

**INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS CULTIVADOS CON FRIJOL EN EL
CARIBE SECO COLOMBIANO UNA ESTRATEGIA INSITU**

ANDRÉS DAVID VELÁSQUEZ AGUDELO

**Asesor
MARIO AUGUSTO ZAPATA TAMAYO
Magister en Epidemiología**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Magister en Microbiología y Bioanálisis**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
ESCUELA DE MICROBIOLOGÍA
MEDELLÍN
2015**

Indicadores de calidad de suelos cultivados con frijol en el caribe seco colombiano una estrategia insitu.¹

Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso

Título resumido: Indicadores edafológicos de frijol en ambientes secos.

Andrés David Velásquez-Agudelo², Adriana Patricia Tofiño-Rivera², Leonardo Alberto Ríos-Osorio³, Mario Augusto Zapata-Tamayo²

1. Este trabajo forma parte de la Tesis de maestría del primer autor realizada en la Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia, al interior de un producto de investigación de la Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA, sede Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.
2. dirección postal, andresdavid19@gmail.com, atofino@corpoica.org.co, mzapataudea@gmail.com, Corporación Colombiana de Investigaciones Agropecuarias, CORPOICA, sede Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia.
3. dirección postal, correo, Universidad de Antioquia, sede Medellín, Colombia.

RESUMEN

Dentro de los agroecosistemas de mayor importancia a nivel mundial se encuentra el frijol común o *Phaseolus vulgaris*, cultivado en más de 129 países, de acuerdo con la FAO, con una producción global promedio entre 1961 y 2007 de 15 millones de toneladas. Esta leguminosa, le brinda al suelo diversos beneficios entre los que se destacan una mejor retención de agua, aumento de la aireación, porosidad, profundidad efectiva, reactivación de redes tróficas y captación de nutrientes esenciales, variables que se establecen como indicadores de calidad edafológico; las cuales han sido objeto de estudio de diversas investigaciones a través de diferentes metodologías, por la necesidad de incrementar el rendimiento en la producción. La inclusión de tecnologías resistentes para los pequeños y medianos productores de frijol, permite que la oferta tecnológica sea sostenible y enfocada en la conservación del recurso suelo para mejorar sus sistemas de producción, este tipo de tecnología apoyada de indicadores sensibles y artesanales permiten evidenciar los cambios que se producen al interior de los agroecosistemas, permitiendo que se ejecuten acciones de mejora o preventivas, de manera rápida y oportuna. El objetivo de este estudio fue determinar la calidad de los suelos destinados al cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), durante el segundo semestre del año 2013 en 6 parcelas ubicadas en dos departamentos del caribe seco colombiano, 5 en el departamento del Cesar y 1 en La Guajira, a través de metodologías organosensoriales generando una línea base en tiempo real de indicadores como estructura, profundidad efectiva, materia orgánica, cobertura, aireación, control de la erosión, velocidad de infiltración y biota, además de la lectura de variables complementarias de orden químico y microbiológico como pH, humus, nutrientes mayores y menores, bacterias y hongos totales, bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fosfato y conteo de esporas de micorrizas, por medio de técnicas de laboratorio. El tipo de estudio fue experimental por observación comparativo presentando como hallazgos principales deficiencias en estructura del suelo, materia orgánica, cobertura, biota, baja disponibilidad de nitrógeno, zinc y boro en la parcela del departamento de La Guajira, mientras que en el Cesar la variable materia orgánica es la de más bajo nivel en los municipios de Manaure, Agustín Codazzi y Tamalameque, mientras que en el municipio de La Jagua de Ibirico fue

la variable cobertura del suelo que también presento niveles bajos en el municipio de Tamalameque, adicionalmente se observaron deficiencias en los macronutrientes y azufre a excepción del fósforo y el potasio en lote presente en Agustín Codazzi, por lo que se recomienda la implementación de estrategias de fertilización y mejora de indicadores físicos.

PALABRAS CLAVE: *Phaseolus vulgaris*, factores edáficos y calidad del suelo.

ABSTRACT

Pedological indicators bean crops in the Colombian Caribbean dry an insitu strategy.

Among agroecosystems major worldwide is common bean *Phaseolus vulgaris* or grown in over 129 countries, according to the FAO, with an average global production between 1961 and 2007 of 15 million tonnes. This legume, gives the soil several benefits including stand a better water retention, increased aeration, porosity, effective depth, reactivation of food webs and uptake of essential nutrients, variables that are set as indicators of edaphological quality; which have been studied in various investigations through different methodologies, the need to increase the production yield. The inclusion of resistant technologies for small and medium producers of beans, allows technology supply is sustainable and focused on soil conservation resource to improve their production systems, this technology supported and craft sensitive indicators provide evidence changes that occur within agroecosystems, allowing improvement actions or preventive, quick and timely manner to run. The aim of this study was to determine the quality of the soil for the cultivation of common bean (*Phaseolus vulgaris*) during the second half of 2013 in 6 plots in two departments of the Colombian Caribbean dry, 5 in the department of Cesar, 1 in La Guajira, through sensorial analysis a baseline methodologies generating real-time indicators such as structure, effective depth, organic matter, coverage, aeration, erosion control, infiltration rate and biota, plus supplementary reading variables chemical and microbiological order as pH, humus, major and minor nutrients, bacteria and total fungi, nitrogen-fixing bacteria, phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal spore count, through laboratory techniques. The type of study was experimental observation of comparative findings presented as major deficiencies in soil structure, organic matter, coverage, biota, low nitrogen, zinc and boron in the plot department of La Guajira, while the variable Cesar Organic matter is the lowest level in the municipalities of Manaure, Agustín Codazzi and Tamalameque, while in the town of La Jagua de Ibirico was variable ground cover also present low levels in the town of Tamalameque additionally deficiencies observed in macronutrients and sulfur exception of phosphorus and potassium present in Agustín Codazzi lot, so implementing strategies fertilization and improved physical indicators is recommended.

KEY WORDS: *Phaseolus vulgaris*, edaphic factors and soil quality.

INTRODUCCIÓN

La leguminosa de grano conocida comunmente como frijol común pertenece taxonomicamente al reino: Plantae, división: Magnoliophyta, clase: Magnoliopsida, subclase: Rosidae, orden: Fabales, familia: Fabaceae, subfamilia: Faboideae, tribu Phaseoleae, subtribu: Phaseolinae, género: *Phaseolus* y especie: *P. vulgaris* y es uno de los granos de mayor consumo en los países en vía de desarrollo, incluyendo Colombia, al

tratarse de un componente esencial en la dieta de sus ciudadanos, por su alto valor nutricional y relativo bajo costo, considerado desde el punto de vista social como un generador de ingresos, al emplear regularmente 100 jornales por hectárea, siendo cultivado en casi todo el país por su gran adaptación, con una producción aproximada de 1,1 toneladas por hectárea. Pertenece a la denominada economía campesina, de tipo minifundio, con un área promedio de siembra de una hectárea, con características tecnológicas austeras y condiciones topográficas de suelos difíciles, que impiden la utilización de prácticas modernas de mecanización o altos niveles de tecnificación, lo cual se traduce en bajas productividades, pero convierte el cultivo del grano en una actividad altamente generadora de empleo (1,2).

Al pertenecer a la familia de las leguminosas, el frijol es llamado entonces a la renovación de suelos, ya que genera una fuerte asociación entre sus raíces y bacterias del género conocido colectivamente como *Rhizobium* con una elevada importancia al inducir en las raíces o en el tallo de las plantas la formación de estructuras especializadas llamadas nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso se reduce a amonio, contribuyendo con una fijación biológica del 60 al 80%; permitiendo así esta simbiosis, que las plantas crezcan sin requerimientos elevados de fertilizantes nitrogenados y sin empobrecer los suelos y por el contrario aportando una parte considerable del nitrógeno combinado en la tierra (3, 4). Además de permitir el enriquecimiento de nutrientes en los suelos, *P. vulgaris* también se presenta como una excelente opción en procesos de fitorremediación de metales pesados o hidrocarburos y en la reactivación de suelos pobres como los que se presentan en la región del Caribe Colombiano, incidiendo en la disminución de la desertificación local que genera pérdida de coberturas vegetales y de biodiversidad, degradación de suelos y aguas, falta de producción de alimentos y por ende mala alimentación de las poblaciones y en el peor de los casos migración de las mismas (5, 6).

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta pertinente avanzar en programas de mejora de los materiales cultivados con respecto a desempeño o productividad y calidad, lo que hace necesario conocer las condiciones iniciales de los suelos donde se desean realizar los cultivos y establecer un seguimiento periódico que permita determinar los cambios que se producen en dichos suelos con miras a tomar acciones preventivas y no correctivas. Adicionalmente las investigaciones en Colombia lideradas actualmente por CORPOICA se han enfocado en una evaluación segregada de aspectos edafológicos de orden físico, químico, biológico y finalmente en el área de la genética de la planta a través del mejoramiento de las semillas, lo que ha impedido una lectura más amplia del recurso suelo cultivado con frijol, con el agravante adicional de que las evaluaciones se desarrollan en laboratorios distantes de los puntos de muestreo generando tiempos muy extensos entre la toma de la muestra, su análisis y posterior toma de decisión frente a una situación puntual, evitando reacciones de manera rápida y oportuna por parte de los agricultores, por lo que a partir del presente estudio, se buscó establecer indicadores edáficos actuales de los suelos con miras a ser cultivados de manera convencional con frijol común por medio de una estrategia de valoración insitu haciendo uso de pruebas organosensoriales, en el caribe seco, departamentos del Cesar y La Guajira, de manera que tanto pequeños como medianos productores puedan establecer una línea base de sus suelos, apoyados por el análisis de laboratorio de indicadores químicos y microbiológicos (7).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio: experimental por observación comparativo.

Población: municipios de los departamentos del Cesar y La Guajira donde se lleva a cabo la siembra durante el mes de julio y posterior cosecha de frijol común, *P. vulgaris*, en el mes de octubre, por parte de pequeños y medianos productores, en función del aprovechamiento de la precipitación durante el desarrollo del cultivo y de época seca durante la cosecha. Las plantas de frijol presentaron floración entre los rangos 32 a 40 días y 63 a 69 días después de sembrados. El material fue cultivado en surcos con una distancia entre cada uno de 1.2 m y un espaciamiento entre plantas de 0.2 metros, con 10 semillas por 1 m de longitud del surco para tener un número final de 5 plantas por metro, equivalente a una densidad aproximada 41666 plantas/ha. El frijol fue cultivado en las localidades de Manaure, Agustín Codazzi, La Jagua de Ibirico, Tamalameque, Valledupar y San Juan del Cesar con alturas sobre el nivel del mar de 900, 131, 150, 50 a 150, 168 y 213 metros respectivamente, con una temperatura media anual de 28°C, precipitación media anual de 1360 mm y humedad relativa de 68% propia del caribe seco colombiano.

Para cubrir los requerimientos de agua se utilizaron sistemas de riego por goteo, aspersión y riego manual, con base en las posibilidades que presentaba cada productor. La fertilización se realizó al momento de la siembra y con refuerzos de manera foliar, para controlar las malezas se realizó un control manual inicial y químico dirigido con Paraquat, para insectos, plagas y enfermedades se trató la semilla con insecticida más fungicida y en el lote se aplicaron refuerzos con Derosal y Mertect, mientras que en la fase de prefloración se realizó la rotación a insecticidas sistémicos: Nilo, Agaryl e Invezeb.

Unidad de análisis: Cada una de las muestras de suelo con un volumen de 30 centímetros de ancho x 30 cm de largo x 30 cm de profundo de los cultivos sembrados en cada uno de los municipios.

Plan de muestreo: transecto en forma de zeta para muestras de indicadores físicos y en equis para muestras de indicadores microbiológicos y químicos, en cada una de las Parcelas de Monitoreo (PM).

Criterios de inclusión: productores que estuviesen dispuestos a ceder en sus fincas una parcela para la producción de frijol común, con la posibilidad de suministrarle al cultivo sus requerimientos hídricos, distribuidos en los departamentos del Cesar y La Guajira, con manejos agrícolas convencionales de fertilizantes, plagas y enfermedades.

Criterios de exclusión: los predios excluidos fueron aquellos donde no se les llevaba un registro puntual del desarrollo de la planta y sus requerimientos, parcelas que no implementaran monocultivos, que hubieran realizado rotación de cultivo en un lapso menor de 1 año y que hayan sido acondicionadas previamente con consorcios o enmiendas microbianas.

