

TRABAJO ESPECIAL

TECNOLOGÍAS GENERADAS POR EL INIA PARA CONTRIBUIR AL MANEJO INTEGRAL DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

TECHNOLOGIES GENERATED BY INIA TO CONTRIBUTE TO INTEGRATED MANAGEMENT OF SOIL FERTILITY

Marisol López*, Belkys Rodríguez* y Mingrelia España**

* Investigadoras. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Recursos Agroecológicos.

**Investigadora. Fundación Instituto de Estudios Avanzados (IDEA).

Correo electrónico: mlopez@inia.gob.ve, brodriguez@inia.gob.ve, mespana@idea.gob.ve

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo establecer el estado del arte de las investigaciones e innovaciones realizadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) en fertilidad de suelo, para incrementar la productividad de los suelos venezolanos en las últimas cinco décadas. Se analizó cronológicamente la evolución filosófica y conceptual del conocimiento generado, partiendo de la visión convencional de la fertilidad, que desarrolló el análisis de suelo para racionalizar el uso de los fertilizantes y neutralizar la acidez, hasta la integral emergente, donde se valoran no solo las propiedades físico-químicas, sino también las biológicas, promoviendo el uso combinado de insumos inorgánicos, orgánicos y biológicos, para favorecer un balance positivo de materia y energía en el suelo. Se hizo énfasis en los biofertilizantes, con base a una oferta biotecnológica que incorpora una gran diversidad de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y simbiótica, solubilizadoras de fósforo y hongos micorrizicos, procedentes de distintas zonas agrícolas y agroecosistemas del país. Se sugirieron las líneas de investigación que deben seguirse para contribuir con el Modelo Agrario Socialista en el marco del Proyecto Nacional Simón Bolívar, respondiendo a las necesidades de la población, para una alimentación suficiente, sana y oportuna, también a una agricultura agroecológica, que beneficie la sustentabilidad de los agroecosistemas, la seguridad y soberanía alimentaria. Los aportes científicos y tecnológicos del INIA, quedaron demostrados en el desarrollo de una plataforma capaz de transferir los resultados de investigación a las comunidades agrícolas, organismos de investigación, educación, desarrollo y la industria de los fertilizantes.

Palabras Clave: análisis de suelo; acidez; fertilizantes; oferta biotecnológica.

RECIBIDO: abril 20, 2010

SUMMARY

This paper aims to establish state of the art in research and innovations generated by National Institute of Agricultural Research (acronym in Spanish INIA), in soil fertility to increase productivity of Venezuelan soil during the last five decades. The conceptual and philosophical evolution of generated knowledge was chronologically analyzed, based on the conventional point of view of fertility that developed soil analysis to rationalize the use of fertilizers and to neutralize acidity, where not only the physicochemical properties are valued, but also biological, promoting the combined use of inorganic, organic and biological inputs to promote a positive balance of matter and energy in the soil. Emphasis on biofertilizers was done based on a biotechnology offer which incorporates a great diversity of nitrogen fixing bacteria, free-living and symbiotic, solubilizing phosphorus bacteria and mycorrhizal fungi, from different agricultural areas and agroecosystems. Research to be followed are suggested to contribute with the Socialist Agricultural Model under the National Project Simón Bolívar, responding to population needs regarding to enough, safe and timely food, as well as to contribute with an ecological agriculture that benefits sustainability of agroecosystems, security and food sovereignty. The scientific and technological contributions generated by INIA, were demonstrated in the development of a platform capable to transfer research results to farming communities, research organizations, education, development and fertilizer industry.

Key Words: soil test; fertilizer; acidity; biotechnology supply.

ACEPTADO: octubre 06, 2011

INTRODUCCIÓN

Alcanzar la seguridad y soberanía agroalimentaria, involucra retos y desafíos socio-políticos, técnico-científicos, culturales y económicos, que se magnifican al asumir procedimientos y métodos con mínimo impacto ambiental que apunten a mejorar la calidad de vida de la población rural y urbana, incluyendo productores (as) y consumidores (as). Esto significa cambios de paradigmas para revertir el modelo productivista, altamente consumidor de energía fósil, y degradador ambiental. Por eso, el Estado venezolano a través del Proyecto Nacional Simón Bolívar, Primer Plan Socialista de la Nación (2007-2013), se propone dar pasos firmes hacia un nuevo modelo socioproductivo, que dé respuesta a las necesidades del ser humano, entre las cuales la alimentación es prioritaria.

