

Factores que influyen en el manejo integrado de nutrientes para la producción agrícola

Main factors influencing the integrated nutrients management in agriculture

Gustavo J. Crespo López

Instituto de Ciencia Animal, Apartado 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

Correspondencia: gcrespo@ica.co.cu

Resumen

El objetivo del presente artículo es ofrecer una revisión del significado que tienen diversas prácticas agronómicas en el logro de un eficiente manejo integrado de nutrientes (MIN) que produzcan incrementos en el rendimiento de los cultivos, se hace énfasis en aquéllos relacionados con la alimentación humana. Para lo cual se realizó un análisis del estado del conocimiento respecto a los principales factores que influyen en el MIN, con énfasis en las regiones tropicales. En términos generales, las técnicas que utilizan la mínima labranza del suelo, la rotación adecuada de cultivos en un mismo terreno, el mulchín o arropo entre las franjas de cultivo, el uso óptimo del agua en los sistemas de riego, la aplicación de abonos orgánicos, abonos órgano-minerales y los sistemas silvopastoriles, producen mejoras en el estado de nutrición de las plantas y en el cuidado del suelo, con efectos favorables en el ahorro de fertilizantes químicos y en el aumento del rendimiento de los cultivos. Se prestó especial atención al significado que tienen los biofertilizantes en el aumento del rendimiento de numerosos cultivos de interés agrícola en Cuba y la necesidad de continuar las investigaciones sobre la rizosfera de los cultivos. Se concluye que el conocimiento y la puesta en práctica de las tecnologías identificadas pueden contribuir al logro de la producción sostenible

Abstract

This review was made in order to analyze the knowledge regarding the main factors influencing the integrated nutrients management in agriculture (INM), with emphasis in tropical regions. In general terms, the technologies that apply minimum tillage, adequate crops rotation in the same area, the mulching, the efficient use of water in the irrigation systems, the application of organic and organic-mineral amendments and the silvopastoral systems, had improved the nutrients status of plants and the soil fertility conservation. Special attention was made about the effect of biofertilizers in the increasing yields of numerous plants in Cuba and the necessity of new investigations about the rhizosphere activity. It is concluded that the knowledge and application of the technologies identified, can contribute effectively to reach a sustainable food production in the world, as it has claimed by FAO to the year 2015

Keywords

Food, soil, fertility, plant nutrition.

de alimentos para la humanidad que planteó la FAO en el año 2015.

Palabras clave

Alimentos, fertilidad, suelo, nutrición vegetal.

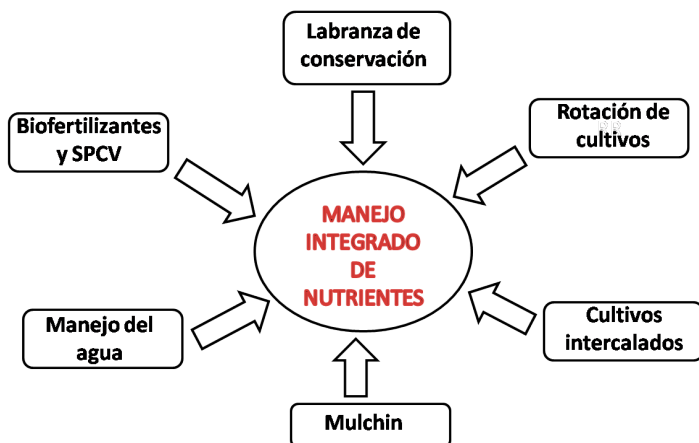
Introducción

Durante la era de la revolución verde (de 1965 a 1995), los fertilizantes tuvieron gran peso en el incremento del rendimiento agrícola de los países en desarrollo (FAO, 1998); no obstante, el uso abusivo y constante causaron problemas negativos en las propiedades de los suelos, con el reconocido costo económico y ambiental.

La producción de cosecha en estos países tendrá que obtenerse en las tierras que actualmente están bajo cultivo. Recientes estudios indican que, para lograrlo, el consumo de fertilizantes en el mundo tendría que incrementarse de 134 millones de toneladas en 1995/1997 a 182 millones de toneladas en 2030, para un crecimiento promedio anual de 0.9% (FAO, 2015).

Lo anterior podría indicar que el incremento de la población, la urbanización y la industrialización, competirán por más tierras agrícolas. Sin embargo, los avances recientes en el entendimiento de la rizosfera y los microorganismos asociados, hacen posible la obtención y aplicación de bioabonos y sustancias promotoras del crecimiento vegetal (SPCV) a partir de hongos y bacterias beneficiosas que habitan en ella y que podrían incrementar la producción agrícola. Por lo tanto, el desarrollo de un sistema de MIN para diferentes condiciones agroecológicas, podría asegurar la producción de alimentos de forma sostenible (Snyder *et al.*, 2009).

El MIN puede reactivar la fertilidad de los suelos mediante el uso balanceado de los nutrientes, la factibilidad económica y el mantenimiento de la calidad ambiental. Entre las prácticas agrícolas que pueden contribuir al sistema del MIN se reconocen las siguientes:



Otras alternativas de manejo que se pueden mencionar, por contribuir de forma significativa al MIN, son el uso de los abonos orgánicos y órgano-minerales y el manejo animal en sistemas silvopastoriles.

El objetivo del presente artículo es ofrecer una revisión del significado que tienen diversas tecnologías de manejo sostenible de la tierra y la ordenación de cultivos en el MIN, así como su efecto en el rendimiento de diversos cultivos, haciendo énfasis en aquéllos relacionados con la alimentación humana y el ganado bovino.

La labranza de conservación

En contraposición con los graves efectos que produce en los suelos la tecnología tradicional en su preparación, la labranza de conservación promueve el mínimo laboreo del mismo para protegerlo de los agentes erosivos (hídricos y eólicos), la pérdida de los nutrientes vegetales, el agua y la actividad biológica, entre otros (Álvarez y Stenbachs, 2012; Rodríguez-González, 2016).

Para el establecimiento de los cultivos, esta técnica solamente requiere de la preparación de un lecho de siembra en franjas estrechas bien mullidas, separadas a la distancia que requiere cada tipo de cultivo. Claro está que esta técnica de preparación del suelo *per se* no propicia totalmente estos condicionantes, sino que requiere de más factores que contribuyen a ello, como son la profundidad, el tipo de implemento, la textura del suelo, el clima y la época del año, entre otros. Por su parte, si la velocidad de mineralización se incrementa drásticamente, el exceso de mineralización genera inmovilización de nutrimentos, todo está ligado al suelo y particularmente a su metabolismo. En esta tecnología, la aplicación de un herbicida preemergente y de una dosis mínima de abono son suficientes para garantizar el establecimiento. El área restante se chapea a ras del suelo con una frecuencia que depende de la época del año (Altieri, 1999).

En este sistema, la preparación del suelo en cada franja de siembra facilita el desarrollo radical de las plantas y el suministro adecuado de los nutrientes del suelo a través de la acelerada mineralización de la materia orgánica (Guadarrama *et al.*, 2017). Además, en esta condición se crea un ambiente favorable para la entrada de aire y agua en el suelo y se reactiva la actividad de los microorganismos y la fauna edáfica (Maharjan *et al.*, 2017).

Numerosos ejemplos de la influencia que tiene esta técnica en el rendimiento de diversos cultivos se muestran en el cuadro 1. Aunque en todos los casos no se logra un aumento significativo del rendimiento, los valores son muy cercanos y, en todos los casos, se produce un aumento en la eficiencia del uso de los nutrientes y del agua (Martínez *et al.*, 2010; Olivet-Rodríguez y Cobas-Hernández, 2017).

Cuadro 1
Influencia del método de preparación del suelo
sobre el rendimiento de varios cultivos

Cultivo	Rendimiento según preparación del suelo, t MS/ha		Algunas características del suelo	Referencia
	Mínima	Tradicional		
Maíz grano <i>Zea mays</i> (L.)	3.00	3.40	Pobre contenido de N, P, MO y pobre capacidad de intercambio catiónico	Karuma <i>et al.</i> , 2016
Frijol <i>Phaseolus vulgaris</i> (L.)	0.90	0.70	Clima tropical húmedo	Rojas y Chávez, 2012
	0.70 ¹	1.05 ²	Fluvisol	Olivet-Rodríguez y Cobas-Hernández, 2017
Trigo <i>Triticum spp.</i>	4.20	4.80	textura franco-arcilloarenoso	Falótico <i>et al.</i> , 1999
Arroz <i>Oriza sativa</i> (L.)	5.90	6.70	Pobre en N, P y MO	Rojas-Acuña <i>et al.</i> , 2012
Maíz forraje <i>Zea mays</i> (L.)	17.00 ³	20.08 ³	Montmorillonítico	Salazar-Sosa <i>et al.</i> , 2003
	29.00 ⁴	30.00 ⁴		
Maíz forraje ^a <i>Zea mays</i> (L.)	82.10 ⁵	99.80 ⁵	Montmorillonítico	Martínez <i>et al.</i> , 2010

¹Dos pases de grada con discos de forma perpendicular. ²Rotura con multirrado + pase de grada con discos.