Plan de recolección de la información

Toma de muestra: se tomaron mil quinientos gramos de suelo por hectárea a partir de cinco puntos de muestreo en forma de equis para la generación de una muestra compuesta a una profundidad de treinta cm para la evaluación de los indicadores microbiológicos y químicos, con un total de seis muestras (cinco en el departamento del Cesar y una en el departamento de la Guajira). Para la evaluación de indicadores físicos se evaluaron catorce puntos en cada parcela en forma de zeta con un total de ochenta y

cuatro muestras, realizadas con base en las metodologías descritas por Gregoire et al., 2003 (8).

Recolección, almacenamiento y transporte: Todas las muestras se tomaron con palines que fueron desinfectados con solución de detergente un día previo al muestreo. Las muestras tomadas fueron empacadas en bolsas herméticas y conservadas con refrigeración de 4°C hasta su llegada al laboratorio de microbiología de la Universidad de Santander con sede en Valledupar para su análisis microbiológico, para el análisis químico se enviaron las muestras luego de ser oreadas y tamizadas al laboratorio central de CORPOICA Centro de Investigación Tibaitata (9).

Recolección y procesamiento de muestras físicas del suelo: Inicialmente se realizó una observación cualitativa del predio y se estableció el transecto en forma de “Z” identificando los puntos de interés para la evaluación de los diferentes indicadores físicos edafológicos. Las variables analizadas fueron: estructura del suelo, profundidad efectiva, estado de la materia orgánica superficial, cobertura del suelo, aireación del suelo y velocidad de la infiltración. La metodología empleada para el análisis de cada variable es descrita a continuación, para ello se trazaron áreas de delimitación y excavaron pequeños pozos a pocos centímetros de la superficie (treinta cm) para recolectar la muestra, en algunos casos se emplearon herramientas como varillas y soluciones de agua con carbonato de calcio (10, 11).

Recolección y procesamiento de muestras químicas del suelo: Se estableció un transecto en forma de “X” contando con dos puntos extremos inferiores, dos superiores y uno central. Las muestras fueron recolectadas y mezcladas formando un pool con un total de mil gr por muestra siendo enviadas posteriormente al laboratorio central de CORPOICA Centro de Investigación Tibaitata donde se evaluaron: nutrientes mayores y menores, humus y pH. A través de la técnica organoléptica se valoró la textura, por medio del método potenciométrico se obtuvo el pH, el método conductivímetro de suelo-agua en una relación 1:2,5 se empleó para evaluar conductividad eléctrica, el análisis de la materia orgánica estuvo basado en la metodología propuesta por Walkey & Black, mientras que se usó la metodología de Bray II para la evaluación de fósforo disponible (P). Por su parte la técnica de fosfato monobásico de calcio se empleó para determinar azufre y boro disponible y la técnica de KCl fue utilizada para evaluar la acidez y aluminio intercambiable. El calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable fueron medidos a través de la prueba de acetato de amonio uno Normal y pH 7,0, de otro lado el hierro, manganeso, zinc y cobre disponible se analizaron con el método de Olsen modificado, por último la capacidad de intercambio catiónico se evaluó con la metodología de suma de cationes (12, 13).

Recolección y procesamiento de muestras biológicas del suelo: Se estableció un transecto en forma de “X” contando con dos puntos extremos inferiores, dos superiores y uno central. Las muestras fueron recolectadas y mezcladas formando un pool con un total de quinientos gr por muestra donde se evaluó el número de Unidades Formadoras de Colonia UFC en medios de cultivo sólidos selectivos por medio de la técnica de Zuberer DA de 1994, se realizó conteo de esporas por el método de Gerdemann y Nicholson (14, 15).

La presencia de invertebrados y de lombrices se llevó a cabo de acuerdo a la guía metodológica de sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos del año 2010 (10).

Plan de análisis

Se evaluaron variables físicas, químicas y biológicas de suelo cualitativas y cuantitativas, donde las variables cualitativas se ponderaron en una escala de uno a diez siendo uno el resultado mas negativo, cinco un valor moderado o medio y diez el valor mas positivo concedido a cada indicador, de acuerdo a las características que presentaron en los suelos según los atributos observados. Las variables cuantitativas se expresaron en unidades de medida como: mg/kg, dS/m, cmol(+)/kg, % y unidades formadoras de colonia.

Una vez que se asignaron los valores a cada indicador con resultados cualitativos, se sumaron los valores obtenidos y se dividieron por el número de indicadores observados generando un promedio de calidad de suelo. Las fincas que presentaron valores de calidad de suelo inferior a cinco fueron consideradas por debajo del umbral de sostenibilidad y por lo tanto requerirían manejos para corregir aquellos indicadores que exhibieron baja calificación. Dada la practicidad que tienen los gráficos en la lectura de resultados los valores obtenidos de los indicadores de cada finca se consignaron en un gráfico tipo ameba, en la que es posible visualizar el estado edafológico general considerando que mientras mas se aproximara la ameba al diámetro exterior mas adecuadas son las características para la producción de frijol, simultáneamente también se observaron los indicadores débiles con resultados inferiores a cinco para así priorizar las intervenciones necesarias con el fin de corregir ciertos atributos del suelo logrando mejores resultados de cultivo (11).

Los resultados obtenidos a partir de pruebas de laboratorio específicamente los conteos microbianos solo fueron tabulados y no graficados ya que no fue posible hallar en la literatura la manera de llevar a una escala similar a la presentada por los resultados cualitativos, caso contrario de los resultados producto de la evaluación de los indicadores químicos, quienes pudieron ser llevados directamente a la escala en tres valores 1 bajo, 5 medio y 10 alto.

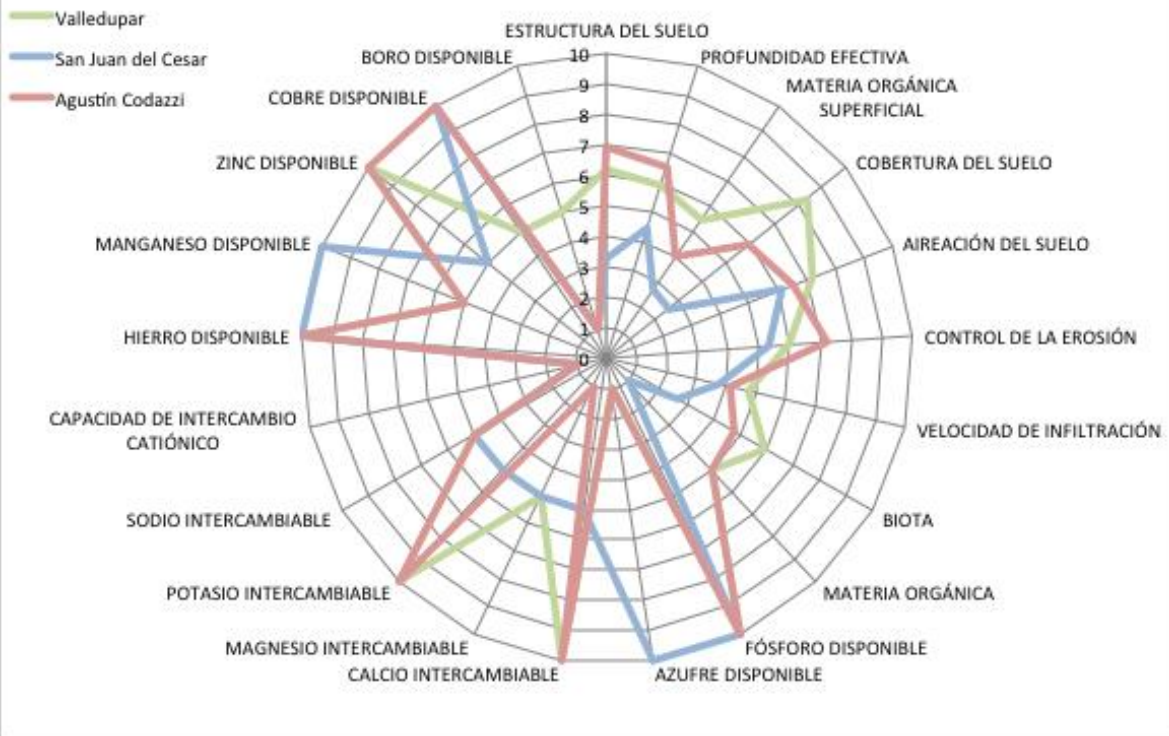
Posteriormente a los indicadores insitu se les realizaron pruebas de ANNOVA mediante el complemento avanzado de estadística para excel MEGASTAT, que permitio identificar posibles asociaciones entre variables a través de la lectura del p-valor, finalmente se evaluaron los resultados obtenidos al interior de cada lote y luego entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

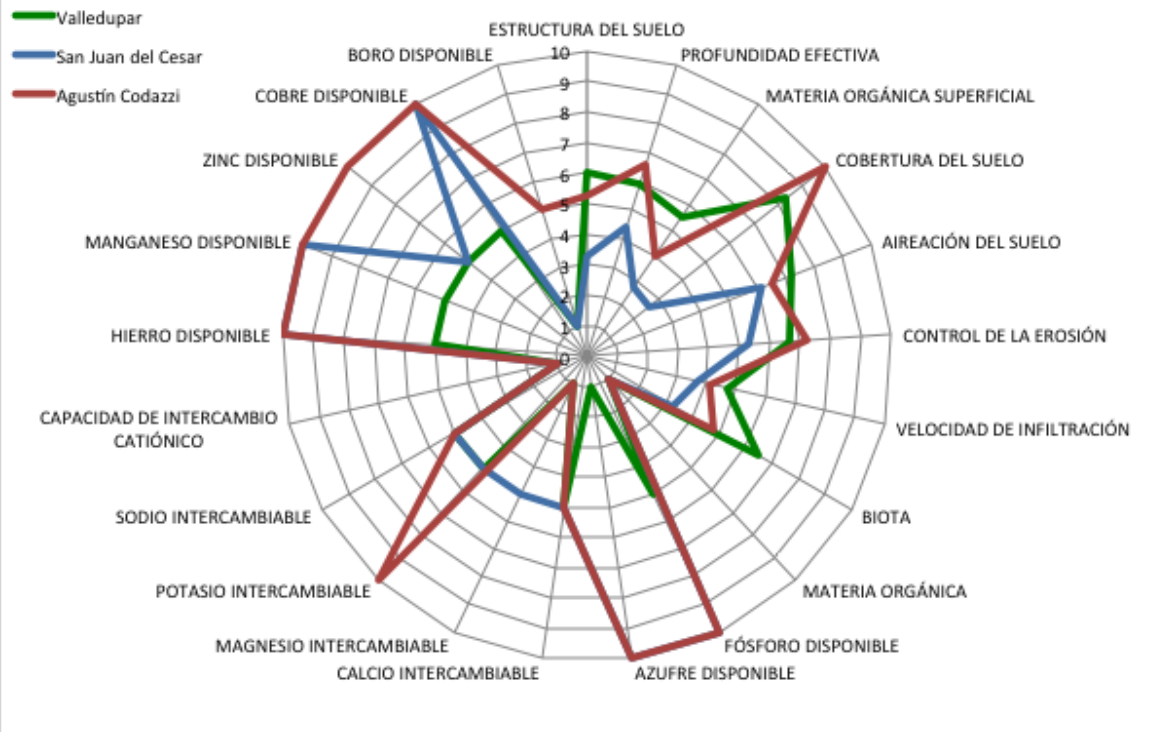
Los hallazgos producidos fueron agrupados de acuerdo a la ecorregión a la que pertenecen los municipios en donde se realizaron las evaluaciones: Valle del río Cesar a la que pertenecen los sitios de San Juan del Cesar, Valledupar y Agustín Codazzi, Serranía del Perijá que cuenta con el municipio de Manaure y por último el Valle del Magdalena al que pertenecen La Jagua de Ibirico y Tamalameque.

Gráficos 1. Promedio de los puntos evaluados insitu a través de pruebas organosensoriales y pruebas químicas en la ecorregión del Valle del río Cesar en los momentos de Presiembra y Floración de frijol.