En ese sentido, el Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT), en su propósito de alcanzar la soberanía agroalimentaria, a través del proceso de sustitución de importaciones en los circuitos agroalimentarios, estimó una superficie para la producción del sector vegetal de 4 230 514 ha en el período 2009-2019, para lo cual se requieren 671 299,97 y 1 585 226,55 t año⁻¹ de urea y fórmula completa, respectivamente. El incremento interanual promedio de estos productos para dicho período se calculó en un 19% (11% fórmula + 8% urea), el más alto seguido del 12% que ocupa el insumo semilla, esto justifica promover su racionalidad mediante el mejoramiento de su eficiencia y la incorporación de otras fuentes locales orgánicas y biológicas.

El objetivo del trabajo es la realización de un balance sobre la información, conocimientos y tecnologías generadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), que, como rector de la investigación agrícola del país, reconoció y valoró la importancia de los fertilizantes para la producción, asumiendo entre sus líneas estratégicas de investigación aspectos sobre caracterización de suelos, métodos y procedimientos para contribuir al manejo y uso racional de los fertilizantes inorgánicos principalmente de origen industrial, así como, la evolución conceptual y filosófica para transitar hacia un modelo socioproductivo más agroecológico, humano y ético.

Para ello se hizo énfasis en los trabajos publicados desde los inicios del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), luego el fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) y ahora el INIA. Igualmente, se

da a conocer el potencial de los biofertilizantes para el manejo integral de la fertilidad de los suelos y su contribución en la agricultura sustentable referida en el artículo 305 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV).

Programa de análisis de suelo

En Venezuela el manejo convencional de la fertilidad del suelo se desarrolló y sustentó sobre la base de investigaciones de carácter empírico, cuyo objetivo principal estuvo dirigido a responder la siguiente pregunta: ¿Cuánto fertilizante aplicar? en función de la fertilidad de los suelos y los requerimientos de los cultivos.

Es así, como en el 1966 el Ministerio de Agricultura y Cría (MAC) estableció un convenio de cooperación con la Universidad de Carolina del Norte de los Estados Unidos, con el propósito de integrarse al International Soil Testing Project con la finalidad de desarrollar un programa de análisis de suelo que permitiera seleccionar los métodos químicos más apropiados para la extracción de nutrimentos esenciales y generar las recomendaciones dirigidas a orientar la fertilización inorgánica (Carrero, 1985); aún cuando desde 1943 el laboratorio de la Sección de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la División de Investigación del MAC, realizaba análisis de suelo para los agricultores de diferentes regiones del país (Chirinos *et al.*, 1971).

A través del programa se avanzó en los procesos de selección de métodos para análisis de suelo, cuya primera etapa tenía como objetivo evaluar la eficacia de un conjunto de métodos químicos para extraer fósforo (P) y potasio (K). Para seleccionar el método más apropiado se debía alcanzar alta linealidad entre la extracción del método y la respuesta de la planta, como una medida de la eficacia del extractante.

Este proceso involucraba la selección de suelos en áreas agroecológicas representativas de la producción de los cultivos de importancia para la alimentación humana y animal, con diferentes niveles de disponibilidad de dichos nutrimentos a fin de generar las categorías de fertilidad.

La etapa de selección de métodos se realizó principalmente en condiciones de invernadero. Posteriormente, se determinó las dosis de fertilizantes más apropiadas para las categorías establecidas a través del proceso de calibración en campo (Carrero, 1985).

El trabajo titulado Recomendaciones Generales para la Fertilización de Cultivos en Venezuela (Figura 1) sintetiza los primeros avances obtenidos en lo que pudiera denominarse la primera etapa del proceso de calibración de análisis de suelo (González *et al.*, 1981), implementándose como criterio para orientar la fertilización, además del comportamiento de los cultivos en el campo, la respuesta a la disponibilidad de P y K en el suelo, obtenida a partir de los experimentos de calibración.