³Sin N. ⁴Con N. ⁵Con abono orgánico. ^aBase fresca.

Existen resultados que indican que con el cultivo mínimo, la disponibilidad de N, fácilmente asimilable en el suelo, es menor, lo que causa la obtención de rendimientos más bajos (Salazar-Sosa *et al.*, 2003), pero el suministro de este nutriente en el cultivo mínimo posibilita la obtención de mayor rendimiento, en comparación con la labranza tradicional (Martínez *et al.*, 2010).

Este tipo de agricultura es aplicable con éxito también en áreas elevadas, con pendientes que no excedan de 10-15%. En estas condiciones, las franjas de siembra se preparan siguiendo las curvas de nivel y a distancias que dependen del grado de la pendiente. Para que las lluvias torrenciales no produzcan erosión por arrastre, suelen situarse barreras vivas en las partes más altas de la pendiente, para ello se utilizan plantas de crecimiento denso, como el vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) (Roque y Enrique, 2017) y el King grass (*Cenchrus purpureus* vc. King grass) (Garzón-Pastrana, 2018), entre otras.

La rotación de cultivos

Esta técnica también demostró contribuir de forma significativa al incremento de la producción agrícola (Martínez-Camiño y Osuna-Ceja, 2017; Garzón-Pastrana, 2018). Se trata de un sistema agrícola en el cual se establece una secuencia o sucesión de cultivos, de forma tal que el cultivo siguiente se beneficia no sólo de los nutrientes que quedaron disponibles en el suelo por el cultivo anterior sino, además, por la materia orgánica y los nutrientes que aportaron los residuos de la anterior cosecha (incluyendo la biomasa de raíces). Por lo general, la rotación de cultivos aumenta el rendimiento y el beneficio económico, aunado a una producción sostenida. Se caracteriza por un sistema secuencial sobre tierra cultivada, prácticas administrativas y programación de rotación que constituyen alrededor de uno o dos cultivos principales, seguido de una o más legumbres u otros cultivos secundarios como los energéticos (Vladimir *et al.*, 2015; Renzi *et al.*, 2017).

La rotación de cultivos esta generalizada en gran parte del mundo, y demuestra, a largo plazo, favorecer las condiciones agroecológicas y producir cambios positivos en las propiedades del suelo (Vladimir *et al.*, 2015). No obstante, Zegada-Lizarazu y Monti-Andrea (2011) identificaron que este sistema de producción requiere alta disciplina tecnológica como: mayor nivel de organización y habilidad del agricultor, mayor número de maquinaria y suministros agrícolas, mayor preparación técnica y administrativa del productor en el manejo de varios cultivos y, estricta secuencia y programación de cultivos.

Debido a la necesidad mundial de crear nuevas fuentes de energía, se propuso un sistema de rotaciones entre especies cuidadosamente seleccionadas para la producción de alimentos con especies productoras de biocombustible, adaptadas potencialmente a diversas condiciones climáticas. En este sentido, Robson (citado por Vladimir *et al.*, 2015) planteó diferentes diseños y sistemas de administración en la rotación de cultivos.

La atención cultural a los cultivos que rotan es indispensable en la agricultura de producción intensiva, de modo que se aproveche al máximo los fertilizantes inorgánicos y se incentive la reserva y contenido de materia orgánica del suelo para conservar y promover su bio-estructura (Eugenia-Vallejo *et al.*, 2018). En la rotación, las leguminosas contribuyen a la fijación biológica de nitrógeno y las gramíneas al contenido de materia orgánica a través del material vegetativo seco (rastrajo), y las pasturas perennes actúan como restauradoras de las condiciones físicas y biológicas del suelo al secuestrar el carbón orgánico (Franzluebbbers *et al.*, 2013).

Entre las plantas más utilizadas en las rotaciones de cultivo se encuentran: frijol terciopelo (*Mucuna spp*), dolicho (*Dolichos lab-lab purpureus*), kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moech), soya (*Glycine max* L. Merrill) y girasol (*Heliantus annus* L.), entre otros.

En Cuba, los resultados más relevantes obtenidos con la rotación de cultivos se han producido en el cultivo del arroz. En el cuadro 2 se resumen los principales resultados encontrados en este cultivo.

Cuadro 2
Efecto del sistema de rotación en el rendimiento de arroz (t/ha)
en Cuba (Díaz *et al.*, 2004)

Tratamiento	Rendimiento			Incremento del rendimiento con respecto al monocultivo
	Al inicio	Dos ciclos después	Diferencia	
A-A- <i>Mucuna pruriens</i> (L.)	5.83	5.71	-0.12	2.92
A-A- <i>Lablab purpureus</i> (L.)	5.76	5.74	-0.02	2.95
A-A- <i>Glycine max</i> (L.) Merrill	5.91	5.87	-0.04	2.78
A-A- <i>Helianthus annuus</i> (L.) - <i>Lab-lab purpureus</i> (L.)	5.84	5.86	+0.02	3.07
A-A- <i>Arachis hypogaea</i> (L.) - <i>Mucuna pruriens</i> (L.)	5.92	5.82	-0.10	3.03
A-A- <i>Phaseolus vulgaris</i> (L.) - <i>Hibiscus cannabinus</i> (L.)	5.90	5.84	-0.06	3.05
A-A-A- <i>Lablab purpureus</i> (L.)	5.79	5.70	-0.09	2.91
A-A-A- <i>Mucuna pruriens</i> (L.)	5.83	5.73	-0.10	2.94
A-A-A- <i>Hibiscus cannabinus</i> (L.)	5.89	5.76	-0.13	2.97
A-A-A- <i>Lablab purpureus</i> (L.) - <i>Helianthus annuus</i> (L.)	5.69	5.69	0.0	2.90
A-A-A- <i>Mucuna pruriens</i> (L.)	5.74	5.70	-0.04	2.91
A-A-A- <i>Hibiscus cannabinus</i> (L.)	5.77	5.71	-0.06	2.92
A-A-A-A- <i>Lablab purpureus</i> (L.)	5.82	5.80	-0.02	3.01
A-A-A-A- <i>Hibiscus cannabinus</i> (L.)	5.87	5.81	-0.07	3.02
A-A-A-A- <i>Mucuna pruriens</i> (L.)	5.91	5.83	-0.08	3.04
Arroz monocultivo	5.84	2.79	-3.05	—

A = Arroz.

Los cultivos intercalados

Otra técnica agrícola que también puede influir en el MIN es el intercalamiento de cultivos. Se trata de sembrar varias especies de plantas en una misma área de terreno, de manera que se crean las condiciones favorables para una extracción más eficiente de los nutrientes del suelo, mayor diversidad biológica, mayor diversificación en la producción de alimentos y mayor fortaleza del ecosistema agrícola (CONAB, 2016; Pérez *et al.*, 2017; Pascoaloto *et al.*, 2017).

En el fomento de pastizales permanentes, esta técnica no sólo muestra tener un efecto favorable en el establecimiento de los mismos (Sistachs *et al.*, 1995; Padilla *et al.*, 1996; 1997; 1998) sino que también posibilita una mayor producción agrícola adicional. Entre las principales ventajas de esta técnica se señalan mejor control de malezas y aumento del contenido de nutrientes en el suelo, proveniente del abono que se aplicó al cultivo que se intercala. En el cuadro 3 se indican los resultados encontrados en estudios con el intercalamiento de cultivos en el establecimiento de varios pastos mejorados.