PROMEDIO DE DATOS EN PRESIEMBRA



PROMEDIO DE DATOS EN FLORACIÓN



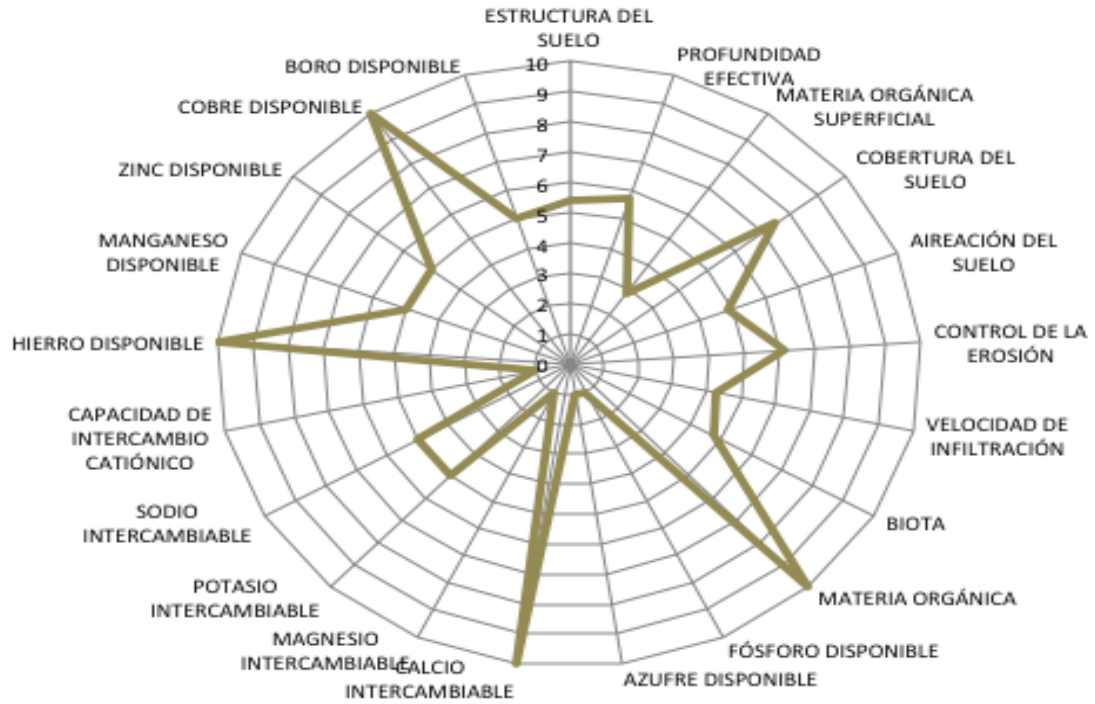
En el primer grupo de gráficos tipo ameba se observa que el lote del municipio de Agustín Codazzi exhibe fortalezas en el cincuenta y dos por ciento de los indicadores en el momento de la resiembra, llegando a obtener el puntaje más alto en indicadores químicos como fósforo, hierro, zinc, cobre, calcio y potasio, seguidos por indicadores físicos como estructura, profundidad, aireación y control de erosión todos con valores de 7, por último indicadores como cobertura, biota, humus, sodio y manganeso superan o se encuentran en el valor medio. Este hecho se mantiene aún después de la floración con algunas variaciones, donde la de mayor importancia es la disminución del humus de un valor medio al resultado más bajo o 1 en la escala, otros indicadores que presentaron una disminución en la escala fueron la estructura y el calcio intercambiable, aunque no fueron inferiores del valor medio, mientras que presentaron un aumento la cobertura del suelo, el manganeso y el boro disponible, elemento que se encontraba en un nivel de 1 o muy bajo.

De igual forma en el momento de resiembra en el lote de Valledupar se observa un excelente comportamiento de los indicadores contando con el noventa por ciento de estos en un valor central o por encima de este, destacándose al igual que en Agustín Codazzi los mismos indicadores químicos fósforo, hierro, zinc, calcio y potasio con un valor de 10 excepto el cobre y con resultados en el orden de normal o superior se encontraron los indicadores estructura, profundidad, materia orgánica superficial, cobertura, aireación, control de la erosión, velocidad de infiltración, biota, humus, magnesio, sodio, manganeso, cobre y boro, pero en el momento de la floración se presentó un mayor número de indicadores en decrecimiento entre los que se encontraron fósforo, hierro, calcio y potasio, adicionalmente del descenso de humus, magnesio y boro.

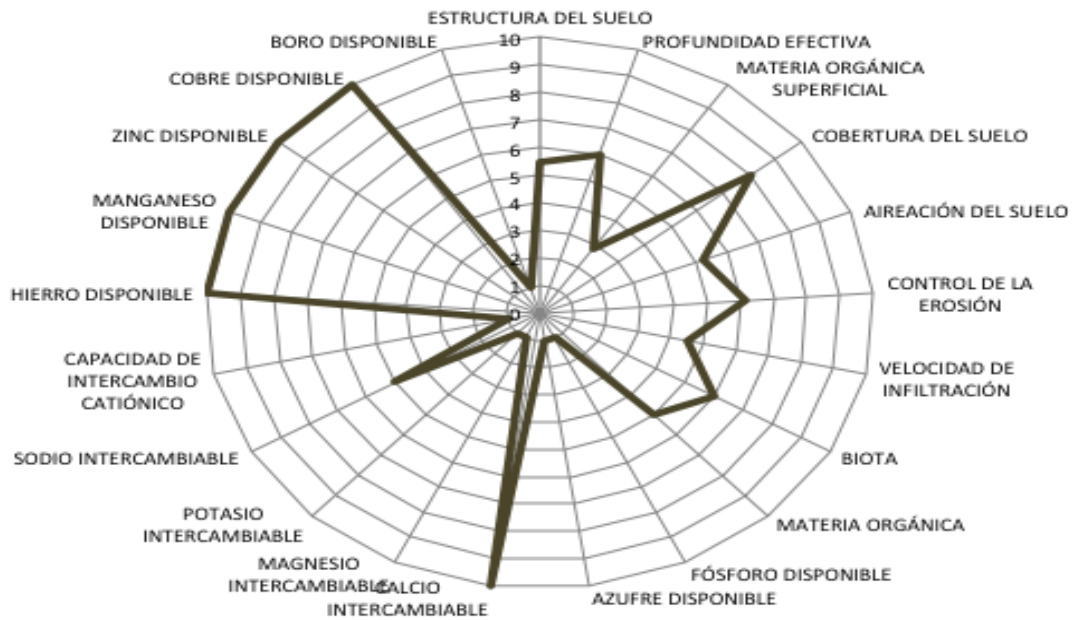
Finalmente en el lote de San Juan del Cesar se presentaron resultados idénticos tanto antes de la siembra como después de la floración, con valor de 10 los indicadores fósforo, azufre, hierro, manganeso y cobre, con un valor medio o superior se encontraron aireación, control de la erosión, calcio, magnesio, potasio, sodio y zinc, los demás indicadores que conforman el cuarenta y tres por ciento estuvieron por debajo del valor medio, entre los que se destaca humus, magnesio y capacidad de intercambio catiónico con valor de 1, biota, cobertura, estructura y materia orgánica superficial con un valor aproximado de tres, con una menor deficiencia se encuentra profundidad efectiva y velocidad de infiltración con valor de cuatro.

Gráficos 2. Promedio de los puntos evaluados insitu a través de pruebas organosensoriales y pruebas químicas en la ecorregión de la Serranía del Perijá en los momentos de Resiembra y Floración de frijol.

PROMEDIO DE DATOS EN PRESIEMBRA MANAURE



PROMEDIO DE DATOS EN FLORACIÓN MANAURE



Al evaluar el grupo de gráficos 2 se aprecia que cerca del veintinueve por ciento de los indicadores están por debajo del valor medio y del setenta y uno por ciento restante sobresalen humus, calcio, hierro y cobre con valores de 10, con resultados menores se encuentran indicadores como profundidad efectiva, control de la erosión y cobertura, por último en un valor normal estuvieron estructura, aireación, biota, potasio, sodio, manganeso, zinc y boro. En el momento de la floración se presentó un aumento en la estructura, velocidad de infiltración, biota, manganeso y zinc, y una reducción en humus, potasio y boro.

Gráficos 3. Promedio de los puntos evaluados insitu a través de pruebas organosensoriales y pruebas químicas en la ecorregión del Valle del Magdalena en los momentos de Presiembra y Floración de frijol.

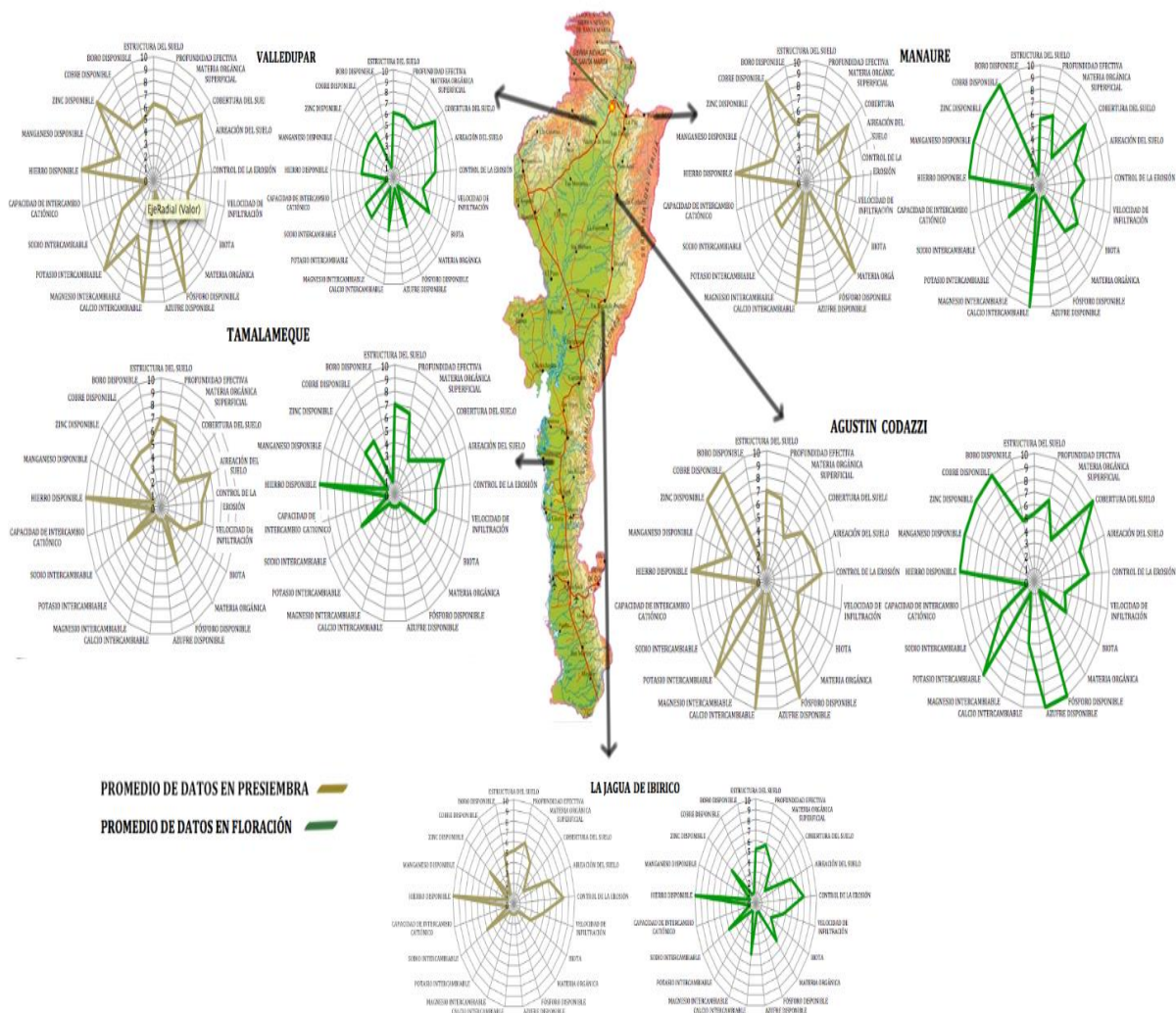




En el grupo de gráficos 3 se establece que ambos lotes cuentan con una calidad de suelos muy baja con aproximadamente el cincuenta por ciento de sus indicadores por debajo del valor medio, esto en el momento antes de la siembra, siendo más preocupante el caso de La Jagua de Ibirico donde nueve de los veintiún indicadores presentó un valor de uno mientras que en Tamalameque fueron siete indicadores los que presentaron dicho valor. En el municipio de La Jagua se encontraron: humus, azufre, calcio, magnesio, potasio, capacidad de intercambio catiónico, manganeso, fósforo y cobre, siendo los dos últimos los indicadores que presentaron un valor medio en el municipio de Tamalameque, en ambos casos el hierro fue el de un valor más alto con diez unidades, los demás indicadores situaron en el valor medio o superiores.