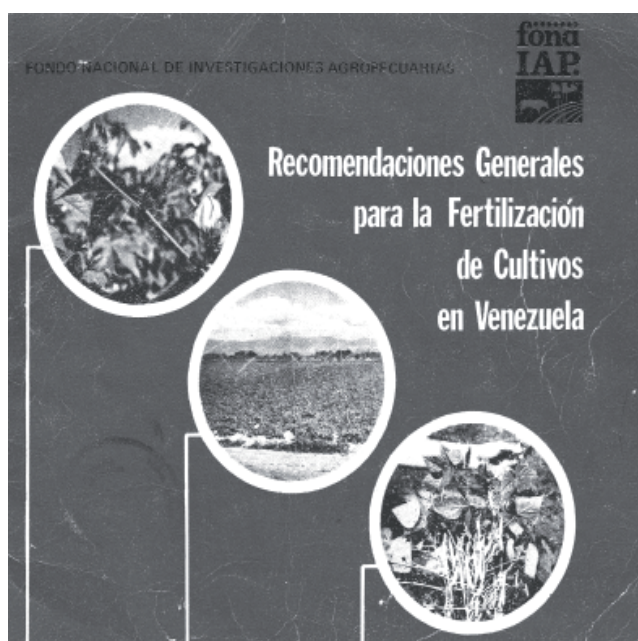


FIGURA 1. Primeras tablas de doble entrada con base a los análisis de suelo.

El método de Olsen (NaHCO_3 0,5 M) conjuntamente con el de Bray (HCl 0,025 N + NH_4F 0,03 N), fueron utilizados para extraer tanto P, como K, demostrando eficacia para la extracción de P en suelos provenientes de Yaracuy, Portuguesa, Barinas, Cojedes y algunos estados andinos. El primero en suelos de pH neutros o alcalinos y, el segundo, en suelos ácidos.

Mientras que la extracción de K con el método de Bray, correlacionó mejor con la respuesta de la planta indistintamente del pH (González *et al.*, 1978). Los resultados obtenidos en suelos representativos del estado Lara, mayoritariamente ácidos, señalan que Olsen y Bray extraían adecuadamente P, así como, Olsen y Morgan (ácido acético 3% + NaOAc 10%) lo hacían para K (Pérez *et al.*, 1979).

Los trabajos señalados anteriormente, aunados al conocimiento y experiencia del personal de investigación adscrito al Programa Nacional de Suelo, permitieron en 1979, mediante un nuevo convenio de cooperación internacional entre el MAC y la Organización de las Naciones Unidas, la creación del Servicio Nacional de Análisis de Suelo (Figura 2), con el objetivo de mejorar la productividad del sector agropecuario, así como, contribuir con el uso racional de los fertilizantes (FONAIAP-CENIAP, 1979).

Dentro de la estructura organizativa propuesta es importante destacar la definición de las unidades de suelo donde se llevarían a cabo los experimentos, lo cual es un indicio del conocimiento preciso que se tenía de la representatividad de las mismas y su relación con las áreas de producción de mayor importancia agrícola.

Con el formal establecimiento del Servicio Nacional de Análisis de Suelo, se lleva a cabo un segundo proceso de calibración, coordinado por Ricardo Ramírez, realizándose un gran número de experimentos por varios años consecutivos, incorporando localidades con limitaciones por acidez y una amplia gama de cultivos: caña de azúcar en los estados Lara, Portuguesa y Yaracuy (16); caraota en Táchira (10), cebolla en Lara (6), maíz en Apure, Guárico, Portuguesa, Monagas y Yaracuy (47); maní en Anzoátegui y Monagas (17); pasto en Guárico (3), plátano en Zulia (3), sorgo en Apure, Barinas, Guárico, Monagas y Portuguesa (58), tomate en Zulia (25) y yuca en Cojedes y Monagas (16), estos 201 experimentos fueron conducidos por personal de investigación de Programa Nacional de Suelo e incluso, personal adscrito a Programas de Cultivos, representando uno de los esfuerzos de mayor envergadura en lo que se refiere al establecimiento de una amplia red de ensayos experimentales a nivel de campo, donde se reivindica la figura organizativa de los programas en su capacidad de planificación y ejecución.

De la información publicada para los diferentes grupos de experimentos (Pereira *et al.*, 1986; Ramírez, 1989a, 1989b; Ramírez *et al.*, 1987, 1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990; se desprenden variaciones en los métodos y los niveles críticos de acuerdo con el cultivo (ver Cuadro). En el caso de P, los métodos Olsen y Bray mostraron la mayor consistencia con la respuesta de la planta dependiendo de la reacción del suelo; el primero con mayor efectividad en los experimentos realizados, fundamentalmente, en suelos neutros o alcalinos, y el segundo en suelos ácidos.