Cuadro 3

Efecto del intercalamiento de cultivos en el establecimiento de pastos mejorados

Pasto sembrado	Rendimiento, t MS/ha		Referencia
	Pasto establecido	Cultivo intercalado	
<i>Cenchrus purpureus</i> vc.	8.8	Ninguno	
King grass	4.9	5.20 ¹	
	3.7	1.50 ²	Padilla <i>et al.</i> , 1996
	7.4	0.60 ³	
	6.4	2.00 ⁴	
	5.9	2.10 ⁵	
<i>Cynodon nlemfuensis</i> vc.	4.0	Ninguno	
Jamaicano	13.8	8.10 ²	Padilla <i>et al.</i> , 1997
	6.0	10.9 ⁶	
<i>Leucaena leucocephala</i> vc.	0.19	0.75 ⁷	
Cunningam	0.14	3.50 ⁸	Padilla <i>et al.</i> , 1998
	0.14	0.45 ⁹	
	0.17	6.19 ¹⁰	

¹*Zea mays*. ²*Sorghum bicolor*. ³*Dolichos lab-lab purpureus*. ⁴*Amaranthus viridis*. ⁵*Sorghum vulgaris*. ⁶*Helianthus annuus*. ⁷Tres surcos de *Vigna unguiculata* en mayo y tres surcos de *Megathyrsus* vc. Likoni en julio. ⁸Dos surcos de *Zea mays* en mayo y un surco de *Megathyrsus* vc. Likoni en julio. ⁹Dos surcos de *Vigna unguiculata* en mayo y un surco de *Megathyrsus* vc. Likoni en julio. ¹⁰Un surco de *Megathyrsus* vc. Likoni en mayo.

El mulchin

Se identifica como los rastros de cosechas, las hierbas cortadas y otros materiales agrícolas, que se colocan sobre el suelo para protegerlos de la erosión (hídrica y eólica), evitar el crecimiento e invasión de especies arvenses, disminuir en alto grado la pérdida de agua por evaporación y aumentar el contenido de materia orgánica del suelo (Liu *et al.*, 2007). El mulchin es ampliamente usado en la agricultura de conservación y entra a formar parte importante entre las técnicas que contribuyen al MIN (Lu *et al.*, 2000).

Esta práctica proporciona materia orgánica al suelo, que es utilizada como fuente de energía por los microorganismos, principales agentes de descomposición y liberación de nutrientes minerales (Singh *et al.*, 2011). Al mejorar la estructura del suelo, los microorganismos aumentan la capacidad de retención del agua (Murray-Núñez *et al.*,

2018) y amplían la capacidad amortiguadora del suelo en cuanto a retención de cationes, reducción en la fijación de fosfato, reservorio de nutrientes secundarios y micronutrientes. Se indicó que en los suelos donde no se realiza esta práctica, decrece la materia orgánica y se producen bajos rendimientos de los cultivos (Loveland y Webb, 2003).

La opción de incorporar estos residuos vegetales al suelo debe ser evaluado con criterios de productividad, rentabilidad y sostenibilidad de la agricultura intensiva, sin olvidar el impacto al agroecosistema (Manlay *et al.*, 2007). También debe coincidir con un enfoque de intensificación ecológica al cumplir con los estándares de calidad ambiental.

El manejo del agua

La producción de alimentos puede incrementarse y cubrir la seguridad alimentaria mundial sólo si las zonas de regadío se expanden o el riego se intensifica. Con base en lo anterior, un modelo para estimar el uso eficiente del recurso hídrico (SWAT, por sus siglas en inglés), se propuso como herramienta de evaluación de suelo y agua de las grandes cuencas agrícolas bajo producción intensiva. Este modelo involucra parámetros como: escorrentía, percolación, flujo del agua, carga de nutrientes, contaminación por pesticidas, clima, cultivo y manejo agrícola (Arnold *et al.*, 1998).

Por otra parte, el término *huella hídrica* se propuso para contabilizar las ganancias y pérdidas en el uso de agua, el cual hace referencia al volumen total utilizado durante la producción y el consumo de bienes y servicios. También cuantifica el consumo directo de agua por los seres humanos y el total de agua consumida a lo largo de la cadena de suministro global (Yu *et al.*, 2010). A nuestro juicio, en el problema del agua hay que tener presente también el problema de la contaminación y el uso irracional de los sistemas de irrigación. Zhao *et al.* (2009) mencionan que las limitaciones del recurso hídrico son y serán un riesgo eminente para la sostenibilidad de los sistemas productivos agrícolas intensivos. La sustentabilidad de los sistemas en el futuro estará obligada a mantener la demanda de alimentos bajo condiciones adversas, lo que implica contar con un mejor uso y métodos más sofisticados de riego y nutrición. Debemos saber producir ante condiciones cada vez de mayor sequía y saber estimular a la planta para la asimilación de humedad relativa, entre otros aspectos.

Invertir en sistemas presurizados origina ahorros económicos en comparación con riegos por surcos o melgas (Hillel, 2008). La adopción de sistemas bien diseñados y administrados están enfocados a términos de ahorro de agua, ganancias económicas con la rentabilidad sostenible de cultivos y la recuperación de los costos de inversión (Rodríguez *et al.*, 2013).

El uso excesivo del agua se reduce con sistemas localizados (microaspersión, goteo o cintilla) directamente en la zona radicular. Estos sistemas altamente eficientes son necesarios para lograr un manejo integral de nutrientes en la producción intensiva al cubrir las necesidades hídricas y nutrimentales, debido al fertirriego en cada etapa fenológica de la planta; con incremento en la eficiencia de aplicación, evita la mineralización y lixiviación de los principales elementos constitutivos de la nutrición en la planta (Kijne *et al.*, 2009).

Por otra parte, en ambientes semiáridos, sin riego, lluvia de alta intensidad, poca frecuencia, distribución errática y de forma desigual, es difícil determinar la dosis de N a aplicar, requisito para lograr altos rendimientos (Zhao *et al.*, 2009). Esta variación en el período de precipitación tiene un fuerte impacto sobre el rendimiento, y la utilización de N suministrado hace que el potencial de fertilización excesiva o deficiente no pueda ser determinado. Recientemente se le presta mucha atención al importante papel que representan las prácticas de la agricultura de conservación o mínimo disturbio del suelo, en la mayor eficiencia del agua que se aplica con la irrigación y en el aumento de la utilización de los nutrientes por las plantas (Herrera-Puebla *et al.*, 2017).

Los sistemas silvopastoriles (SSP)

En los SSPi, los pastos, arbustos y árboles suman diferentes niveles que capturan la energía solar para transformarla en biomasa. Por lo general, las raíces de los árboles penetran hasta las capas más profundas del suelo, desde donde extraen nutrientes y agua que contribuye también al incremento de la producción y a mantenerla en épocas con poca precipitación (Nair, 2011).

Con relación al mejoramiento y la productividad del suelo, los sistemas agroforestales en general y dentro de éstos, los SSP, actúan a través de varios mecanismos complementarios, como son: a) protección del suelo a la acción de la radiación directa del sol, gracias a la cobertura del dosel y el aporte de hojarasca (McNeely y Schroth, 2006); b) incremento de la entrada de nitrógeno por la presencia de plantas fijadoras de este elemento (Nair, 2011); c) aumento en la disponibilidad de nutrientes como resultado de la mayor producción y descomposición de la biomasa de los árboles (Nair, 2011); d) mejora de las propiedades físicas del suelo y mayor recuperación de nutrientes desde las capas profundas (Nair, 2011) y e) incremento de la actividad microbiana, factor que a su vez contribuye a la formación de agregados biogénicos del suelo, al reciclaje de los nutrientes y al control de agentes patógenos (Nair *et al.*, 2008; Vallejo *et al.*, 2010). A su vez, algunos de estos factores reducen la vulnerabilidad a fenómenos climáticos extremos, al conservar la humedad del suelo y reducir el efecto desecante de las altas temperaturas y el viento sobre el estrato productivo.

Los estudios conducidos en Colombia encontraron mayor deterioro de las propiedades físicas (mayor compactación, mayor densidad aparente y menor porosidad e infiltración) en suelos cubiertos por monocultivos de gramíneas y sometidos a pastoreo convencional, que en los suelos de bosques aledaños y cultivos agroforestales (Sadeghian *et al.*, 1999; Camargo *et al.*, 2010).

Estudios comparativos de suelos bajo SSPi de diferentes edades y pastos convencionales con árboles en la Reserva Forestal El Hatico, Valle del Cauca (Colombia), registraron efectos marcados en sus propiedades físicas. Así, los suelos en los SSPi tuvieron mayor porcentaje de macro y mesoporos, menor densidad aparente (< 1.4 versus 1.52 g/cc) y menor resistencia a la penetración (3.3 versus 3.98 MPa) que en los suelos de pasturas mejoradas, lo que demuestra que el SSPi puede revertir la compactación generada por

el pisoteo del ganado (Vallejo *et al.* 2010). Las mejores propiedades se observaron de cinco a diez años.

Estos cambios influyeron también en las características del suelo relacionadas con la dinámica y conservación del agua, de modo que la conductividad de este líquido fue más alta en los SSPi que en las pasturas convencionales, lo cual indica que los sistemas arbolados tienen mayor infiltración de agua.