En el segundo momento de medición después de floración se observó la disminución en La Jagua de Ibirico del boro al igual que en Tamalameque además de fósforo, en este último municipio se presentó un aumento de la biota y la cobertura en una unidad. Por su parte en el municipio de La jagua incrementaron el calcio y el humus, los demás indicadores se mantuvieron estables.

Gráfico 4. Agrupación radial de los municipios evaluados en el departamento del Cesar.



A través del gráfico 4 se observa el comportamiento de los indicadores en los 5 municipios del departamento del Cesar distribuidos geográficamente, evidenciando la variabilidad de comportamientos de todos los indicadores a pesar de todos pertenecer al Caribe seco colombiano demostrando una vez más la heterogeneidad que se presenta actualmente en los suelos, independientemente que compartan características climatológicas y de selección. Adicionalmente también se puede observar que los cambios o fluctuaciones que pudieron ser percibidas en la mayoría de los lotes fueron de orden químico y biológico reforzando nuevamente los aspectos conocidos por la teoría donde se establece que las condiciones o características físicas para que sean modificadas pueden tomar décadas, siglos o más para poder establecer dichos cambios.

Análisis de ANOVA de los distintos indicadores evaluados en campo para las localidades antes de la siembra.

Tabla 1. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de San Juan del Cesar, departamento de La Guajira.

p-values for pairwise t-tests								
		COBERTURA DEL SUELO	BIOTA	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	ESTRUCTURA DEL SUELO	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	PROFUNDIDAD EFECTIVA	CONTROL DE LA EROSIÓN
		2,571	2,643	2,714	3,286	3,714	4,429	5,286
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	3,714	,0033*	,0057*	,0097*	,2603			
PROFUNDIDAD EFECTIVA	4,429	4,00E-06*	8,50E-06*	1,78E-05*	,0033*	,0622		
CONTROL DE LA EROSIÓN	5,286	1,89E-10*	4,54E-10*	1,09E-09*	8,50E-07*	,0001*	,0258*	
AIREACIÓN DEL SUELO	6,143	3,78E-15*	9,40E-15*	2,33E-14*	3,20E-11*	6,08E-09*	1,78E-05*	,0258*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Evaluando los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de San Juan del Cesar en la tabla 1 se observó que las variables velocidad de infiltración con cobertura del suelo, biota y materia orgánica presentaron una asociación con un p-valor menor de 0,05, de igual forma profundidad efectiva presentó una asociación con cobertura del suelo, biota, materia orgánica y estructura del suelo, por su parte la variable control de la erosión estuvo asociada con cobertura del suelo, biota, materia orgánica, estructura del suelo, velocidad de infiltración y profundidad efectiva, finalmente la variable aireación del suelo tuvo una asociación mayor que el resto de las demás, siendo la asociación con cobertura del suelo la que mostró un p-valor más pequeño, seguido por biota, materia orgánica, estructura del suelo, velocidad de infiltración, profundidad efectiva y con un p-valor de tan solo 0,0258 con control de la erosión.

Tabla 2. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Manaure, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	BIOTA	AIREACIÓN DEL SUELO	ESTRUCTURA DEL SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	CONTROL DE LA EROSIÓN
		2,857	4,286	4,714	4,857	5,429	5,714	6,143
BIOTA	4,714	,0011*	,4388					
AIREACIÓN DEL SUELO	4,857	,0005*	,3025	,7960				
ESTRUCTURA DEL SUELO	5,429	1,05E-05*	,0409*	,1982	,3025			

PROFUNDIDAD EFECTIVA	5,714	1,30E-06*	,0111*	,0729	,1233	,6054		
CONTROL DE LA EROSIÓN	6,143	4,67E-08*	,0011*	,0111*	,0218*	,1982	,4388	
COBERTURA DEL SUELO	7,500	5,02E-13*	8,24E-08*	2,21E-06*	6,30E-06*	,0003*	,0017*	,0157*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

La prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Manaure en la tabla 2 arrojó que la variable materia orgánica presentó una asociación con un p-valor menor de 0,05 con las variables biota y aireación del suelo. A su vez la variable estructura del suelo se asoció con materia orgánica y velocidad de infiltración, por su parte la variable profundidad efectiva fue asociada con las variables materia orgánica y velocidad de infiltración. Las variables que fueron asociadas con un mayor grupo de variables fueron control de la erosión y cobertura del suelo las cuales se asociaron con materia orgánica, velocidad de infiltración, biota, aireación del suelo y materia orgánica, velocidad de infiltración, biota, aireación del suelo, estructura del suelo, profundidad efectiva, control de la erosión, respectivamente. Presentándose una asociación mayor entre cobertura del suelo Vs. materia orgánica con un p-valor de $5,02 \cdot 10^{-13}$, velocidad de infiltración con un p-valor de $8,24 \cdot 10^{-8}$, seguido por biota y aireación del suelo con p-valor de $2,21 \cdot 10^{-6}$ y $6,30 \cdot 10^{-6}$.

Tabla 3. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Valledupar, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD EFECTIVA	BIOTA	CONTROL DE LA EROSIÓN	ESTRUCTURA DEL SUELO	AIREACIÓN DEL SUELO
		4,714	5,500	5,929	5,929	6,000	6,214	7,214
PROFUNDIDAD EFECTIVA	5,929	,0065*	,3284					
BIOTA	5,929	,0065*	,3284	1,0000				
CONTROL DE LA EROSIÓN	6,000	,0041*	,2546	,8703	,8703			
ESTRUCTURA DEL SUELO	6,214	,0009*	,1049	,5141	,5141	,6244		
AIREACIÓN DEL SUELO	7,214	1,28E-07*	,0002*	,0041*	,0041*	,0065*	,0242*	
COBERTURA DEL SUELO	8,357	7,11E-13*	3,35E-09*	2,58E-07*	2,58E-07*	5,18E-07*	3,94E-06*	,0103*

SUELO								
-------	--	--	--	--	--	--	--	--

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Por su parte en el municipio de Valledupar la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu, tabla 3, se apreció que la variable velocidad de infiltración fue asociada con profundidad efectiva, biota, control de la erosión y estructura del suelo, al presentar un p-valor menor de 0,05, igualmente las variables aireación y cobertura del suelo fueron asociadas con velocidad de infiltración, materia orgánica, profundidad efectiva, biota, control de la erosión y estructura del suelo, adicionalmente la cobertura del suelo presento una asociación con la aireación. Siendo las asociaciones de un menor p-valor las que se dieron con cobertura del suelo, la cual evidencio un p-valor de $7,11^{-13}$ con velocidad de infiltración.

Tabla 4. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Agustín Codazzi, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests						
			MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	BIOTA	COBERTURA DEL SUELO
			4,000	4,143	4,786	5,929
COBERTURA DEL SUELO	DEL	5,929	,0005*	,0012*	,0352*	
AIREACIÓN DEL SUELO	DEL	6,500	1,01E-05*	2,84E-05*	,0019*	,2880
PROFUNDIDAD EFECTIVA		6,571	5,97E-06*	1,70E-05*	,0012*	,2323
ESTRUCTURA DEL SUELO	DEL	6,929	3,80E-07*	1,17E-06*	,0001*	,0647*
CONTROL DE LA EROSIÓN	DE LA	7,214	3,76E-08*	1,21E-07*	1,70E-05*	,0182*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Evaluando los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Agustín Codazzi en la tabla 4 con base en el p-valor obtenido se determinó que la variable cobertura del suelo presento una asociación con materia orgánica, velocidad de infiltración y biota, lo mismo sucedió con las variables aireación del suelo y profundidad efectiva, por su parte la estructura del suelo fue asociada con materia orgánica, velocidad de infiltración, biota y cobertura del suelo, suceso igual al anterior con el control de la erosión. Con un p-valor de $3,7^{-8}$ de control de la erosión Vs materia orgánica superficial.

Tabla 5. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Tamalameque, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests				
-------------------------------	--	--	--	--

		MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	COBERTURA DEL SUELO	BIOTA	CONTROL DE LA EROSIÓN	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN
		3,143	3,143	3,571	5,429	5,500
CONTROL DE LA EROSIÓN	5,429	,0001*	,0001*	,0015*		
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	5,500	,0001*	,0001*	,0010*	,9000	
PROFUNDIDAD EFECTIVA	6,500	5,56E-08*	5,56E-08*	1,40E-06*	,0619	,0811
ESTRUCTURA DEL SUELO	7,000	1,05E-09*	1,05E-09*	3,19E-08*	,0068*	,0096*
AIREACIÓN DEL SUELO	7,000	1,05E-09*	1,05E-09*	3,19E-08*	,0068*	,0096*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Al evaluar los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Tamalameque en la tabla 5 se asoció con un p-valor menor de 0,05 la variable control de la erosión con materia orgánica, cobertura del suelo y biota, al igual que las variables velocidad de infiltración y profundidad efectiva. Por su parte las variables estructura y aireación del suelo se asociaron con materia orgánica, cobertura del suelo, biota, control de erosión y velocidad de infiltración. La mayor asociación en este grupo de variables se dio entre la aireación del suelo Vs materia orgánica superficial con un p-valor de $1,05^{-9}$.

Tabla 6. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de La Jagua de Ibirico, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		COBERTURA DEL SUELO	BIOTA	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	ESTRUCTURA DEL SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	AIREACIÓN DEL SUELO
		2,000	3,214	4,643	4,714	5,143	6,143	6,143
BIOTA	3,214	,0068*						
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	4,643	3,54E-08*	,0016*					
MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	4,714	1,72E-08*	,0009*	,8710				
ESTRUCTURA DEL SUELO	5,143	1,98E-10*	2,98E-05*	,2573	,3312			

SUELO								
PROFUNDIDAD EFECTIVA	6,143	3,71E-15*	1,89E-09*	,0009*	,0016*	,0250*		
AIREACIÓN DEL SUELO	6,143	3,71E-15*	1,89E-09*	,0009*	,0016*	,0250*	1,0000	
CONTROL DE LA EROSIÓN	8,143	1,98E-24*	6,94E-19*	4,23E-12*	9,19E-12*	8,95E-10*	1,59E-05*	1,59E-05*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Finalmente la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de La Jagua de Ibirico en la tabla 6 con base en el p-valor obtenido indicó que la variable biota se asoció con cobertura del suelo, igualmente la velocidad de infiltración tuvo asociación con cobertura del suelo y biota, igual que las variables materia orgánica y estructura del suelo, de otro lado la variable profundidad efectiva se asoció con cobertura del suelo, biota, velocidad de infiltración, materia orgánica y estructura del suelo, finalmente la variable aireación del suelo fue asociada con cobertura del suelo, biota, velocidad de infiltración, materia orgánica y estructura del suelo. Estableciéndose una asociación con un p-valor de $1,98^{-24}$ de la variable control de la erosión Vs cobertura del suelo, el cual fue el menor valor obtenido entre todas las variables analizadas.

Análisis de ANOVA de los distintos indicadores evaluados en campo para cada una de las localidades después de la floración.