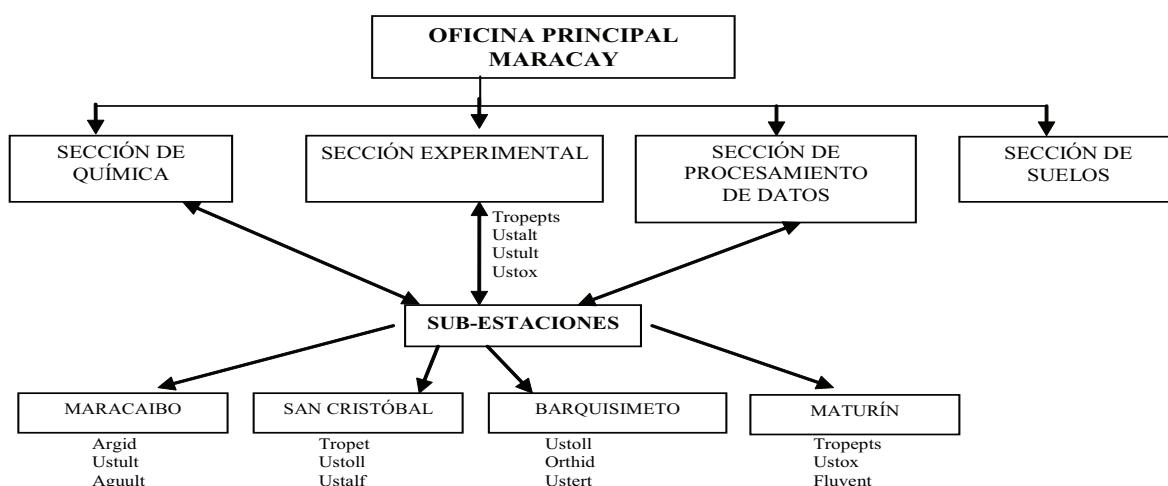


FIGURA 2. Propuesta de la estructura inicial del Servicio Nacional de Análisis de suelo del FONAIAP.

Sin embargo, los niveles críticos difieren con el cultivo, indicando que es necesario revisar este aspecto, debido a su impacto en la interpretación de los análisis y su relación con el requerimiento. Igualmente, dichas mejoras permitirían a futuro efectuar la síntesis de las relaciones nutritivas por cultivos, facilitando la elaboración de mapas que orienten la fertilización en ausencia de otro tipo de información, así como, mejorar los criterios utilizados por la industria de fertilizantes (PEQUIVEN), en la elaboración y distribución de formulaciones para los cultivos de mayor interés (cereales, frutales y hortalizas).

Por otra parte, se evidencia muy poca efectividad de los métodos evaluados para K, incluso el de mejor comportamiento, acetato de amonio, no coincide con el que actualmente está siendo utilizado por los laboratorios del INIA (K-Olsen); este hecho plantea la importancia de retomar la revisión de los criterios de interpretación para el diagnóstico de K en el suelo a través de la información disponible y realizar nueva experimentación si fuera necesario, teniendo en cuenta que las fuentes utilizadas en el país (cloruro de potasio, sulfato doble de potasio y magnesio y sulfato de potasio) son importadas y costosas.

CUADRO. Síntesis de los experimentos de calibración de análisis de suelo realizados en la década de 1980.

Cultivos	Nutrimiento	Extractante seleccionado	Niveles críticos mg kg ⁻¹	Variación de los requerimientos P ₂ O ₅ y K ₂ O kg ha ⁻¹
Caña (plantilla)	P	Olsen	8	0 – 169
	K	Olsen	64	0 – 298
Melón	P	Olsen	<5	65 – 20
	K*			
Maní	P	Bray 1	<2	80 – 50
	K	Acetato de amonio	<9	65 – 35
Maíz	P	Bray 1	<4	60 – 30
	K*			
Sorgo	P	Bray 1	<5	85 – 35
	K	Acetato de amonio	<24	60 – 25
Tomate	P	Olsen	<10	43 – 18
	K*			

*Información no publicada

El proceso de calibración de análisis de suelo debe contar con un seguimiento y ajuste permanente, siendo clave el trabajo organizado y sinérgico entre los laboratorios que conforman la red, así como, el personal de investigación que hace el acompañamiento técnico que trabaja a nivel de campo y en las unidades de distribución y comercialización.