En Cuba, la degradación de los suelos constituye un gran problema para la agricultura y compromete el futuro del país, actualmente se trata de establecer un sistema agrícola capaz de solventar la creciente demanda alimenticia de la población, reto que consiste en detener el proceso de erosión de los suelos (Sánchez *et al.*, 2011 y Murillo *et al.*, 2014). Ante esta situación, se necesita establecer sistemas de manejo del suelo que permitan obtener resultados productivos sostenibles y, a la vez, elevar sus niveles de materia orgánica, con el mejoramiento consecuente de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Silva *et al.*, 2013). Los avances en la investigación demostraron que los pastizales integrados con *Leucaena leucocephala* constituyen una opción productiva, rentable y sostenible para la producción ecológica del ganado vacuno (Cuartas *et al.*, 2015; Murgueitio *et al.*, 2015; Galindo *et al.*, 2016 y Solorio *et al.*, 2016).

Se reconoce la importancia de los árboles en los ecosistemas agropecuarios y en las posibilidades potenciales de los sistemas silvopastoriles para la recuperación de los suelos. El tema es abordado por diversos autores (Sánchez, 2010; Alonso, 2011; Lok y Fraga, 2011; Sánchez *et al.*, 2011; Seddaiu *et al.*, 2013), aunque aún es necesario profundizar en los procesos que tienen lugar en el suelo con la utilización de una leguminosa, como la leucaena, en la formación de una estructura estable en el suelo.

Investigaciones de Cairo-Cairo *et al.* (2017) relacionadas con el efecto de la leucaena en la estructura y contenido de materia orgánica del suelo en unidades ganaderas de la provincia de Villa Clara, en el centro de Cuba, demostraron que dicha planta, después de cuatro años de establecida, influyó favorablemente en los agregados estables y en el factor estructura, además de mejorar los indicadores de plasticidad. Esto indica el aumento de la capa activa del suelo y de la creación de condiciones para una buena relación aire y agua (Cairo *et al.*, 2008). El hecho de alcanzar niveles de materia orgánica por encima de 3%, agregados estables al agua en valores de más de 70% y factor estructura próximo a 70% a los cuatro años de permanencia de la leucaena, evidenció la factibilidad de recuperación de los suelos. Esto concuerda con lo encontrado por Lok y Fraga (2011) en otras condiciones edafoclimáticas. Otros estudios confirmaron el incremento de la estabilidad estructural de un suelo Ferráltico Rojo en un sistema silvopastoril (*M. maximus/L. leucocephala*) a medida que avanzó el tiempo de evaluación (Lok *et al.*, 2006).

Los biofertilizantes y las sustancias promotoras del crecimiento vegetal (SPCV)

Como se indicó al principio, la producción industrial de fertilizantes no podrá satisfacer las necesidades de alimentos de una población mundial en constante aumento, sobre todo

cuando el exceso de aplicaciones conduce a contaminar el agua de beber, la eutrofización de los reservorios de agua y las emisiones de dióxido de N a la atmósfera, además del aumento considerable de la utilización de fuentes de energía no renovables. Por eso, se está imponiendo en la agricultura mundial el redimensionamiento del uso de las biotecnologías y, entre ellas los biofertilizantes.

La sustentabilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido, los biofertilizantes y bioestimuladores microbianos representan un componente vital de los sistemas sustentables (Martínez-Viera *et al.*, 2007).

Los biofertilizantes y bioestimuladores microbianos pueden definirse como productos con base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, que al incrementar sus poblaciones con la inoculación artificial, son capaces de poner a disposición de las plantas, mediante su actividad biológica, una parte importante de los nutrientes que necesitan para su desarrollo, así como suministrar sustancias hormonales promotoras del crecimiento vegetal. La importancia de estos bioproductos radica en su capacidad para suplementar o movilizar nutrientes con un mismo uso de recursos no renovables; además, tienen la ventaja de que los procesos microbianos son rápidos y los biopreparados pueden aplicarse en pequeñas dosis (Sánchez y Swamunathan, 2005; Gregory, 2006; Boddey *et al.*, 2006; Martínez-Viera *et al.*, 2010).

Un grupo grande de investigaciones son conducidas en Cuba y otras regiones tropicales en las que se demuestra el efecto positivo de los biofertilizantes en la producción de los cultivos. Un resumen de las mismas se presenta en el cuadro 4, donde se destacan los notables resultados en la producción de diversos forrajes y otros cultivos de interés económico.

Cuadro 4

Algunos resultados obtenidos en Cuba con la aplicación de biofertilizantes

Cultivo	Manejo integrado	Tipo de suelo (*)	Incremento del rendimiento	Referencia
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Kudzú tropical)	Coinoculación <i>Glomus hoi-like</i> + <i>Rhizobium</i> nativo	Ferralítico rojo lixiviado	53.1% forraje	González <i>et al.</i> , 2012
<i>Canavalia ensiformis</i> (Canavalia)	<i>Glomus hoi-like</i>	Ferralítico rojo lixiviado	60.0% (primer año) 32.8% (segundo año)	Martín-Alonso <i>et al.</i> , 2010
	<i>Glomus cubense</i> INCAM-4 + 15 t/ha de estiércol vacuno	Ferralítico rojo lixiviado	62.0% (forraje) 103.0% (granos)	Martín-Alonso <i>et al.</i> , 2014
	<i>Glomus cubense</i>	Ferralítico amarillento rojizo lixiviado	23.0% forraje	García-Milagros <i>et al.</i> , 2011

Cultivo	Manejo integrado	Tipo de suelo (*)	Incremento del rendimiento	Referencia
<i>Morus alba</i> L. (Morera)	<i>Glomus hoi-like</i>	Ferralítico rojo	16.8% (a los 90 días) 140.0% (a 240 días)	Pentón <i>et al.</i> , 2012
<i>Moringa oleifera</i> var. Supergenius (Moringa)	25 t/ha estiércol bovino + <i>Glomus hoi-like</i> + Fitomás-E	Ferralítico rojo típico	18.0%	Lok y Suárez, 2014
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. <i>Basilisk</i> (Braquiaria)	<i>Glomus hoi-like</i> INCAM-4	Ferralítico rojo lixiviado	47.0% (macetas)	Crespo-Flores <i>et al.</i> , 2010
	<i>Glomus cubense</i> + 200 kg/ha N + 50 kg/ha de K por año	Ferralítico rojo	144.0% (primer año) 87% (sexto año)	González <i>et al.</i> , 2011
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. <i>Mulato II</i>	<i>Glomus hoi-like</i> + 15 t/ha estiércol + 75 kg/ha/año de N	Ferralítico rojo lixiviado	77.00% forraje	González <i>et al.</i> , 2015
<i>Sorghum bicolor</i> L. (sorgo)	<i>Glomus hoi-like</i> + imbibición en Pectimorf	Ferralítico rojo	13.0% (la altura de la planta a los 30 días)	Pentón <i>et al.</i> , 2012
<i>Cenchrus purpureus</i> Sch. vc. Cuba CT-115	<i>Rhizoglonus intraradices</i> + Fitomás-E + 25kg/ha N (como Urea)	Pardo ócrico carbonatado	111.0% forraje (90 dpp)	Mujica-Pérez y Molina-Delgado, 2017
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. CIAT-184	Coinoculación de <i>F. mosseae</i> INCAM + <i>Rhizobium S₃</i>	Gley nodular ferruginoso	137.0%	Crespo-Flores <i>et al.</i> , 2014
<i>Glycine max</i> L. cv. IncaSoy-23 (soya)	<i>Bradyrhizobium elkanii</i> + <i>Glomus hoi-like</i> + Pectimorf	Ferralítico rojo lixiviado	50.0% granos	Corbera y Nápoles, 2010
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. Verlili (habichuela)	<i>Glomus cubense</i> INCAM-4 + Fitomás-E	Ferralítico rojo compactado	161.0% (campana 2009) 209% (campana 2010)	Terry-Alfonso <i>et al.</i> , 2013
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. Tomeguín 93 (frijol negro)	Solución de Biobras-16 (150 ml asperjado en 15 kg de semillas)	Húmico calcimórfico típico carbonatado	37.0% (una aspersión) 61.3% (dos aspersiones)	Rosabal <i>et al.</i> , 2013
	<i>Glomus intraradices</i> aplicada en la punta de las semillas (11 a 14 kg/ha) + 25% de la dosis de NPK recomendada	Pardo mullido carbonatado	39.0% (raíces)	Ruiz <i>et al.</i> , 2010
<i>Mannihot esculenta</i> Grantz (yuca)	25%NPK+Canavalia precedente inoculada con <i>Glomus hoi-like</i> + Canavalia intercalada e inoculada con <i>Glomus hoi-like</i>	Ferralítico rojo lixiviado	127.0% (raíces)	Joao <i>et al.</i> , 2010