Tabla 7. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de San Juan del Cesar, departamento de La Guajira.

p-values for pairwise t-tests								
		COBERTURA DEL SUELO	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	BIOTA	ESTRUCTURA DEL SUELO	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	PROFUNDIDAD EFECTIVA	CONTROL DE LA EROSIÓN
		2,571	2,714	3,214	3,286	3,714	4,429	5,286
ESTRUCTURA DEL SUELO	3,286	,0372*	,0942	,8330				
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	3,714	,0011*	,0039*	,1423	,2078			
PROFUNDIDAD EFECTIVA	4,429	3,50E-07*	2,05E-06*	,0005*	,0011*	,0372*		
CONTROL DE LA EROSIÓN	5,286	3,25E-12*	2,42E-11*	2,21E-08*	5,63E-08*	1,11E-05*	,0129*	
AIREACIÓN DEL SUELO	6,143	1,65E-17*	1,25E-16*	1,56E-13*	4,30E-13*	1,77E-10*	2,05E-06*	,0129*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Al evaluar los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de San Juan del Cesar en la tabla 7 se observó que la variable estructura del suelo fue asociada con cobertura del suelo, al igual que la variable velocidad de infiltración con cobertura del suelo y materia orgánica con un p-valor menor de 0,05, en este mismo sentido profundidad efectiva presentó una asociación con cobertura del suelo, materia orgánica, biota, estructura del suelo y velocidad de infiltración, por su parte la variable control de la erosión estuvo asociada con cobertura del suelo, materia orgánica, biota, estructura del suelo, velocidad de infiltración y profundidad efectiva, finalmente la variable aireación del suelo tuvo una asociación mayor que el resto de las demás, siendo la asociación con cobertura del suelo la que mostró un p-valor más pequeño, seguido por materia orgánica, biota, estructura del suelo, velocidad de infiltración, profundidad efectiva y con un p-valor de tan solo 0,0129 con control de la erosión.

Tabla 8. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Manaure, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	AIREACIÓN DEL SUELO	ESTRUCTURA DEL SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	BIOTA	CONTROL DE LA EROSIÓN
		2,857	4,500	5,214	5,500	6,000	6,000	6,143
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	4,500	,0007*						
AIREACIÓN DEL SUELO	5,214	2,54E-06*	,1316					
ESTRUCTURA DEL SUELO	5,500	1,98E-07*	,0358*	,5443				
PROFUNDIDAD EFECTIVA	6,000	1,73E-09*	,0019*	,0976	,2896			
BIOTA	6,000	1,73E-09*	,0019*	,0976	,2896	1,0000		
CONTROL DE LA EROSIÓN	6,143	4,26E-10*	,0007*	,0509	,1742	,7616	,7616	
COBERTURA DEL SUELO	8,071	1,27E-18*	2,46E-11*	2,70E-08*	3,79E-07*	2,80E-05*	2,80E-05*	,0001*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

La prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Manaure en la tabla 8 arrojó que la

variable materia orgánica presentó una asociación con un p-valor menor de 0,05 con las variables velocidad de infiltración y aireación del suelo. A su vez la variable estructura del suelo se asoció con materia orgánica y velocidad de infiltración, del mismo modo profundidad efectiva, biota y control de la erosión. La variable asociada con un mayor grupo de variables fue cobertura del suelo, que fue asociada con materia orgánica, velocidad de infiltración, biota, aireación del suelo y materia orgánica, velocidad de infiltración, aireación del suelo, estructura del suelo, profundidad efectiva y biota. Presentándose una asociación con un p-valor cada vez menor en un orden retrospectivo, con la asociación de cobertura Vs materia orgánica superficial como la de un menor p-valor.

Tabla 9. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Valledupar, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD EFECTIVA	ESTRUCTURA DEL SUELO	BIOTA	CONTROL DE LA EROSIÓN	AIREACIÓN DEL SUELO
		4,714	5,500	5,929	6,000	6,500	6,643	7,214
MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	5,500	,0455*						
PROFUNDIDAD EFECTIVA	5,929	,0023*	,2715					
ESTRUCTURA DEL SUELO	6,000	,0013*	,2001	,8541				
BIOTA	6,500	1,31E-05*	,0114*	,1437	,2001			
CONTROL DE LA EROSIÓN	6,643	3,03E-06*	,0040*	,0685	,1005	,7132		
AIREACIÓN DEL SUELO	7,214	5,22E-09*	2,67E-05*	,0013*	,0023*	,0685	,1437	
COBERTURA DEL SUELO	8,357	4,53E-15*	7,39E-11*	1,20E-08*	2,72E-08*	6,35E-06*	2,67E-05*	,0040*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

En el lote de Valledupar después de la floración la prueba de ANOVA por bloques aleatorios generó una asociación entre las variables materia orgánica superficial, profundidad efectiva y estructura del suelo Vs velocidad de infiltración con un p-valor menor de 0,05, así mismo las variables biota y control de la erosión Vs velocidad de infiltración y materia orgánica superficial, aireación y cobertura del suelo fueron asociadas con velocidad de infiltración, materia orgánica, profundidad efectiva y estructura del suelo, adicionalmente la cobertura del suelo presento una asociación con biota, control de la erosión y aireación del suelo. Siendo la asociación de un menor p-valor , 4,53⁻¹⁵, la que se evidenció con cobertura del suelo Vs velocidad de infiltración.

Tabla 10. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Agustín Codazzi, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	BIOTA	ESTRUCTURA DEL SUELO	AIREACIÓN DEL SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	CONTROL DE LA EROSIÓN
		4,000	4,143	4,786	5,286	6,500	6,571	7,214
ESTRUCTURA DEL SUELO	5,286	,0049*	,0120*	,2649				
AIREACIÓN DEL SUELO	6,500	2,16E-07*	8,42E-07*	,0002*	,0077*			
PROFUNDIDAD EFECTIVA	6,571	1,08E-07*	4,29E-07*	,0001*	,0049*	,8730		
CONTROL DE LA EROSIÓN	7,214	1,58E-10*	7,02E-10*	4,29E-07*	3,87E-05*	,1125	,1526	
COBERTURA DEL SUELO	10,000	2,26E-23*	9,67E-23*	7,75E-20*	1,60E-17*	7,70E-12*	1,65E-11*	1,30E-08*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Agustín Codazzi en la tabla 10 con base en el p-valor obtenido, se determinó que la variable estructura del suelo Vs materia orgánica superficial y velocidad de infiltración; aireación, profundidad efectiva y control de la erosión Vs materia orgánica superficial, velocidad de infiltración y biota y cobertura del suelo presento una asociación con todas las variables siendo la de menor p-valor con materia orgánica superficial, 2,26⁻²³.

Tabla 11. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de Tamalameque, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests						
		MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	COBERTURA DEL SUELO	BIOTA	CONTROL DE LA EROSIÓN	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN
		3,143	4,143	4,500	5,429	5,500
BIOTA	4,500	,0109*	,4959			
CONTROL DE LA EROSIÓN	5,429	3,22E-05*	,0157*	,0788		
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	5,500	1,91E-05*	,0109*	,0587	,8915	

PROFUNDIDAD EFECTIVA	6,500	5,87E-09*	1,91E-05*	,0002*	,0431*	,0587
ESTRUCTURA DEL SUELO	7,000	7,08E-11*	3,93E-07*	6,55E-06*	,0034*	,0051*
AIREACIÓN DEL SUELO	7,000	7,08E-11*	3,93E-07*	6,55E-06*	,0034*	,0051*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

La tabla 11 que enseña los resultados obtenidos de la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de Tamalameque demostró que la variable biota fue asociada con materia orgánica superficial, mientras que control de la erosión y velocidad de infiltración se asociaron con materia orgánica superficial y cobertura del suelo. Por su parte las variables profundidad, estructura y aireación del suelo se asociaron con materia orgánica superficial, cobertura del suelo, biota y control de erosión. Estructura y aireación del suelo también se asociaron con velocidad de infiltración. La mayor asociación en este grupo de variables se dio entre la aireación del suelo Vs materia orgánica superficial con un p-valor de 7,08⁻¹¹.

Tabla 12. ANOVA de evaluación insitu del lote del municipio de La Jagua de Ibirico, departamento del Cesar.

p-values for pairwise t-tests								
		COBERTURA DEL SUELO	BIOTA	MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	ESTRUCTURA DEL SUELO	PROFUNDIDAD EFECTIVA	AIREACIÓN DEL SUELO
		1,929	2,857	4,500	4,643	5,143	5,786	6,214
BIOTA	2,857	,0359*						
MATERIA ORGÁNICA SUPERFICIAL	4,500	6,23E-08*	,0003*					
VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN	4,643	1,46E-08*	,0001*	,7440				
ESTRUCTURA DEL SUELO	5,143	7,53E-11*	1,03E-06*	,1439	,2546			
PROFUNDIDAD EFECTIVA	5,786	6,66E-14*	1,58E-09*	,0041*	,0103*	,1439		
AIREACIÓN DEL SUELO	6,214	5,84E-16*	1,60E-11*	,0002*	,0005*	,0159*	,3283	
CONTROL DE LA EROSIÓN	7,857	1,24E-23*	2,33E-19*	1,60E-11*	7,53E-11*	1,46E-08*	7,55E-06*	,0003*

* Asociación estadísticamente significativa entre variables para resultados de p-valor menor de 0,05.

Finalmente la prueba de ANOVA por bloques aleatorios para determinar la asociación entre indicadores edafológicos insitu de la localidad de La Jagua de Ibirico en la tabla 12 con base en el p-valor obtenido indicó que la variable biota se asoció con cobertura del suelo, otras asociaciones que se presentaron fueron materia orgánica superficial, velocidad de infiltración y estructura del suelo con cobertura del suelo y biota, finalmente la variable aireación del suelo fue asociada con cobertura del suelo, biota, velocidad de infiltración, este mismo suceso ocurre con aireación del suelo y control de la erosión solo que estas dos variables se asocian con estructura del suelo para la aireación y estructura del suelo, profundidad efectiva y aireación Vs control de la erosión.

Tabla 13. Recuentos microbianos en todos los municipios antes de la siembra.

Municipio	Bacterias Solubilizadoras de Fosfato UFC/g	Bacterias Fijadoras de Nitrógeno UFC/g	Esporas de micorrizas por gramo de suelos	Bacterias UFC/g	Hongos UFC/g	Actinos UFC/g
San Juan del Cesar	0	$0,5 \times 10^3$	0,38	$1,1 \times 10^6$	$1,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$
Manaure	$3,5 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	0,85	$3,5 \times 10^5$	$1,3 \times 10^4$	$1,5 \times 10^4$
Valledupar	$2,2 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	1,23	$4,4 \times 10^7$	$1,4 \times 10^5$	$2,7 \times 10^5$
Agustín Codazzi	1×10^3	1×10^3	0,78	9×10^6	$1,9 \times 10^5$	$1,8 \times 10^5$
Tamalameque	0	3×10^3	0,26	$1,1 \times 10^6$	$1,3 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$
La Jagua de Ibirico	0	$0,7 \times 10^3$	0,48	$1,9 \times 10^6$	$1,1 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$

Tabla 14. Recuentos microbianos en todos los municipios después de la floración.

Municipio	Bacterias Solubilizadoras de Fosfato UFC/g	Bacterias Fijadoras de Nitrógeno UFC/g	Esporas de micorrizas por gramo de suelos	Bacterias UFC/g	Hongos UFC/g	Actinos UFC/g
San Juan del Cesar	4×10^3	0	0,32	$1,2 \times 10^5$	2×10^2	$1,5 \times 10^3$
Manaure	$3,5 \times 10^6$	$0,5 \times 10^3$	0,95	$5,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^5$	1×10^5
Valledupar	0	0	0,42	$2,0 \times 10^4$	$3,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$
Agustín Codazzi	0	0	0,54	$4,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^5$
Tamalameque	0	$1,5 \times 10^3$	0,51	$2,0 \times 10^5$	$5,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
La Jagua de Ibirico	0	$2,5 \times 10^3$	0,55	$2,5 \times 10^6$	$1,0 \times 10^3$	$1,5 \times 10^3$

Con base en la tabla 13 se observa presencia de bacterias, hongos, actinos, esporas de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno en todos los lotes de los municipios evaluados a excepción de las bacterias solubilizadoras de fosfato las cuales solo pudieron ser aisladas en los municipios de Manaure, Valledupar y Agustín Codazzi. Al evaluar los resultados después de floración de la tabla 14 se observa una disminución de la población de bacterias solubilizadoras de fosfato y de fijadoras de nitrógeno en los municipios de Valledupar y Agustín Codazzi, mientras que se observó crecimiento en el municipio de San Juan del Cesar de solubilizadoras de fosfato pero una disminución completa de fijadoras de nitrógeno las cuales presentaron un incremento en La Jagua de Ibirico. Las demás poblaciones microbianas como esporas de micorrizas, bacterias, hongos y actinos no presentaron aumentos considerables y por el contrario algunas mostraron una

tendencia poblacional decreciente. Es importante señalar que en el único municipio donde se dio la formación de nódulos radiculares fue en Manaure presentando una cantidad apropiada de nódulos por planta, con un promedio de veintiocho con actividad media dada la coloración que evidenciaron en su interior (16, 17).