Los criterios de las recomendaciones de N para los diferentes cultivos, se recogen en los instructivos de fertilización (Figuras 1, 3, 4, 6), los cuales provienen de las curvas de respuesta obtenidas a través de los experimentos de campo de carácter puntual, con la limitación de no haber sido concebidos bajo un esquema metodológico que les confiera mayor soporte para la extrapolación de los resultados. Sin embargo, existe información experimental disponible que puede ayudar a abordar el problema, ajustando las curvas para condiciones específicas de suelo y cultivo. Otro aspecto importante de la fertilización nitrogenada lo constituye el fraccionamiento, recomendado para los cultivos anuales en los suelos arenosos, como también para los mal drenados (López de Rojas *et al.*, 2008).

Por su parte, Delgado (2002) señaló que la repuesta a la fertilización nitrogenada se encuentra afectada por el contenido inicial del N mineral del suelo; proponiendo fertilizar cuando ese valor se encuentra por debajo de 40 mg N kg⁻¹ de suelo.

A través del método de restitución de la cantidad de nutrimentos extraídos del suelo, también, se ha logrado establecer criterios para la fertilización de los frutales, combinando la acción conjunta de los análisis de tejido y suelo (Avilán y Leal, 1990).

A partir de la eliminación del subsidio a los fertilizantes en la década del 1990 y la disminución del uso de fórmulas complejas por parte de los agricultores, se empezaron a reportar deficiencias de microelementos en cítricos, soya, maíz, sorgo y ajonjolí, habiéndose reportado Cu y Zn, como los de menor disponibilidad en los suelos de las mesas orientales (Quiñones, 1991). Este hecho motivó la ejecución de un proyecto para seleccionar los métodos más adecuados para la extracción de ambos elementos en catorce suelos ácidos provenientes de diferentes regiones del país.

Los resultados indicaron que el mejor método para la extracción de Zn correspondió al EDTA-Na con un nivel crítico de 2,4 mg Zn kg⁻¹ de suelo (Arrieché y Ramírez, 1997); en el caso de Cu se recomienda al EDTA con

un nivel crítico de 1 mg Cu kg⁻¹ de suelo (Rodríguez y Ramírez, 2005). A futuro es necesario determinar los requerimientos de fertilizantes a base de microelementos, en suelos con diferentes grados de disponibilidad y para diversos cultivos.

También, se considera impostergable la incorporación de aplicaciones con Sistemas de Información geográfica (SIG), con el propósito de delimitar áreas similares para las recomendaciones de fertilizantes.

Sistema Experto para Recomendaciones de Cal

Simultáneamente, con el proceso de calibración de análisis de suelo, la investigadora Isaura López de Rojas lideró los trabajos para avanzar en la generación del conocimiento básico para corregir los problemas de acidez de los suelos, a través de la determinación de los requerimientos de cal (López de Rojas, 1982, 1983, 1986, 1987; Rodríguez y Tenias, 1983; López de Rojas y Comerma, 1985; López de Rojas y Sánchez, 1990).

En el trabajo titulado Recomendaciones para la Fertilización de Cultivos Cereales (Figura 3) aparecen publicadas diecisiete alternativas para orientar el uso de enmiendas calcáreas, considerando como criterios fundamentales: la textura y el nivel de pH para los suelos gruesos; se adiciona la saturación con calcio (Ca) para los suelos medios y finos, considerándose indirectamente por esta vía la saturación con aluminio y la capacidad amortiguadora del suelo (Carrero *et al.*, 1986).



FIGURA 3. Primeras reglas de decisión para las recomendaciones de cal con base en las propiedades físico-químicas de los suelos.

Además de la formulación del requerimiento de cal a través de las propiedades mencionadas, fue necesario conocer el grado de tolerancia a la acidez por parte de los cultivos, los requerimientos de calcio y magnesio desde el punto de vista nutricional, así como, la forma y época de aplicación de la cal.

Este conocimiento en combinación con otros aspectos más específicos, como por ejemplo, la edad y el radio de copa de la planta, en el caso de los frutales, ha sido sistematizado en lo que hoy se conoce como Sistema Experto para recomendaciones de Cal en los Suelos de Venezuela (Figura 4), el cual es una importante herramienta para la formulación de planes dirigidos a corregir los problemas de acidez para situaciones específicas de suelo y cultivo a través de los laboratorios de Servicio del INIA (López de Rojas y Silva de Zacarías, 2002).