Cultivo	Manejo integrado	Tipo de suelo (*)	Incremento del rendimiento	Referencia
<i>Manihot esculenta</i> Grantz (yuca) Cepa Abn 1 INIFAT,	<i>Gluconoacetobacter diazotrophicus</i>	Ferralítico rojo lixiviado	34.0% (raíces)	
<i>Ipomea batatas</i> Lam (boniato), Cepa Abn 1 INIFAT	<i>Gluconoacetobacter diazotrophicus</i>	Ferralítico rojo lixiviado	38.5% (tubérculos)	Dibut <i>et al.</i> , 2010
<i>Xanthosoma sp.</i> (Malanga)	<i>Gluconoacetobacter diazotrophicus</i>	Ferralítico rojo lixiviado	36.3% (tubérculos)	
<i>Solanum lycopersicum</i> L. cv Alicia (tomate)	Fertilizante líquido fórmula 5-10-5 en el sistema de riego. Cultivo protegido.	Ferralítico rojo compactado	Rendimiento total de 67 t/ha de frutos	Hernández, 2008
<i>Musa AAAAB</i> cv "FIAH 18" (plátano)	R. Intraradices + 75% NPK	Pardo mullido carbonatado	66.6%	Simó-González <i>et al.</i> , 2016
<i>Capsicum annum</i> L. var. Verano 2 (Pimiento)	<i>Glomus hoi-like</i> y suelo al 65% de capacidad de campo	Nitisol ródico eutrítico arcilloso + estiércol bovino 1/1 v.	24.0% frutos	Montero <i>et al.</i> , 2010
<i>Nicotiana tabacum</i> var. Corojo 99	75% fertilizante mineral + 0.50 kg/m ² de HMA	Alítico de baja actividad arcillosa	21.0%	(Cruz <i>et al.</i> , 2014)

*Se refiere a la II clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015).

Resaltan los notables incrementos de rendimiento de los cultivos con la aplicación de los biofertilizantes. El hongo del género *Glomus* se encuentra en casi todos los tipos de suelos cubanos, siendo *Glomus mosseae* o *Glomus hoi-like* el de mayor efecto en suelos Ferralíticos rojos y el *Rhizophagus intraradices* en los suelos Pardos. Rivera (2015) demostró que los HMA son suelodependientes, aunque hay plantas, como la yuca, la canavalia, la braquiaria y otras, que presentan alta dependencia micorrízica (Rivera *et al.*, 2012).

Aunque en general, los cultivos presentan respuesta a estos biofertilizantes, la aplicación adicional de moderadas dosis de abonos químicos u orgánicos ayudan a obtener rendimientos similares a los que se obtienen con la aplicación de los fertilizantes químicos que se recomiendan para el cultivo. Ejemplo de ello, son los resultados que refieren Joao *et al.* (2016) en el cultivo de la yuca y Martín *et al.* (2015) en canavalia. Recientemente se descubrió el efecto sinérgico que tiene la coinoculación de bacterias fijadoras de N atmosférico (rizobacterias) con hongos HMA. Así lo demostraron Crespo-Flores (2014) y Martín-Alonso *et al.* (2017).

Otros estudios abordan el tema de los métodos de aplicación de estos productos. Los más destacados tratan sobre la dosis óptima de aplicación. En este sentido, Joao *et al.* (2017) recomendaron 11.6 kg/ha del inoculante micorrízico aplicado en la punta de los ápices de las semillas de yuca para su plantación. Para las especies que se reproducen por

semillas botánicas, basta con sumergir las semillas en un medio líquido o espolvorearla con un inoculante sólido que contengan la población de hongos que se recomienda.

Un fuerte impacto tiene la siembra de una planta de abono verde inoculada con el hongo HMA, incorporada al suelo o intercalada, en la micorrización y aumento del rendimiento del cultivo que le sigue en la rotación. Esto fue demostrado por Rivera (2015) en diversos cultivos y García-Milagros *et al.* (2017) en tabaco negro.

Los microorganismos nativos

La utilización de microorganismos benéficos ha tenido amplia difusión en los últimos años, debido a su efecto positivo sobre el rendimiento de muchos cultivos en distintas situaciones y a la factibilidad de permitir el desarrollo de una agricultura orgánica (Caballero-Mellado, 2004; Cassán y García de Salamone, 2008).

Los inoculantes microbianos representan una nueva tecnología conducente a mejorar la productividad del sistema agropecuario a largo plazo. Puede ser considerada como una tecnología limpia, alineada con principios de la agricultura sustentable, frente al aumento abusivo de la utilización de pesticidas y fertilizantes en estos últimos tiempos. Varios microorganismos son utilizados en la práctica agrícola habitual, y otros tienen potencialidad para ser utilizados en el futuro (Maddoni *et al.*, 2004; Naiman *et al.*, 2009).

La incorporación de organismos seleccionados por sus funciones en diversos procesos que contribuyan a la implantación, desarrollo y producción de cultivos, es una alternativa que permite lograr aumentos en el crecimiento radical. Así se favorece la exploración del suelo y se mejora la accesibilidad al agua y nutrientes limitantes para los cultivos. Como consecuencia, se reducen procesos de pérdida de nutrientes móviles, se atenúan períodos de moderado estrés hídrico y se logran mantener tasas de crecimiento activo del cultivo mejorando su capacidad fotosintética (Díaz-Zorita y Fernández, 2008).

Hoy día, se considera que la fracción biológica de los suelos está indisolublemente ligada a su fertilidad, y se reconoce el papel de la microbiota asociada a las comunidades de plantas en la manutención del equilibrio ecológico de los suelos, tanto en los ecosistemas naturales como en los agroecosistemas (Tiang *et al.*, 2009). De hecho, el suelo constituye un medio ideal para el desarrollo de la vida microbiana, pues en él están creadas las condiciones ecológicas que permiten la multiplicación y sobrevivencia de un elevado número de microorganismos, con características fisiológicas y requerimientos nutricionales diversos (Martínez *et al.*, 2010).

La actividad microbiana del suelo está concentrada principalmente en la zona de la rizosfera, debido al flujo constante de compuestos orgánicos que constituyen fuentes de carbono para los microorganismos. La rizosfera constituye el hábitat donde los microorganismos están en contacto directo con las plantas (Pooja *et al.*, 2007; Cavaglieri *et al.*, 2009).

El aislamiento de nuevas cepas de rizobios, capaces de mostrar alta eficiencia simbiótica en las diferentes condiciones en que se cultivan los pastos, constituyen una tarea permanente. Según Hernández *et al.* (2013), la caracterización fenotípica de rizobios adaptados a condiciones estresantes en los suelos, constituye una de las primeras etapas

para la obtención de un inoculante efectivo, que permita mejorar el establecimiento de las leguminosas y reducir el empleo de fertilizantes nitrogenados.

En este sentido, numerosos trabajos reportan la obtención de una simbiosis leguminosa-rizobio efectiva, a partir de aislamientos de cepas procedentes de suelos afectados por la acidez (Hernández *et al.*, 2013) o la salinidad (Bolaños *et al.*, 2006; López *et al.*, 2011), lo que sin dudas representa una alternativa biológica viable para la producción de alimentos bajo estas condiciones edáficas.

Conclusiones

El incremento de la producción de alimentos para satisfacer la demanda de la población mundial en el siglo XXI puede ser resuelto de manera ecológica y sostenible, con el empleo de técnicas agronómicas que permiten el MIN en cada finca. De esta forma será posible la reducción significativa de la aplicación de productos químicos y su sustitución por técnicas que promueven la disponibilidad y utilización de las reservas de nutrientes del suelo, a la vez que se incrementan los beneficios de la aplicación de los biofertilizantes y las sustancias promotoras del crecimiento vegetal. A esto contribuiría también el aporte de abonos orgánicos y órgano-minerales, así como la adopción de sistemas silvopastoriles en la actividad ganadera.

Será de interés el desarrollo de investigaciones que permitan el conocimiento relacionado con el funcionamiento de la rizosfera y sus organismos asociados en cada nicho ecológico. Ello permitiría el descubrimiento de nuevos microorganismos que contribuyan de forma significativa a la nutrición de las plantas. Además, se necesitan más estudios acerca de la frecuencia de aplicación de los biofertilizantes y su impacto en el medio ambiente.

Naturalmente, por sí solas las técnicas agrícolas relacionadas en este trabajo, no podrían resolver totalmente el incremento de producción agrícola que se espera, si no van acompañados con el desarrollo de la producción de semillas certificadas, el mejoramiento genético y el manejo integrado de plagas, entre otras.

