre las Fracciones del Fósforo Asociadas a la Materia Orgánica de Distintos Agregados de un Suelo del Estado Guárico. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 55 pp.
- Siso, W. 2007. Estudio del fósforo en algunos suelos venezolanos. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 55 pp.
- Solórzano, P. 1997. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. *Revista de la Facultad de Agronomía, UCV (Maracay), Alcance* 51. pp. 33-34.
- Tabatabai, M.A.; J.M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 1: 301-307.
- Thomas, R.J.; N.M. Asakawa. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 1351-1361.
- Tiessen, H.; J.O. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. In: Carter MR (Ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 3ed. Canadian Society of Soil Science. Lewis. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 75-86.
- Timm L.C.; N.L. Reckziegel; L. S. Aquino; L.H. Basso; E.C. Guimarães; V.E.Q. Tavares; C.M.P. Vaz; J.M. Manieri; C.M.C. Ramos; P.R. de A. Ribeiro; K. Reichardt. 2010. Spatial variability of physical and hydraulic attributes of a sandy soil in northeast Brazil. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2): 139-151.
- Turrion, M.B.; O. López; F. Lafuente; R. Mulas; C. Ruizpérez; A. Puyo. 2007. Soil phosphorus forms as quality indicators of soil under different vegetation covers. *Sci. Total Env.* 378: 195-198.
- Universidad Central de Venezuela. 1993. Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía N° 6. Facultad de Agronomía, UCV. 89 p.
- Vance, C.P. 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. *Plant nutrition in a world of declining renewable resources. Plant Physiology* 127: 390-397.
- Vasconcellos, R.L.F.F.; J.C. Segat; J.A. Bonfim; D. Baretta; E.J.B.N. Cardoso. 2013. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *Eur. J. Soil Biol.* 58: 105-112.
- Vera, S.; Z. Lozano; D. Lobo; R.M. Hernández; C. Bravo; M. Delgado. 2012. Propiedades físicas del suelo y distribución de raíces de maíz bajo diferentes tipos de cobertura y fertilización en un sistema conservacionista cereal-ganado. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 38: 49-63.
- Vu, D.T.; C. Tang; R.D. Armstrong. 2008. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil* 304: 21-33
- Vuorinen, A.H.; M.H. Saharinen. 1996. Effects of soil organic matter extracted from soil on acid phosphomonoesterase. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1477-1481
- Waldrop, M.P.; M. Firestone. 2006. Response of microbial community composition and function to soil climate change. *Microb Ecol* 52:716-724.

- Wander, M.M.; G.L. Walter; T.M. Nissen; G.A. Bollero; S.S. Andrew; D.A. Cavanaugh-Grant. 2002. Soil quality. Science and Process. Agronomy Journal 94: 23-32.
- White, D.M.; D.S. Garland; C. Ping; G. Michaelson. 2004. Characterizing soil organic matter quality in arctic soil by cover type and depth. Cold Regions Science Technology 38: 63-73.
- Zacheis, A., R.W. Ruess; J.W. Hupp. 2002. Nitrogen dynamics in an Alaskan salt marsh following spring use by geese. Oecologia 130: 600-608.
- Zhang Y.; P. Yu; Y. Peng; X. Li, F. Chen; C.Li. 2012. Fine root patterning and balanced inorganic phosphorus distribution in the soil indicate distinctive adaptation of maize plants to phosphorus deficiency. Pedosphere 22:870–877.

CONCLUSIONES GENERALES

Sistemas de labranza y rotación de cultivos en suelos de los llanos occidentales

Los suelos evaluados en esta zona (Agua Blanca y Turén) presentaron una fertilidad de media a baja con posibilidades de desbalances nutricionales, y susceptibilidad a la compactación tanto superficial como subsuperficial, con limitaciones para la aireación, penetración y movimiento de agua en el perfil. Estas limitaciones estuvieron relacionadas principalmente con la distribución de tamaño de partículas y los bajos contenidos de materia orgánica.

En el suelo Agua Blanca, el uso agrícola afectó la mayoría de las propiedades químicas y físicas del suelo; mientras que los sistemas de labranza aplicados al cultivo de maíz afectaron los contenidos de carbono orgánico total, nitrógeno inorgánico (nitrato y amoniacal), densidad aparente, conductividad hidráulica saturada y porosidad de aireación, especialmente en las dos primeras capas. Sin embargo, estas propiedades no afectaron el desarrollo ni los rendimientos del cultivo en el ciclo evaluado.

En el suelo Turén, el uso agrícola afectó principalmente las propiedades químicas del suelo y de las físicas sólo la densidad aparente. Al aplicar los diferentes tipos de labranza y rotación de cultivos se afectó la densidad aparente a nivel subsuperficial, la resistencia a la penetración en las dos primeras capas y la porosidad de aireación en todas las capas evaluadas, así como la mayoría de las propiedades químicas a nivel superficial, con excepción de los elementos aplicados como fertilizantes (N, P y K).

El efecto de la labranza (convencional y siembra directa) y la rotación (maíz – algodón y maíz – frijol) sobre las propiedades del suelo y desarrollo del cultivo, estuvieron relacionadas con la cantidad y calidad de los residuos de planta que regresan al suelo, tanto del cultivo principal como del precedente (frijol o algodón), ya sea que se incorporen o se dejen en superficie.