Resultados de indicadores químicos

Tabla 15. Parámetros químicos del suelo evaluados en los 6 municipios antes de la siembra de frijol.

Determinación analítica		Datos obtenidos de la evaluación de indicadores químicos antes de la siembra											
		Departamento de la Guajira,						Departamento del Cesar					
		Municipio de San Juan del		Manaure		Valledupar		Agustín Codazzi		Tamalameque		La agua de ibirico	
Unidad	Método	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
textura al tacto		FA	Franco-Arenoso	FA+A	Franco-Arenoso	FA	Franco-Arenoso	FA	Franco-Arenoso	A	Arenoso	A	Arenoso
pH		5,30	Fuerte a extremadamente ácido	6,08	Ligeramente ácido	6,07	Ligeramente ácido	5,80	Moderadamente ácido	5,58	Moderadamente ácido	5,45	Fuerte a extremadamente ácido
Conductividad eléctrica	ds/m	1,09	No salino	0,18	No salino	1,08	No salino	0,27	No salino	0,17	No salino	0,13	No salino
Materia Orgánica (MO)	%	1,07	Bajo	3,64	Alto	2,27	Medio	2,30	Medio	1,07	Bajo	0,81	Bajo
Fósforo disponible (P) Bray II	mg/kg	97,85	Alto	11,88	Bajo	170,86	Alto	176,06	Alto	28,27	Medio	7,23	Bajo
Azufre disponible (S)	mg/kg	74,27	Alto	5,26	Bajo	8,02	Bajo	3,11	Bajo	1,39	Bajo	1,39	Bajo
Acidez intercambiable (Al + H)	cmol+/kg	0,03		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Aluminio intercambiable (Al)	cmol+/kg	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Calcio Intercambiable (Ca)	cmol+/kg	4,98	Medio	7,30	Alto	7,49	Alto	6,48	Alto	1,32	Bajo	2,43	Bajo
Magnesio Intercambiable (Mg)	cmol+/kg	1,91	Medio	1,38	Bajo	1,54	Medio	1,19	Bajo	0,26	Bajo	0,21	Bajo
Potasio Intercambiable (K)	cmol+/kg	0,30	Medio	0,20	Medio	0,56	Alto	0,43	Alto	0,08	Bajo	0,03	Bajo
Sodio Intercambiable (Na)	cmol+/kg	0,16	Normal	0,04	Normal	0,04	Normal	0,05	Normal	0,05	Normal	0,05	Normal
capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol+/kg	7,38	Bajo	8,92	Bajo	9,63	Bajo	8,15	Bajo	1,71	Bajo	2,72	Bajo
Hierro disponible (Fe) Olsen	mg/kg	82,30	Alto	137,00	Alto	163,00	Alto	179,00	Alto	251,00	Alto	99,20	Alto
Manganeso disponible (Mn) Olsen	mg/kg	11,50	Alto	9,20	Medio	6,70	Medio	6,70	Medio	2,00	Bajo	2,40	Bajo
Zinc disponible (Zn) Olsen	mg/kg	2,20	Medio	2,70	Medio	3,30	Alto	4,40	Alto	1,60	Medio	1,60	Medio
Cobre disponible (Cu) Olsen	mg/kg	3,00	Alto	5,20	Alto	2,90	Medio	4,00	Alto	1,20	Medio	0,80	Bajo
Boro disponible (B)	mg/kg	0,20	Bajo	0,30	Medio	0,37	Medio	0,12	Bajo	0,24	Medio	0,38	Medio

Tabla 16. Parámetros químicos del suelo evaluados en los 6 municipios después de la floración de frijol.

Datos obtenidos de la evaluación de indicadores químicos después de floración												
Departamento de La Guajira,			Departamento del Cesar									
Municipio de San Juan del			Manauare		Valledupar		Agustín Codazzi		Tamalameque		La Laguna de Ibirico	
Determinación analítica	Unidad	Método	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
textura al tacto		Organoléptico	FA	Franco-Arenoso	FA	Arenoso	FA	Franco-Arenoso	A	Arenoso	A	Arenoso
pH		Potenciométrico	5,30	Fuerte a extremadamente ácido	5,71	Moderadamente ácido	6,43	Ligeramente ácido	5,28	Extremadamente ácido	5,56	Moderadamente ácido
Conductividad eléctrica	dS/m	Conductivímetro suelo: agua 1:2,5	1,09	No salino	0,35	No salino	0,26	No salino	1,59	No salino	0,07	No salino
Materia Orgánica (MO)	%	Walkley & Black	1,07	Bajo	2,66	Medio	1,13	Bajo	0,83	Bajo	1,61	Bajo
Fósforo disponible (P) Bray II	mg/kg	Bray II	97,85	Alto	16,70	Bajo	29,77	Medio	203,08	Alto	8,63	Bajo
Azufre disponible (S)	mg/kg	Fosfato Monobásico de Calcio	74,27	Alto	9,35	Bajo	2,83	Bajo	57,45	Alto	1,98	Bajo
Acidez intercambiable (Al + H)	cmol(+) /kg	KCl	0,03		0,00		0,00		0,11		0,00	
Aluminio Intercambiable (Al)	cmol(+) /kg	KCl	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Calcio Intercambiable (Ca)	cmol(+) /kg	Acetato de amonio 1N pH 7,0	4,98	Medio	8,27	Alto	4,94	Medio	5,17	Medio	1,38	Bajo
Magnesio Intercambiable (Mg)	cmol(+) /kg	Acetato de amonio 1N pH 7,0	1,91	Medio	1,39	Bajo	1,21	Bajo	0,82	Bajo	0,26	Bajo
Potasio Intercambiable (K)	cmol(+) /kg	Acetato de amonio 1N pH 7,0	0,30	Medio	0,17	Bajo	0,26	Medio	0,67	Alto	0,06	Bajo
Sodio Intercambiable (Na)	cmol(+) /kg	Acetato de amonio 1N pH 7,0	0,16	Normal	0,03	Normal	0,11	Normal	0,04	Normal	0,04	Normal
capacidad de intercambio catiónico (CCE)	cmol(+) /kg	Suma de cationes	7,38	Bajo	9,86	Bajo	6,53	Bajo	6,81	Bajo	1,73	Bajo
Hierro disponible (Fe) Olsen	mg/kg	Olsen modificado	82,30	Alto	221,00	Alto	46,40	Medio	283,00	Alto	147,00	Alto
Manganeso disponible (Mn) Olsen	mg/kg	Olsen modificado	11,50	Alto	18,90	Alto	5,80	Medio	35,20	Alto	1,20	Bajo
Zinc disponible (Zn) Olsen	mg/kg	Olsen modificado	2,20	Medio	3,00	Alto	1,90	Medio	3,70	Alto	1,50	Medio
Cobre disponible (Cu) Olsen	mg/kg	Olsen modificado	3,00	Alto	5,10	Alto	2,70	Medio	3,40	Alto	1,10	Medio
Boro disponible (B)	mg/kg	Fosfato Monobásico de Calcio	0,20	Bajo	0,15	Bajo	0,14	Bajo	0,22	Medio	0,19	Bajo

Condiciones químicas en La Guajira.

Suelo de textura franco arenosa de reacción fuerte a extremadamente ácida, sin presencia de aluminio. Disponibilidad baja de nitrógeno considerando el porcentaje bajo de humus, elevado contenido de fósforo, azufre, hierro y manganeso, las bases de cambio calcio, magnesio y potasio presentaron niveles moderados en el suelo. En cuanto a los micronutrientes zinc y boro se hallaron bajos niveles. En la evaluación de los indicadores después de la floración se conservaron estables los niveles de los diferentes elementos.

Condiciones químicas de los lotes del departamento del Cesar

Se aprecia una diversidad de texturas en los lotes pasando desde franco arcillosa, limo, franco arenosa hasta arenosa. Los nutrientes mayores NPK presentaron bajos contenidos en los suelos a excepción del fósforo y potasio en el lote del municipio Agustín Codazzi donde se presentaron niveles medios a altos, igualmente los micronutrientes manganeso, zinc y boro fueron hallados en concentraciones moderadas en los suelos a excepción del manganeso en los lotes de Agustín Codazzi, Tamalameque y La Jagua de Ibirico dada la acidez generalizada de los lotes. Finalmente se observaron bajas concentraciones de azufre y altas concentraciones de hierro, esto antes de la siembra, en la etapa de floración se observó una tendencia de disminución de nutrientes, siendo más notorio en el lote de Valledupar con una caída de 8 elementos entre los que se destacan humus, fósforo y potasio, además de calcio, hierro, magnesio, zinc y boro; este último presentó el mismo comportamiento en todos los otros lotes menos en el de Agustín Codazzi donde por el contrario tuvo un incremento, al igual que el manganeso en este mismo lote. De otro lado Manaure también tuvo una disminución de materia orgánica y potasio sin embargo se generó un aumento en manganeso y zinc. En el municipio de La Jagua se observó que el humus y el calcio estaban en una tendencia positiva.

DISCUSIÓN

Al evaluar el comportamiento de los indicadores de calidad en cada uno de los lotes se observa inicialmente una variabilidad y heterogeneidad en cada uno de los lotes y entre ellos, sin embargo cuando se agrupan estos por ecorregiones se comienzan a generar patrones de comportamiento, por ejemplo en la ecorregión del Valle del río Cesar antes de la siembra se determinó que los 3 municipios presentan altas concentraciones de hierro y fósforo y baja capacidad de intercambio catiónico, además los tres municipios de dicha ecorregión niveles similares en aireación del suelo, velocidad de infiltración y sodio disponible, los cuales se encontraron en un valor de 5 o superior, por último se puede apreciar en el grupo de gráficos 1 que los municipios pertenecientes al departamento del Cesar son aquellos que presentaron mayores coincidencias entre los tres municipios que comprendían dicha ecorregión. Por su parte la segunda ecorregión conocida como Serranía del Perijá donde se encuentra el municipio de Manaure antes de la siembra presentó niveles altos de humus, calcio, hierro y cobre disponible, bajas concentraciones de fósforo, azufre, magnesio y capacidad de intercambio catiónico, mientras que tuvo los indicadores de estructura del suelo, profundidad efectiva, cobertura, aireación, control de la erosión, potasio, sodio, manganeso, zinc y boro en un valor de 5 o superior, condiciones parejas a las que se observaron en la primera ecorregión posiblemente a la cercanía geográfica que presentan estos municipios. Por último la ecorregión del Valle del Magdalena al que pertenecen La Jagua de Ibirico y Tamalameque presentó en ambos municipios deficiencias con un nivel bajo de humus, azufre, calcio, magnesio, potasio,

manganeso y capacidad de intercambio catiónico, niveles altos tan solo en el indicador de hierro, niveles medios iguales de sodio, zinc y boro, finalmente niveles medios o superiores similares de profundidad efectiva, aireación y velocidad de infiltración.

En el segundo momento de medición, después de la floración, se estableció en los tres municipios que componen la primera ecorregión niveles medios o superiores de sodio y aireación del suelo y bajo nivel de capacidad de intercambio catiónico, en la zona de la Serranía del Perijá hubo un valor de 10 en Cobre, zinc, hierro, manganeso y calcio, con valor de 1 se encontraron los indicadores de boro, capacidad de intercambio catiónico, azufre, potasio, magnesio, fósforo. En la tercera ecorregión de la que hacen parte los municipios de Tamalameque y La Jagua de Ibirico los indicadores fósforo, azufre, potasio, magnesio, capacidad de intercambio catiónico, manganeso y boro están en un nivel bajo, en un nivel alto se encontró solo el indicador de hierro, en un nivel medio se encontraron los indicadores de sodio y zinc, por último en niveles superiores similares estuvieron profundidad efectiva, aireación y velocidad de infiltración.