Agradecimientos

A los árbitros y equipo editorial de Avances en Investigación Agropecuaria por las sugerencias y labor realizada en el presente artículo.

Literatura citada

- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 45(2): 107-115. ISSN: 2079-3480.
- Altieri, M.A. (1999). Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. 325 p.
- Álvarez, R. y Steinbachs, H.S. (2012). A review of the effects of tillage systems on soil physical properties, water content, nitrate availability and crop yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*. 105: 1-15. ISSN: 0167-198
- Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S. y Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment. Part I. Model Development. *J. Am Water Res. Ass.* 34(3): 73-89.

- Boddey, R.M.; Alves, B.J.R.; Reis, V.H. y Urquiaga, S. (2006). Biological nitrogen fixation in agroecosystems and plant roots. En: Biology approaches to sustainable soil systems. Boca Ratón: Taylor and Francis E. Río de Janeiro, Brasil. Pp. 177-190.
- Bolaños, L.; Martín, M.; El-Hamdaoui, A.; Rivilla, R. y Bonilla, I. (2006). Nitrogenase inhibition in nodules from pea plants grown under salt stress occurs at the physiological level and can be alleviated by B and Ca. *Plant Soil*. 280: 135-142.
- Caballero-Mellado, J. (2004). Uso de *Azospirillum* como alternativa tecnológica viable para cultivos de cereales. En: Monzón de Asconegui MA, García de Salamone, IE, Miyazaki SS (eds.). Biología del suelo. Transformaciones de la materia orgánica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos. Editorial FAUBA, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Pp. 45-49.
- Cairo, P. C.; Ribalta, B.; Torres, A.P.; Jiménez, C.R.; Dávila, A.; Rodríguez, L.O. y Rodríguez, U.A. (2008). Disponibilidad de nutrientes, estructura y relación agua-aire bajo diferentes manejos de un suelo pardo mullido carbonatado. *Centro Agrícola*, 35(4): 11-14, ISSN: 0253-5785, 2072-2001.
- Cairo-Cairo, P.; Noval-Artiles, A.; Díaz-Martín, B.; Rodríguez-Urrutia, A.; Rodríguez-López, P.A.; Torres-Artiles, A.; Jiménez-Carrazana, J. y Dávila-Cruz, A. (2017). Effect of *Leucaena leucocephala* on structure and content of dry matter in the soil of two cattle rearing units in Villa Clara, Cuba. *Cuban J. Agric.* 51(3): 371-380.
- Camargo, J.; Chará, J.; Giraldo, L.; Chará-Serna, A. y Pedraza, G. (2010). Beneficios de los corredores ribereños de *Guadua angustifolia* en la protección de ambientes acuáticos en la Ecorregión Cafetera de Colombia: 1. Efectos sobre las propiedades del suelo. *Revista Recursos Naturales* 61:53-59.
- Cassán, F.D. y García de Salamone, I.E. (2008). *Azospirillum* sp.: Cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiología. Buenos Aires. 108 p.
- Cavaglieri, A.; Orlando, J y Etcheverry, M. (2009). Rhizosphere microbial community structure at different maize plant growth stages and root locations. *Microbiological Research*. 164(4): 391-399.
- CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. (2016). Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos 2015/2016., Brasília, Brasil. Disponible en: <http://www.conab.gov.br>. (Consultado mayo 2019).
- Corbera, J. y Nápoles, M.C. (2010). Evaluación de la inoculación conjunta *Bradhirrizobium elkanii*-Hongos micorrízicos arbusculares y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya cultivada en época de invierno. *Cultivos tropicales*. 31(4): 43-50.
- Crespo-Flores, G.; González, P.J.; Arzola, J. y Morgan, O. (2010). Effect of inoculation of native arbuscular Mycorrhizal fungi and one selected species on the *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk and *Panicum maximum* cv. Mombaza pastures. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 44(3): 301-307.
- Crespo-Flores, G.; Ramírez, J.F.; González, P.J. y Hernández, I. (2014). Co-inoculation of rhizobium strain and one of arbuscular mycorrhizal fungus on *Stilosanthes guianensis* cv. CIAT-184. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 48(3): 297-300.
- Cruz, Y.; García, M.; León, Y. y Acosta, J. (2014). Influencia de la aplicación de micorriza arbuscular y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco. *Cultivos tropicales*. 35(1): 21-24.
- Cuartas, C.A.; Naranjo, J.F.; Tarazona, A.M.; Correa, G.A. y Barahona, R. (2015). Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala*-based intensive silvopastoral systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 18(3): 303-311 ISSN: 1870-0462.
- Díaz, G.S.; Hernández, T. y Cabello, R. (2004). La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocerá. *Cultivos tropicales*. 22(3): 19-44.
- Díaz-Zorita, M. y Fernández, C.M.V. (2008). Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la República Argentina. En: Cassán F, García de Salamone IE (eds.). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Asociación Argentina de Microbiología. Buenos Aires. Pp. 155-166.
- Dibut, B.; Martínez, R.; Ríos, Y.; Ortega, M.; Plana, L.; Tejada, G. y Rodríguez, J. (2010). Estudio de la asociación *Gluconobacter diazotrophicus*-Viandas tropicales en suelo ferralítico rojo. I- Selección de cepas efectivas para la biofertilización de boniato, yuca y malanga. *Cultivos tropicales*. 31(4): 51-57.
- Falótico, J.L.; Studdert, G.A y Echeverría, A.E. (1999). Nutrición nitrogenada del bajo siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo*. 17(2): 9-27.

- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1988). Guide to efficient plant nutrient management, Rome, Italy. 18 p.
- FAO Boletín del Año Internacional de los suelos América Latina y el Caribe. (2015). Suelos degradados: una amenaza para la seguridad alimentaria. Número 1. Rome, Italy. 9 p.
- Franzluebbers, A.J.; Steadman, A.J. y Seman, D.A. 2013. Stocker performance and production in mixed Tall fescue-Bermuda grass pastures of the Southern Piedmont USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 28(4): 160-172.
- Galindo, J.; Gutiérrez, O.; Ramayo, M. y Leyva, L. (2016). Mineral status of cows and its relationship with the soil-plant system in a dairy unit of the Eastern region of Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 48(3): 371-380. ISSN: 2079-3480.
- García-Milagros, C.; Ponce de León, D.; Acosta, J. y Cruz, J. (2017). Influencia de *Canavalia ensiformis* micorrizada en algunas variables morfológicas y de rendimiento del tabaco cultivado al sol. *Cultivos tropicales*. 3(2): 22-27.
- Garzón-Pastrana, D.A. (2018). Análisis preliminar de las propiedades del suelo al establecer barreras vivas en la vereda Santa Teresa de San Juan de Rio Seco (Cundinamarca). Proyecto de Grado. Universidad de Colombia.
- González, P.J.; Rivera, R.; Arzola, J.; Morgan, O. y Ramírez, J.F. (2011). Efecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus hoi-like* en la respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087) a la fertilización orgánica y nitrogenada. *Cultivos Tropicales*. 32(4): 1-6. ISSN 0258-5936.
- González, P.J.; Guraneja, P.; Medina, N.; Crespo, G.; Ramírez, J.F. y Arzola, J. (2012). Co-inoculation of rhizobium strains and one of arbuscular micorrhizal fungi *Glomus cubense* and its effect on kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Technical note. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 46(3): 331-334.
- González, P.P.; Ramírez, J.F.; Rivera, R.; Hernández, A.; Plana, R.; Crespo, G. y Rosales, P.R. (2015). Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 49(4): 535-540.
- Gregory, P.J. (2006). Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? *European J. of Soil Science*. 57(1): 2-20.
- Guadarrama, A.; Mejía-Carranza, J. y Ramírez-Gerardo, G. (2017). Organic matter mineralization in soils with different management for rose cultivation. *Rev. Acta Universitaria*. 27(6): 24-56. 04-2013-081513345500-203, ISSN2007-9621
- Hernández, A.F. (2008). La coinoculación *Glomus hoi-like-Bradirhizobium japonicum* en la producción de soya (*Glycine max*) var. Verónica para semilla. *Cultivos Tropicales*. 29(4): 41-45
- Hernández, L. y Batista, J.L. (2013). Efectos del rhizobium en el rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Ccs Sabino Pupo del Municipio Manatí. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales, Servicios Académicos Intercontinentales SL*. issue 2013_09.
- Hernández, J.A.; Pérez, J.J.M.; Bosch, I.D. y Castro, S.N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 93 p. ISBN: 978-959-7023-77-7
- Herrera-Puebla, J.; Rodríguez-González, A. y Cid-Lazo, G. (2017). Efecto de dos sistemas de labranza sobre la infiltración en suelos Ferralíticos Rojos. *Rev. Ingeniería Agrícola*. 7(4): 3-10. ISSN 2306-1545.
- Hillel, D. (2008). Forty years of drip irrigation: reviewing the past, prospects for the future. *CSA News American Society of Agronomy, Madison, Wisc*. 53(9): 2-7.
- Joao, J.P.; Espinosa-Cuellar, A.; Ruiz-Martínez, L.; Simó-González, J. y Rivera-Espinosa, R. (2016). Efectividad de cepas de HMA en el cultivo de la yuca (*Manihot sculenta* Crantz) en dos tipos de suelo. *Cultivos tropicales*. 37(1): 48-56.
- Joao, J.P.; Rivera, R.; Martín, G.; Riera, M. y Simó, J. (2017). Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot sculenta* Crantz *Cultivos tropicales*. 38(3): 117-128.
- Karuma, A.N.; Gachene, K.K.; Gicheru, P.T.; Mtakwa, P.W. y Amuri, N. (2016). Effects of tillage and cropping systems on maize and beans yield and selected yield components in a semi-arid area of Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 19(2): 167-179.