Tipos de fertilización y control de plagas y enfermedades en un suelo de la cordillera de la costa central

El suelo analizado presentó buenas condiciones físicas y una muy baja fertilidad en condiciones naturales. Las propiedades físicas no se vieron afectadas por el uso bajo duraznero durante 13 años. Sin embargo, por ser el suelo susceptible a la degradación superficial de la estructura por el predominio de partículas de alta separabilidad y por las altas pendientes en la zona, existen riesgos de escorrentía, pérdidas de suelo y nutrientes por erosión, mitigados actualmente en parte, por los altos contenidos de materia orgánica.

El manejo aplicado al duraznero mejoró los contenidos de algunos de los nutrientes, especialmente el fósforo, aunque la mayoría de ellos todavía se presentaron a niveles considerados como bajos. Los abonos y fertilizantes aplicados al cultivo, por su efecto sobre el pH y por el aporte de nutrientes, así como algunos productos químicos que se usaron para el control de los competidores bióticos, fueron las prácticas a las cuales se les pudo atribuir las diferencias entre el agroecosistema y el suelo sin intervenir o bajo condiciones naturales.

Algunas de las deficiencias de nutrientes detectadas en el suelo como las de K, Ca y Mg, no se reflejaron en el cultivo; mientras que otros como Mn y Zn fueron deficientes en el cultivo, aunque se encontraban a niveles adecuados en el suelo y/o se aplicaron con los agroquímicos utilizados en las prácticas de manejo tradicionales.

La pendiente del terreno afectó la escorrentía superficial y las pérdidas de suelo, pero no afectó la infiltración. Por su parte la presencia y contenido de fragmentos de roca superficiales no afectó ninguno de los parámetros evaluados. Tal respuesta se pudo atribuir a las diferencias en la proporción de fragmentos de roca presentes en el volumen de suelo. Se encontró una asociación positiva entre la escorrentía superficial y las pérdidas de suelo; mientras la infiltración mostró una asociación negativa con la escorrentía y con la pérdida de suelo.

Al introducir los diferentes manejos de fertilización y control de plagas y enfermedades para el cultivo de duraznero, varios de los parámetros químicos y bioquímicos evaluados mostraron cambios significativos por efecto de los tratamientos, principalmente en la capa superficial. La falta de diferencias entre tratamientos para algunos parámetros se pudo atribuir al poco tiempo desde la aplicación de los manejos propuestos.

Las tendencias fueron contrastantes entre el manejo utilizado por el productor con fertilización inorgánica y control químico de plagas y enfermedades (FI+CQ) y los otros manejos propuestos. Es importante destacar que la mezcla de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en los tratamientos de fertilización balanceada (FB), aumentó la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), afectando todas las variables relacionadas.

Con relación a la biodiversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se consiguió que el manejo aplicado por el productor (FI+CQ) fue donde se presentó la menor biodiversidad de HMA; mientras que la mayor diversidad se presentó en el manejo con fertilización balanceada (orgánica + inorgánica) y control químico de plagas (FB+CQ); aunque las diferencias en la composición de la comunidad HMA observada entre los tratamientos fueron muy difíciles de establecer, teniendo en cuenta que los manejos estudiados consistieron de un gran número de parámetros. Por otro lado, se detectó en las raíces del duraznero la presencia de dos familias de HMA que pudieran actuar como agentes protectores contra patógenos como el nematodo *Meloidogyne incognita*, endémico en la zona.

Cultivos de cobertura y tipos de fertilización en un suelo de las sabanas bien drenadas del estado Guárico

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se corresponden con las de otros suelos de la zona, caracterizadas por una baja actividad biológica, reacción fuertemente ácida, bajos contenidos de materia orgánica y de nutrientes disponibles, textura gruesa, alta permeabilidad, baja retención de agua y nutrientes, así como susceptibilidad al deterioro estructural por formación de sello superficial y/o capas compactadas.

Las coberturas introducidas a pesar de tener mayor contenido de nutrientes que la vegetación de la sabana (SN), resultaron de lenta descomposición. No se puede decir que exista una cobertura que mejore la calidad del suelo más que la otra, ya que unas propiedades se vieron favorecidas cuando el cultivo de cobertura era la gramínea *Brachiaria dictyoneura* (BD) y otras cuando era la leguminosa *Centrosema macrocarpum* (CM), lo que se pudo asociar con su calidad bioquímica. Parecería conveniente para futuras investigaciones, que los cultivos de cobertura sean una mezcla de gramíneas y leguminosas.

El uso de la siembra directa para el cultivo de maíz, incorporando coberturas perennes (gramínea y leguminosa) asociadas al cultivo, combinado con el uso de fuentes de fósforo de lenta solubilización como la roca fosfórica, o de biofertilizantes elaborados a partir de cepas nativas, produjeron cambios significativos en las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas del suelo, el desarrollo del cultivo (especialmente de las raíces), las comunidades de macroinvertebrados del suelo; así como en el funcionamiento integral del agroecosistema maíz-ganado en las sabanas bien drenadas. Muchas de estas propiedades evaluadas son dinámicas y estuvieron sujetas al momento del manejo y las condiciones climáticas.

Algunas de las propiedades evaluadas en los ensayos y evaluaciones realizados en las tres zonas agroecológicas, principalmente las relacionadas con las fracciones de la materia orgánica, pudieran utilizarse como indicadores del cambio que se produce en el suelo debido las prácticas de manejo. También es importante tomar en cuenta la variabilidad espacial de los atributos edáficos para una mejor interpretación de los resultados.

Facultad de Agronomía
Universidad Central de Venezuela
Maracay, Abril 2024