La localidad de San Juan del Cesar permitió observar que el desarrollo del frijol en ambientes extremos, se hace difícil ya que como lo demostraron las evaluaciones presenta una baja calidad de su suelo principalmente en su biota, cobertura, estructura, materia orgánica superficial, profundidad efectiva y velocidad de infiltración, adicionalmente de las altas temperaturas y condiciones de sequía a las cuales se está sometiendo la planta, lo que generó que las redes tróficas alrededor del agroecosistema presentaran baja diversidad y cantidad, de allí que no se diera un mejor ciclaje de nutrientes incrementando las posibilidades de las plantas para un óptimo desarrollo y prueba de esto fue la poca producción de vainas. Con base en Sánchez *et al* en el 2010 se recomienda el uso de abonos orgánicos para el suelo presente en La Guajira, ya que estos abonos actúan directamente sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas incidiendo entonces indirectamente en un aumento de las comunidades microbianas y porosidad del suelo, adicionalmente la implementación de cubiertas vegetales o tipo mulch tendrían una incidencia positiva sobre indicadores como la estructura del suelo y profundidad efectiva al mejorar la retención de humedad y en el control de la erosión. Por último el uso de labranza mínima también permitiría mejoras en el desarrollo de las plantas ya que se disminuye la generación de compactación por la mezcla abrupta de horizontes compactados y con pocos nutrientes con los no compactados y con mayores concentraciones de elementos (18, 19).

En los municipios de Valledupar y Agustín Codazzi se presentaron de manera general, características edáficas adecuadas para el establecimiento del cultivo de frijol en el monitoreo de presembrado, esto de acuerdo con Sánchez *et al* 2010 y Altieri y Nicholls 2002, ya que sus indicadores presentan niveles medios a excepción de materia orgánica superficial y velocidad de infiltración en el municipio de Agustín Codazzi, sin embargo esto no supone un riesgo elevado para el desarrollo del cultivo y puede ser reparado a través del uso de una enmiendas orgánicas como compost, que a su vez debido a la carga microbiana presente permite una mejor aireación del área de cultivo.

La ecorregión del Valle del Magdalena exhibió deficiencias en el terreno del municipio de Tamalameque en los indicadores: materia orgánica superficial y cobertura ubicándose en un valor de tres, esperando que mejoraran en el momento de la implementación del frijol; en el lote del municipio de La Jagua de Ibirico se presentaron deficiencias en dos indicadores: biota y cobertura del suelo ubicándose ambos en un valor de tres, siendo la biota un caso aparte ya que se evidenció una cantidad considerable de materia orgánica

superficial en descomposición lo que permitiría el desarrollo de una mayor red trófica alrededor del sistema frijol posterior a su germinación.

De forma global se observó una mejoría de los municipios de Valledupar, Manaure y Tamalameque a nivel de promedio en la etapa de muestreo luego de la floración, debido principalmente al aumento de la biota que tuvo repercusión en la calidad de los tres lotes permitiendo una mejora global en una unidad lo que da cuenta de la importancia de la participación de una red trófica más estructurada con mayor presencia de macroinvertebrados como lombrices y de microorganismos, permitiendo que dichos lotes pasaran de un estado de intervención inmediata con diferentes estrategias a un estado de mantenimiento. En Agustín Codazzi y La Jagua de Ibirico se mantuvo estable la calidad de los suelos a pesar de que se presentó un descenso en la estructura en Agustín Codazzi que se vio compensado por la implementación de la cobertura artificial (20, 21). Finalmente en el lote de San Juan del Cesar se presentaron resultados idénticos tanto antes de la siembra como después de la floración y a pesar de que se presentaron variaciones no fueron las suficientes para incrementar o disminuir la calidad en el suelo evidenciando que a nivel de indicadores físicos y algunos biológicos no hubo cambios trascendentales, este comportamiento pudo deberse a una aceptación y ejecución acorde con los planes de fertilización sugeridos, ya que de no haber sido acatados se hubiesen encontrado niveles inferiores de algunos elementos.

Dentro de las características físicas que se presentan como un posible aspecto a mejorar o desventaja para los cultivos establecidos, está el hecho de que todos los terrenos ofrecieron una resistencia promedio aproximada de veinte centímetros, lo que va en contra de los lineamientos de cultivo de *P. vulgaris* que debe de tener un mínimo de sesenta cm de profundidad, aspecto que también afecta las comunidades microbianas generando probablemente una mayor cantidad de microorganismos anaerobios en espacios que deberían ser colonizados por microorganismos de orden aerobio.

Analizando los resultados producto del ANOVA en el municipio de San Juan del Cesar antes de la siembra y después de la floración se determinó que la asociación de las variables Vs la materia orgánica superficial fue mayor después de la floración mientras que la asociación con la biota disminuyó, no obstante la mayor asociación se presentó nuevamente entre las variables aireación del suelo Vs cobertura del suelo pero con p-valor inferior. Por su parte en el municipio de Manaure se observa una disminución de la asociación de las variables con la biota, aunque sigue presentando una mayor asociación del grupo de variables con la materia orgánica superficial y la velocidad de infiltración, específicamente de la cobertura Vs las dos variables mencionadas anteriormente, otro aspecto que cambio fue la adición de la asociación de la velocidad de infiltración Vs materia orgánica superficial. Mientras que en el lote de Valledupar también se observó una reestructuración en la fase después de floración aunque sigue mostrando una asociación entre el mismo grupo de variables, con una mayor asociación entre cobertura Vs velocidad de infiltración. Donde se denotan mayores cambios en las asociaciones es en el lote de Agustín Codazzi debido posiblemente a la implementación del mulch lo que generó un cambio sustancial en el sistema, ampliando en fase después de floración el número de variables asociadas, presentando a la asociación cobertura del suelo Vs materia orgánica superficial como la asociación con un p-valor menor al de las demás asociaciones sobrepasando el p-valor de antes de la siembra entre control de la erosión Vs materia orgánica superficial, adicionalmente cobertura del suelo también se asoció con velocidad de infiltración, biota, estructura del suelo, entre otras. De otro lado en el lote del municipio de Tamalameque se estableció un comportamiento similar en cuanto a

asociaciones en los dos momentos de evaluación con el ingreso de la asociación entre bota Vs materia orgánica superficial y se mantuvo la asociación entre aireación Vs materia orgánica superficial como la asociación de un menor p-valor. De igual forma no se presentaron cambios sustanciales en las asociaciones del municipio de La Jagua de Ibirico después de la floración. Este grupo de asociaciones evaluadas demuestran que los cambios fuertes a los que son sometidos los lotes influyen directamente entre los diferentes componentes que conforman un sistema y por ende con las asociaciones entre estos como ocurrió en el lote de Agustín Codazzi, el cual fue el lote que más cambios denotó en el grupo de ANOVA después de la floración.

Las principales diferencias entre los resultados obtenidos en el presente estudio con otras investigaciones sobre los indicadores de calidad de suelos radican principalmente en cuatro aspectos: cultivo implementado, tipo de suelo evaluado, condiciones climatológicas que afectan los suelos y tratamientos a los que fueron sometidos los lotes, entre los que se encuentran subsolado, rastra, laboreo convencional, laboreo mínimo y adición de elementos como nitrógeno a diferentes concentraciones, entre otros, como se evidencia en los estudios por Sivira *et al* 1998, Bravo *et al* 2006 y Sánchez *et al* 2014 lo que limita la posibilidad de comparación y de adopción de medidas que mejoren la calidad de los suelos expuestas en dichas investigaciones (22, 23, 24). Trabajos como los del Ministerio Chileno dan cuenta de que a pesar de que en investigaciones se evalúen los tres tipos de indicadores se hace difícil integrarlos en un único resultado o ir más allá de la representación de los mismos en gráficos como lo desarrolla el señor Toledo en su trabajo Estudiar lo rural desde una perspectiva interdisciplinaria: una aproximación al caso de México, por lo que al ahondar en asociaciones entre indicadores insitu como se planteó en el artículo es un paso adelante en investigaciones de este tipo, que permite soportar bases teóricas en donde se establecen relaciones entre los distintitos indicadores pasando por los tres órdenes: físicos, químicos y biológicos (25, 26). Las únicas investigaciones halladas hasta el momento que manejan metodologías de este tipo y donde se exponen de manera clara los resultados obtenidos son las realizadas por Altieri *et al* en los años 2002 y 2007, siendo la base metodológica de nuestras evaluaciones, allí el autor expresa la importancia de masificar este tipo de estrategias de bajo costo y alto impacto estableciendo que pueden ser implementadas en cualquier cultivo, con especial interés de su parte en evaluaciones de suelos cultivados con café que pretenden realizar cambios de manejo de orden convencional o químico a manejos agroecológicos, exhibiendo las diferencias a través de amebogramas entre estos modelos de producción; en la investigación del caribe colombiano lo que se busco fue realizar comparaciones entre un mismo lote en dos momentos diferentes, algo que aún no se ha reportado en ninguna investigación bajo esta metodología, lo que le daría una mayor impulso a aquellas personas que no están interesadas en adoptar maneras distintas de explotar su tierra. Entre las metodologías que se destacan para las evaluaciones de indicadores biológicos se encuentran: para análisis de colonización de micorrizas Phillips y Hayman de 1970, para evaluación de micorrizas potenciales de suelo se emplea el método de Sieverding de 1991, la actividad deshidrogenasa se evaluó por el método de García *et al* de 1997, la biomasa microbiana a través de Jenkinson y Powlson de 1976, entre otras. Por otra parte las metodologías de evaluación de orden químico son idénticas a las ejecutadas en esta investigación y se emplean bajo los mismos protocolos, sin embargo para las evaluaciones de indicadores de orden físico también se presentan diferentes metodologías como la metodología de Lax *et al* de 1994 para determinar el porcentaje de agregados estables al agua, la velocidad de infiltración usando el método del doble anillo (ASTM D 3385-88), densidad aparente por el método del cilindro de Blake y Hartge de 1986 y el espesor del horizonte A de Soil Survey Staff de 1993 (27, 28, 29, 30, 31).

De acuerdo a lo reportado en literatura relacionada, los recuentos en unidades formadoras de colonia de poblaciones microbianas de bacterias, hongos y actinos de las muestras de suelo de localidades cultivadas con frijol se encuentran dentro de los promedios, tal y como se aprecia en la tabla 13 y 14. Adicionalmente se puede observar que existe crecimiento de grupos microbianos benéficos de gran importancia que pueden traer mayores ventajas a los cultivos para el aprovechamiento de nutrientes específicos como el fósforo y el nitrógeno de gran importancia para el frijol, con presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en todas las localidades antes de la siembra (tabla 13), por lo que se esperaba una tendencia ascendente de esta población específica gracias al reconocido nivel asociativo que existe entre las plantas leguminosas como el frijol y las bacterias del género *Rhizobium*, hecho que no se dio posiblemente y como es ratificado por Gutiérrez *et al* en el 2001 donde se establece que cuando la planta presenta un buen suministro de elementos, como fue asegurado en el desarrollo de la investigación, esta no requiere de una asociación con microorganismos que generalmente establece cuando existe una baja presencia de elementos en el suelo. Profundizando en el caso de Manaure con la presencia de nódulos se puede establecer que en este lote se dio un comportamiento similar al detallado por Saraiva *et al* en el 2008 donde se expresa que hay una creciente en la nodulación con un pico aproximado entre treinta y cincuenta días después de sembrado el material, principalmente esto pudo ocurrir debido a que este lote fue el de mayor presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno aisladas antes de la siembra lo que actuó como un inóculo mayor teniendo un mayor éxito de colonización de las raíces. Finalmente cabe mencionar que la disparidad entre cada uno de los lotes evaluados de poblaciones específicas y generales de microorganismos demuestra la diferencia que existe entre los suelos aunque se encuentren dentro de una región geográfica que comparte características climatológicas y geográficas (32, 33, 34, 35).

Una posible causa de la disminución de la humus en tres de las parcelas se puede relacionar con el hecho del poco retorno de material vegetal como hojas al suelo y de una baja asimilación de este material, ya que la pequeña cantidad que se encontró aún no estaba siendo descompuesta para el momento del segundo muestreo ocasionando que se diera un consumo por el desarrollo de las plantas pero que no hubiese una retroalimentación por parte de las plantas al suelo. Esto mismo ocurrió con los niveles de boro que posiblemente no fueron calculados adecuadamente para la realización de un mantenimiento de este elemento en el suelo, algo que pudo suceder al no tenerse un estudio referente de este tipo en la región que impidiera prever sucesos de disminución como este.