- Kijne, J.; Barron, J.; Hoff, H.; Rockstrom, J.; Karlidsberg, L.; Gowing, J.; Wani, S.P. y Michelns, D. (2009). Opportunities to increase water productivity, in agriculture with special reference to Africa and South Asia. *Stocholm Envirom. Institute. Project Report*. Pp. 1-35.
- Liu, A.; Plenchette, C. y Hamel, C. (2007). Soil nutrient and water providers: How Arbuscular Micorrhizal Mycelia Support Plant Performance in a Reosource-Limited World? En: *Micorrhizae in Crop production* (eds.) Ch. Hamel and Ch. Planchette. Editorial Haworth Press. Binghampton, N.Y., USA. Pp. 37-66.
- Lok, S.; Crespo, G.; Frómeta, E. y Fraga, S. (2006). Estudio de indicadores de estabilidad del pasto y el suelo en un sistema silvopastoril con novillas lecheras. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 40(2): 229-237. ISSN: 2079-3480
- Lok, S. y Fraga, S. (2011). Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala/Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 45(2): 195-202. ISSN: 2079-3480.
- Lok, S. y Suárez, Y. (2014). Effect of fertilizers on the biomass production of *Moringa oleifera* and on some soil indicators during the establishment. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 48(4): 399-403.
- López, R.C.; Samson, R.; Vandamme, P.; Eichler-Löbermann, B. y Padilla, E. (2011). Respuesta de combinaciones *Rhizobium - Clitoria ternatea* en condiciones de estrés salino en el Valle del Cauto en Cuba. *Rev. Mex. de Cienc. Pecuarias*. 2(2): 110-115.
- Loveland, P. y Webb, J. (2003). Is There Critical Level of Organic Matter in the Agricultural Soils of Temperate Regions: Review. *Soil Tillage Research*. 70(3): 1-18. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00139-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00139-3)
- Lu, Y.C.; Watkins, K.B.; Teasdale, J.R. y Abdul-Baki, A.A. (2000). Cover crops in sustainable food production. *Food Reviews International*. 16(2): 121-157.
- Maddonni, G.A.; Ruiz, R.A.; Vilariño, P. y García de Salamone, I.E. (2004). Fertilización en los cultivos para grano. En: Satorre EH, Benech Arnold R, Slafer G, de la Fuente E, Miralles D, Otegui M, Savin R (eds.). *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. Editorial FAUBA, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Pp. 499-557.
- Maharjan, S.M.; Razair, B. y Kuzyakov, Y. (2017). A Review: Effect of land use and management practices on microbial biomass and enzyme activities in sub-tropical top-and sub-soil. *Applied soil Ecology*. 113(5): 22-28.
- Manlay, R.J.; Christian-Feller, C. y Swift, M.J. (2007). A Review: Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agric. Ecosyst. Environ*. 119(3-4): 217-233.
- Martín-Alonso, G.; González-Cañizares, P.J.; Rivera-Espinosa, R.; Arzola-Batista, J. y Pérez-Díaz, A. (2014). Efecto de la aplicación de estiércol vacuno e inoculación micorrízica sobre el crecimiento y producción de semillas de *Canavalia ensiformis* en suelos ferralíticos rojos lixiviados. *Cultivos tropicales*. 35(1): 86-91.
- Martín-Alonso, G.; Arias, L. y Rivera, R. (2010). Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*. 31(1): 24-29. ISSN 0258-5936
- Martín-Alonso, G.; Reyes, R. y Ramírez, J.F. (2015). Co-inoculación de *Canavalia ensiformis* (L) D.C con rhizobium y hongos micorrizógenos arbusculares en dos tipos de suelos de Cuba. *Cultivos tropicales*. 36 (1): 22-29.
- Martín-Alonso, G.; Tamayo-Aguilar, Y.; Ramírez-Pedroso, J.; Varela-Núñez, N. y Rivera-Espinosa, R. (2017). Relación entre la respuesta de *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica y algunas propiedades químicas del suelo. *Cultivos tropicales*. 38(1): 24-29.
- Martínez, J.D.; Vázquez, C.; Salazar, E.; Zúñiga, T. y Trejo, H. (2010). Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero. *Phytom, Buenos Aires*. 79(1): 47-54. On line: ISSN 1851-5657
- Martínez-Camiño, M.A. y Osuna-Ceja, E.S. (2017). Impacto de la agricultura de conservación en propiedades físicas del suelo y rendimiento de la rotación maíz-avena/triticale forrajero de riego. En: *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. 31 p. ISBN: 978-607-37-0877-7.

- Martínez-Viera, R.; López, M.; Brossard, M.; Tejada, G.; Pereira, H.; Parra, C. y Rodríguez, J. (2007). *Procedimiento para el estudio y fabricación de biofertilizantes bacterianos*. INIA. Serie B. No. 11. Maracay, Venezuela. 88 p.
- Martínez-Viera, R.; Dibut, B. y Ríos, Y. (2010). Efecto de la integración de aplicaciones de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos tropicales*. 31(3): 27-31.
- McNeely, J.A.; Schroth, G. (2006). Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity Conservation* 15: 549-554.
- Montero, L.; Duarte, C.; Cun, R.; Cabrera, J.A. y González, P.J. (2010). Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum*, L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos tropicales*. 31(3): 11-14.
- Mujica-Pérez, Y. y Molina-Delgado, L. (2017). Influencia de hongos micorrízicos arbusculares (*Rhizoglyphus intraradices*) y un estimulador del crecimiento vegetal en *Pennisetum purpureum* Sch. Cv. Cuba CT-115. *Cultivos tropicales*. 38(1): 131-137.
- Murgueitio, E.; Barahona, R.; Chará, J.D.; Flores, M.X.; Mauricio, R.M. y Molina, J.J. (2015). The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 49(4): 541-554. ISSN: 2079-3480.
- Murillo, J.; Rodríguez, G.; Roncallo, B.; Rojas, L.A. y Bonilla, R.R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*. 37(3): 270-278.
- Murray-Núñez, R.M.; Bojórquez-Serrano, J.I.; Hernández-Jiménez, A.; Rosco-Benítez, M.Gz.; García-Paredes, J.D.; Gómez-Aguilar, R.; Ontivero-Guerrera, H.M. y Aguirre-Ortega, J. (2018). Effect of organic matter on soil physical properties in an agroforestry system in the northern coastal plain of Nayarit, Mexico. *Journal of Agronomy*. 17(1): 48-55.
- Naiman, A.D.; Latronico, A.E. y García de Salamone, I.E. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: impact on the production and rhizospheric microflora. *European Journal of Soil Biology*. 45: 44-51.
- Nair, P. K.R.; Gordon, A.M. y Mosquera-Losada, M.R. (2008). Agro-forestry. Pp. 101-110 In: Jorgensen, SE; Fath, BD. (Eds.). *Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology*, Vol. 1, Oxford, Elsevier
- Nair, P.K.R. (2011). Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784-790. Agro-forestry. Pp. 101-110 In: Jorgensen, SE; Fath, BD. (Eds.). *Ecological Engineering. Encyclopedia of Ecology*, Vol. 1, Oxford, Elsevier
- Olivet-Rodríguez, Y.E. y Cobas-Hernández, D. (2017). Efecto de dos sistemas de labranza mínima sobre la porosidad de un fluvisol para cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (original). *Rev. Granmense de Desarrollo Local*. 1(1): 1-5.
- Padilla, C.; Ruíz, T.E. y Díaz, H. (1996). Estudio del intercalamiento de cultivos temporales en el momento de la plantación de king grass (*Pennisetum purpureum* sp). Resúmenes X Seminario Científico de Pastos y Forrajes. Estación Experimental Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. 13-16 de marzo 1996. Pp. 24.
- Padilla, C.; Ruíz, T.E.; Díaz, H.; Rey, J. y Díaz, L. (2001). Empleo de cultivos sembrados durante la preparación del suelo o intercalados en la plantación de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Revista Cubana de Ciencias agrícolas*. 35(1): 45-50.
- Padilla, C.; Ruíz, T.E.; Díaz, H. y Díaz, E. (2006). Efecto del momento de cosecha en la producción de forraje en la variedad y un híbrido de girasol (*Helianthus annuus*). *Revista Cubana de Ciencias agrícolas*. 40(1): 105-109.
- Pascoaloto, I.M.; Andreotti, M.; Cruz, S.S.; Sabbag, O.J.; Borghi, E.; Lima, G.C. y Modesto, V.C. (2017). Economic analysis of sorghum consortia with forrages or with dwarf pea succeeded by soybean or corn. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 52(10): 833-840.
- Pentón, G.; Reynaldo, I.; Martín, G.J.; Rivera, R. y Oropesa, K. (2012). Uso del ECOMIC y el producto bioactivo PECTIMORF en el establecimiento de dos especies forrajeras. *Rev. Pastos y Forrajes*. 34(3): 281-283.