FIGURA 4. Síntesis del conocimiento estructurado del sistema experto para las recomendaciones de cal.

El funcionamiento de esta herramienta permitió la transferencia directa de los resultados de investigación a los usuarios de los laboratorios, impactando directamente sobre el incremento de la fertilidad de los suelos, desde el punto de vista químico, contribuyendo a un mayor potencial de producción para aquellos materiales genéticos susceptibles a las condiciones de acidez.

Debido a la importancia de la superficie del territorio nacional afectada por acidez y deficiencias de P (70%), así como, la limitación que imponen estas condiciones para el uso eficiente de los fertilizantes; es obligatorio darle continuidad a la caracterización de los suelos ácidos bajo diferentes situaciones de manejo y cultivos, con el propósito de validar y enriquecer las reglas de decisión que hasta la fecha han sido establecidas, igualmente, es necesario migrar dicho sistema a un lenguaje de nueva generación bajo software libre.

En la actualidad, el INIA cuenta con un Manual de Alternativas de Recomendaciones de Fertilizantes para Cultivos Prioritarios en Venezuela (Figura 5) en el cual se ajustan las dosis de nutrimentos (N, P, K) en cultivos muy dependientes de procesos biológicos como cacao, café y leguminosas, cuyas recomendaciones convencionales inhibían la micorrización en cacao (López *et al.*, 2007) y la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas (España *et al.*, 2006). Asimismo, cuenta con una plataforma técnico-científica conformada por una red de ocho laboratorios de suelo, planta y enmienda para diagnóstico de fertilidad (en proceso de acreditarse con las normas de calidad ISO 17 025), los cuales se encuentran ubicados en los estados Anzoátegui (El Tigre), Aragua (Maracay), Barinas (Barinas), Guárico (Calabozo), Mérida (Mérida), Táchira (Táchira), Yaracuy (Yaritagua) y Zulia (Maracaibo); así como, tres salas de recepción de muestras de suelo en INIA Portuguesa (Araure), Monagas (Maturín) y Guárico (Valle de la Pascua) donde los productores pueden enviar sus muestras de suelo y de ahí son ingresadas a los laboratorios de la zona de influencia para su análisis correspondiente (Figura 6).