La valoración de los indicadores químicos dieron cuenta de suelos con falencias tanto en el departamento del Cesar como de La Guajira, con el agravante que tras la siembra y posterior floración diferentes elementos tuvieron disminución, por lo que se requiere de un buen plan de fertilización acorde con las características ya expuestas. De acuerdo con los hallazgos hechos por el Ministerio de agricultura y ganadería de Chile en el 2002, se establece que valores por debajo de 5 cmol (+)/L de la suma de las bases Ca+Mg+K se considera una alerta en los cultivos ya que puede disminuir el rendimiento de los mismos, por lo que se debe considerar esta alerta en las parcelas evaluadas en los municipios de Tamalameque y La Jagua de Ibirico, ya que no cumplen con este aspecto, adicionalmente las condiciones elevadas de manganeso, hierro y cobre pueden ser perjudiciales para el desarrollo óptimo de las plantas por lo que cuatro de las seis parcelas requieren ser intervenidas ya que están en riesgo de presentar problemas por la elevada presencia de este tipo de elementos, Tamalameque y La Jagua de Ibirico tienen buenos niveles,

igualmente se debe de prestar atención a la presencia de elementos como el zinc, fósforo y humus primordiales para un buen crecimiento y rendimiento de las plantas, por lo que se hace necesario con base en los hallazgos ejecutar alternativas que permitan el aumento de la materia orgánica en todas las parcelas. Las metodologías empleadas en esta investigación para este tipo de análisis se ajustan de forma similar a las llevadas a cabo por Gómez *et al* en el 2008 y otras lo que fortalece los resultados y las medidas que se proponen frente a las falencias que presentan a nivel de elementos los suelos pues están fundamentes en pruebas sólidas para evaluación de cada uno de los parámetros (36, 37).

Aunque la investigación va en favor de la búsqueda de metodologías fáciles y rápidas para llevar a cabo la valoración de calidad de los suelos, se propone que en próximas investigaciones el parámetro de textura no continúe siendo evaluado a través del método organoléptico que ejecutó el laboratorio ya que se ha demostrado la dificultad que tiene el método al tener un carácter de subjetividad difícil de homologar entre los evaluadores, por lo que una alternativa viable y más precisa es el empleo del método de la botella que viene acompañado por la lectura de los resultados contra el triángulo textural, no emplea elementos de difícil acceso y es fácil de adoptar, a pesar de que requiere un tiempo mayor para la obtención de resultados, lo que hace que siga manteniendo las características de los demás métodos de valoración. Del mismo modo se sugiere que los indicadores químicos sean adicionados a las evaluaciones insitu, en la actualidad se encuentran técnicas de medición como kit portátiles de análisis de suelos, que evalúan macro y micronutrientes, pH y humus por medio de la estrategia de titulaciones colorimétricas, lo que haría mucho más completo el análisis y disminuiría la dependencia de las valoraciones de las muestras con los laboratorios.

Con base en los resultados químicos expuestos sobre el departamento del Cesar se debe de considerar de cuidado el tipo de textura presente en el suelo del municipio de Valledupar donde fue predominante el limo, debido a que el desarrollo óptimo del cultivo de frijol se da en suelos con tamaños de partícula mayores. Los nutrientes mayores NPK por sus bajos contenidos en los suelos deben ser suministrados a excepción del fósforo y el potasio en lote presente en Agustín Codazzi, igualmente se recomienda su aplicación debido a sus moderadas concentraciones en el suelo de micronutrientes como manganeso, zinc y boro a excepción del manganeso en los lotes de Agustín Codazzi, Tamalameque y La Jagua de Ibirico dada la acidez generalizada de los lotes. Finalmente es importante la adición de elementos o sales de azufre debido a la pobreza presente en los lotes.

Una de las maneras de corroborar el buen desempeño de la prueba de evaluación indirecta de microorganismos en campo llevada a cabo a través de la adición de peróxido de hidrógeno, fueron los resultados exhibidos de los conteos generales de bacterias evidenciando una relación directa entre estos resultados, ya que hubo conteos elevados acompañados de una presencia elevada o moderada de microorganismos valorados mediante la prueba con agua oxigenada.

Finalmente es bien sabido que en la actualidad existen técnicas como la agricultura de precisión que se práctica en países como Estados Unidos, donde se realiza un monitoreo de las variables con mayor influencia en el desarrollo de las plantas, sin embargo este tipo de prácticas son sumamente costosas, por lo que una opción viable que puede ser implementada por pequeños y medianos productores es el uso de metodologías sencillas y de fácil ejecución como las utilizadas durante la presente investigación para generar recomendaciones a través de las lecturas de los gráficos de ameba promedio sobre

indicadores de la calidad de sus suelos. Como retos para futuras investigaciones están la generación de otros tiempos de muestreo que permitan identificar los cambios durante el desarrollo de cultivos y de cultivos posteriores, además del desarrollo de réplicas de las muestras obteniendo así conclusiones mucho más sólidas sobre los resultados obtenidos, igualmente se podrían establecer investigaciones en invernaderos donde puedan ser controladas diferentes variables y posteriormente evaluar dichas respuestas en campo.

LITERATURA CITADA

1. Corporación Colombia Internacional. Sistema de Inteligencia de Mercados – SIM Ministerio de agricultura y desarrollo rural. ISSN 0124-1338 Perfil de producto. No 8. Abril - Junio 2000.
2. Gobernación de Antioquia. Informe de Avance, Secretaria de Productividad y competitividad. Departamento de planeación. Posibilidades competitivas de productos prioritarios de Antioquia frente a los acuerdos de integración y nuevos acuerdos comerciales. Marzo 15 de 2005.
3. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE). Importancia de los cultivos representados por FENALCE. El cultivo del frijol, historia e importancia. El cerealista. Bogotá. 2010.
4. Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE). Indicadores sectoriales de frijol: Colombia. Bogotá: 2010 [citado abril 2011] . Disponible en: http://www.fenalce.org/archivos/situa_frijol.pdf.
5. Tofiño, Adriana; Tofiño, Rodrigo; Jiménez, Hedilka. (2012). Determinación del potencial productivo y nutricional de un frijol biofortificado mesoamericano en el Cesar Colombia, Vitae, vol. 19, numero 1, enero-abril, 2012.
6. Sanchez De Prager, Marina. et al. Las endomicorrizas: expresión bioedáfica de importancia en el trópico. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Facultad de ciencias agrarias, Mayo de 2007.
7. Usuga Osorio, Carmen Elena; Castañeda Sánchez, Darío Antonio Y Franco Molano, Ana Esperanza. Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (h.m.a) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (Musa AAA cv. Gran Enano) (Musaceae). Revista Facultad Nacional de Agricultura. Medellín 61(1):4279-4290. 2008.
8. Altieri, Miguel y Nicholls, Clara Ines. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. Manejo Integrado de plagas y agroecología (Costa Rica) No. 64 p. 17 - 24, 2002.
9. Gregoire T.G. & Valentine H.T.; Line intersect sampling: Ell-shaped transects and multiple intersections. Environmental and Ecological Statistics 10, 263-279 2003.
10. Instituto nacional de innovación y transferencia en tecnología agropecuaria (INTA-COSTA RICA). Análisis microbiológico de suelos. San Jose, Costa Rica, 2012.
11. Asohofrucol, CAMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ, CORPORACIÓN AMBIENTAL EMPRESARIAL, FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTICOLA, Eco Muisca, SENA y SOCLA. Guía metodológica de sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos. Bogotá, Colombia, 2010.
12. Altieri MA. Nicholls CI. 2001. Sistema agroecológico rápido de evaluación de calidad de suelo y salud de cultivos en el agroecosistema de café. En:<http://www.agroeco.org/doc/SistAgroEvalSuelo2.htm>.
13. Salinas J. y García R. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Editorial CIAT, Cali, Colombia, 1985.

14. INEC Manual de técnicas de análisis de suelos, Análisis físicos y químicos en suelo.
15. Zuberer DA (1994). Recovery and enumeration of viable bacteria. Weaver R. W., Angle J. S. and Bottomley P. S. (Eds). En: Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book Series Nº 5, Madison, p. 119-144.
16. Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46:235-244.
17. Saraiva do Nascimento, Cleópatra, Lira Junior, Mario Andrade, Pereira Stamford, Newton, Galvão Santos Freire, Maria Betânia, Albuquerque Sousa, Clayton. Nodulação e produção do caupi (*Vigna unguiculata* L. WALP) sob efeito de plantas de cobertura e inoculação. Revista Brasileira de Ciência do Solo [en línea] 2008.
18. Garau G. et al. Assessment of the use potential of edible sea urchins (*Paracentrotus lividus*) processing waste within the agricultural system: Influence on soil chemical and biological properties and bean (*Phaseolus vulgaris*) and wheat (*Triticum vulgare*) growth in an amended acidic soil. Journal of Environmental Management. 2012.
19. Sanchez-Saenz, C.M.; Souza, Z.M.; Matsura, E.E. & Freitas, N.R.S. Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. Rev. U.D.C.A. Actual. Divulg. Cient., 13:41-50, 2010.
20. Vento Perez M., Caballero Álvarez R., Pacheco Borroto O., Cabezas Andrades R., Corrales Garriga I., Martín O., Roguet O., Castro I., Driggs J.C., Sánchez Guillén M. y Martínez D. Conservación y mejoramiento de suelos de relieve llano a ondulado a partir de indicadores químicos y físicos. Centro Agrícola, 2010.
21. Toledo Víctor M., Alarcón-Chaires Pablo, Barón Lourdes. Estudiar lo rural desde una perspectiva interdisciplinaria: una aproximación al caso de México. México 1998.
22. Gutierrez, W., C. Medrano, M. Materan illalobos spar a ae edina valuación del rendimiento nodulación del frijol *Vigna unguiculata* alp bajo dos sistemas de labranza en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo, Venezuela. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 18:237-246.
23. Sivira O., Ohep C., Marcano F. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp) en el Yaracuy medio. Bioagro, 1998.
24. Navarro Bravo A, Figueroa Sandoval B, Ordaz Chaparro VM, González Cossio FV. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. Terra Latinoamericana 2000.
25. Sanchez J, Barrientos M, Balderas I, Dasgupta-Schuber N, Márquez-Benavides L. Respuesta de frijol al Endospor 33® a dosis 50% de fertilizante nitrogenado/fosfatado en agricultura protegida. Scientia Agropecuaria. 2014.
26. García, Y., Ramírez, Wendy, Sánchez, Saray. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes [en línea] 2012, 35 (Abril-Junio): [Fecha de consulta: 6 de junio de 2014] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071001>> ISSN 0864-0394
27. MP, A Becker; JC Bedano & HF Schiavo. valuación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e ndices. Ci Suelo 25 (2): 173 – 178.
28. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. Soil and Tillage Research, Volume 93, Issue 2, April 2007, Pages 273-282. A. Roldán, J.R. Salinas-García, M.M. Alguacil, F. Caravaca.

29. Laurent oussseau teven onte rlando lle , Rein van der Hoek, Patrick Lavelle. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological indicators*, 2013.
30. Rodrigues, N., A lorentino orres endis Zamora elección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de oro estado alcón. *Rev. Fac. Agron. (IUZ)*. 26:340-361.
31. Toledo D.; Galantini J.; Ferreccio E.; Arzuaga S.; Gimenez L.y Vazquez S. Indicadores e índices de calidad en suelos rojos bajo sistemas naturales y cultivados. *Ciencia del Suelo* 2013.
32. Delgado, Eduardo, Rosales, Franklin, Trejos, Javier, Villalobos, Mario, Pocasangre, Luis. Índice de calidad y salud de suelos para plantaciones bananeras en cuatro países de América Latina y El CaribeBioagro [en línea] 2010.
33. Arenas, J; Carpio, F. Y Guillermo, J. Flora fúngica de la rizosfera de *Phaseolus lunatus* «pallar» en Ica. *Revista peruana de biología*. Perú. 2005.
34. Venegas F, Scudeler F. Compatibilidade de diferentes cepas de *Rhizobium tropici* com o fungo *Trichoderma harzianum* no tratamento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde* 2011.
35. Ferreira de Araújo AS, Silva Araújo R. Sobrevivência e nodulação do *Rhizobium tropici* em sementes de feijão tratadas com fungicidas. *Ciência Rural* 2006.
36. Ministerio de agricultura ganader a de hile onitoreo de indicadores biológicos químicos físicos económicos en sistemas de producción de arroz frijol con tecnología de siembra directa resultado de experiencias en inca del agricultor óger urillo R. Ciudad Quesada, Chile 2002.
37. R Gomez Alvarez, G Lazaro Jerónimo, JA León Najera. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. rabano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de tabasco. *Universidad y Ciencia, Trópico húmedo*, 2008.