- Renzi, J.P.; Vanzolini, J.L.; Agramannoni, R. y Cantamutto, M. (2017). Efecto de rotaciones agrícolas con cebolla sobre las propiedades químicas del suelo y producción de policultivos avena-vicia y resiembra natural de *Vicia villosa* Roth en el sur de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 43(3): 249-255. Versión On-line ISSN 1669-2314.
- Rivera, R. (2015). Manejo conjunto e impacto de biofertilizantes micorrízicos y otros bioproductos en la producción agrícola de diferentes cultivos [Informe Primer Semestre 2015 Proyecto P131LH0010003] *Mayabeque: Inst. Nac. Cienc. Agríc.* DOI: 10.131.40/RG. 2.12416.3605
- Rivera, R.; Ruiz, L.; Simo, J.; Fundora, L.R.; Calderón, A.; Martín, J.V.; Marrero, Y. y Joao, J.P. (2012). La efectividad del biofertilizante ECOMIC en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensionismo con productores. *Cultivos tropicales*. 3(2): 5-10
- Rodríguez, G.C.; Paredes, P.; Goncalves, J.M.P.; Alves, I. y Pereira, L.S. (2013). Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modeling: ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agric. Water Managem.* 126: 85-96.
- Rodríguez-González, A. (2016). Influencia de sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelo cultivado de frijol. *Rev. Ingeniería Agrícola*. 6(4): 12-21.
- Rojas, L.A. y Chávez, G. (2012). Efecto de la labranza mínima y la convencional en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la región huertar norte de Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*. 13(2): 105-110.
- Rojas-Acuña, A.; Mora, A. y Rodríguez, H. (2012). Efecto de la labranza mínima y la labranza convencional en arroz (*Oryza sativa* L.) en la región huertar norte de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 13(2): 111-116.
- Roque, A.H. y Enrique, G. (2017). Efecto de la Agricultura de Conservación en el bienestar humano, en el sitio RAMSAR, Moyúa, Ciudad Darío Matagalpa. Tesis de maestría en ciencias del agua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Rosabal, L.; Martínez, L.; Reyes, Y. y Núñez, M. (2013). Resultados preliminares del efecto de la aplicación de Biobras 16 en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Comunicación Corta. *Revista Cultivos Tropicales*. 34(3): 72-76.
- Ruiz, L. A.; Simó, J. y Rivera, R. (2010). Nuevo método para la inoculación micorrízica del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales*. 31(3): 15-20. ISSN 0258-5936.
- Sadeghian, S.; Rivera, J.; Gómez, M. (1999). Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Pp. 123-141 En: Sánchez, M.; Rosales, M. (Eds.). *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Estudios de Producción y Sanidad Animal, Roma, FAO.
- Salazar-Sosa, E.; Beltrán-Morales, A.; Fortes-Hernández, M.; Leos-Henríquez, J.A.; Cueto-Wong, A.; Vázquez-Vázquez, C. y Peña-Cabriales, J.J. (2003). Mineralización del N en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*. 21(4): 569-575.
- Sánchez, P.A. y Swaminathan, M.S. (2005). Hunger in Africa: the link between unhealthy people and unhealthy soils. Millenium project. *Lancet*. 365(4): 442-44.
- Sánchez, N. (2010). Selección de cepas nativas de bacterias diazotróficas simbióticas asociadas a *Leucaena leucocephala* Wit (Lam.), en el valle del César y la Guajira. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. 207.
- Sánchez, S.; Crespo, G.J. y Hernández, M. (2011). Descomposición de la hojarasca en un sistema silvo-pastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham: III. Influencia de la densidad y diversidad de la macrofauna asociada. *Pastos y Forrajes*. 33(1): ISSN: 0864-0394.
- Seddaiu, G.; Porcu, G.; Ledda, L.; Roggero, P.P.; Agnelli, A. y Corti, G. (2013). Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 167: 1-11. ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2013.01.002.
- Silva, A. B.; Lira, M.A.; Dubeux, J.C.B.; Figueiredo, M. do V.B. y Vicentin, R.P. (2013). Soil litter stock and fertility after planting leguminous shrubs and forage trees on degraded signal grass pasture. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 37(2): 502-511, ISSN: 0100-0683, DOI: 10.1590/S0100-06832013000200021.

- Simó-González, J.E.; Rivera-Espinosa, R.; Ruiz-Martínez, L.A. y Espinosa-Cuellar, E. (2016). Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante del banano en áreas precedente de canavalia inoculada con HMA. *Centro Agrícola*. 43(2): 28-35.
- Singh, K.A.; Singh, B. y Gupta, R. (2011). Performance of sweet pepper (*Capsicum annum*) varieties and economics under protected and open conditions in Uttarakhand *Indian J. or Agricultural Sciences*. 81(10): 973-975.
- Sistachs, M.; Padilla, C.; Barrientos, A.; Crespo, G. y Ruíz, T.E. (1995). Efecto de la dosis y el momento de intercalar dólico (*Lablab purpureus*) durante el establecimiento del king grass (*Pennisetum purpureum*). *Rev. cubana Cienc. agríc.* 2(3): 40-58
- Snyder, C.S.; Bruulsema, T.W.; Jenson, T.L. y Fixen, P.E. (2009). Review of greenhouse emissions from crop production system and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133(3-4): 247-266. ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/J. agree, 2009.04.021
- Solorio, F.J.; Basu, S.K.; Sarabia, L.; Ayala, A.; Ramírez, L.; Aguilar, C.; Eroles, J. A.; Ku, J. C. y Wright, J. (2016). The potential of silvopastoral systems for milk and meat organic production in the tropics. In: *Organic Farming for Sustainable Agriculture*, (ser. Sustainable Development and Biodiversity), Springer, pp. 169-183, ISBN: 978-3-319-26801-9, DOI: 10.1007/978-3-319-26803-3_8, Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26803-3_8, [Consulted: September 5, 2017].
- Terry-Alfonso, E.; Tejada, T. y Díaz, M. (2013). Respuesta del cultivo de la habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. var. Vertili) a la aplicación de diferentes bioproductos. *Cultivos Tropicales*. 34(3): 5-10.
- Vallejo, V.E.; Roldán, F. y Dick, R.P. (2010). Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest in Colombia. *Biology and Fertility of Soils*. 46(6): 577-587.
- Vallejo, E.V.; Afanador, L.N.; Hernández, M.A. y Parra, D.C. (2018). Efecto de implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. *Bioagro*. 30(1): 27-38.
- Vladimir, E.; Gutiérrez, M. del C. y Alberto, C. (2015). Manejo integrado de nutrientes en sistemas agrícolas intensivos: revisión. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 16(1): 201-215
- Yu, Y.; Hubacek, K.; Feng, K. y Guan, D. (2010). Assessing regional and global water footprints for the UK. *Ecol. Econ.* 69(5): 140-147.
- Zegada-Lizarazu, W. y Monti, A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and Energy*. 35(1): 12:25.
- Zhao, L.; Wu, L.; Li, Y.; Lu-X, S. y Uphoff, N. (2009). Influence of the system of rice intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different N application rates. *Expl. Agric.* 45(3): 275-286.

Recepción: 16 de septiembre 2020

Arbitraje: 17 de septiembre 2020

Dictamen: 10 de octubre 2020

Aceptado: 30 de octubre 2020