FIGURA 5. Compilación actual de los instructivos de fertilización

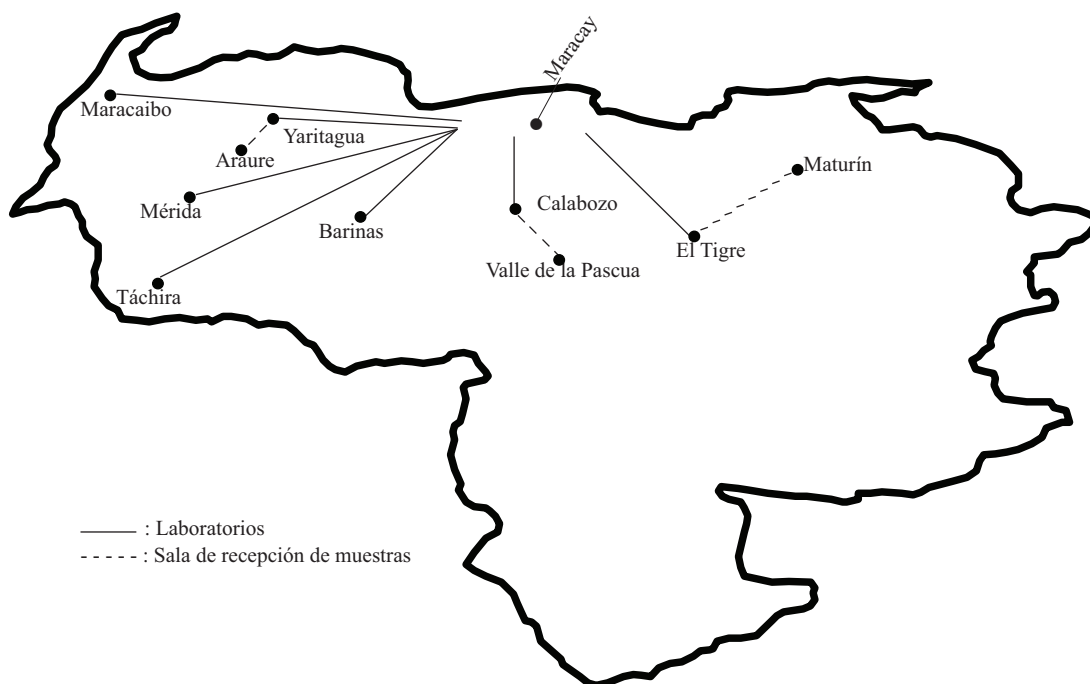


FIGURA 6. Red de laboratorios de suelo, planta, agua, enmiendas y salas de recepción de muestras del INIA.

Eficiencia de uso de los fertilizantes bajo diferentes prácticas de manejo

A partir de la década de 1990 se dirigió mayor atención a la forma de aplicación de los fertilizantes, respondiéndose a las preguntas: ¿Cómo? y ¿Cuándo? aplicarlos, debido a las diferencias en la respuesta de los cultivos a la forma de aplicación (voleo, banda, enterrado, superficial); procurando una mayor eficiencia o aprovechamiento de los nutrientes provenientes de las diferentes fuentes inorgánicas disponibles (fórmulas simples y compuestas) de origen industrial.

Se publicó información relacionada con la eficiencia de uso de los fertilizantes para tomate bajo riego en la planicie de Maracaibo, encontrándose que la colocación del fosforado por debajo de la planta al momento de levantar los camellones, alcanzó una eficiencia de uso de 296 kg de tomate por kilogramo aplicado. Mientras que para el caso de los potásicos, se obtuvo mayor eficiencia, 233 kg de tomate por kilogramo usado, cuando se colocó por debajo y a un lado de la planta (Ramírez *et al.*, 1991).

Estos resultados ponen de manifiesto el patrón de comportamiento particular que sigue cada elemento de acuerdo con su dinámica en el suelo y la complejidad

para sincronizar las técnicas que apuntalen la eficiencia de uso de todos los elementos.

Igualmente, se determinaron valores de eficiencia de uso en N utilizando técnicas isotópicas (^{15}N) para maíz y arroz de secano: el primer caso en la altiplanicie del estado Cojedes, reportándose valores de eficiencia de uso de 18,79%; 23,03% y 23,69%, cuando fueron colocados 120 kg N ha⁻¹ utilizando voleo con rastra, voleo con disco y en banda, respectivamente (Delgado *et al.*, 2001).

De la misma forma, en vertisoles de la altiplanicie del norte del Guárico, con limitaciones por drenaje interno y permeabilidad, fueron determinadas eficiencias de 49,6%, 62% y 65,9%, cuando se aplicaron 150 kg N ha⁻¹, con dos pase de rastra cruzados, un pase cruzado de cincel más siembra directa y siembra directa, respectivamente (Cabrera de Bisbal, 2002).

Mientras que en un suelo Kandic Plinthustults ácido bajo condiciones de arroz de secano de la altiplanicie del occidente de Guárico, Alfonso *et al.* (2005) se determinó eficiencias mayores al fraccionar las dosis de N (80 y 100 kg ha⁻¹) en dos cultivares de arroz (FONAIAP 2000 y CT-102), encontrándose igual eficiencia de recuperación del N (42%) en ambos materiales con la menor dosis (80 kg ha⁻¹). Cuando se utilizó la dosis de

100 kg N ha⁻¹ se redujo significativamente la eficiencia de N en 12% en ambos cultivares; los rendimientos oscilaron entre 4,5 y 5,4 t ha⁻¹, correspondiendo el mayor valor al FONAIAP 2000.

Estos resultados muestran muy baja eficiencia de recuperación del N, así como diferencias significativas dependiendo de las condiciones agroclimáticas, especie, cultivar y prácticas de manejo, lo que justifica seguir investigando sobre los factores que influyen directamente en la baja eficiencia de recuperación de nutrimentos provenientes de los fertilizantes.

Asimismo, se aportó información para el uso de rocas fosfóricas naturales y aciduladas, cuyo potencial se comprobó en suelos ácidos con cultivos perennes (López de Rojas *et al.*, 1994) y de ciclo corto (Ramírez y López, 2000; López *et al.*, 2006a) en diferentes regiones de Venezuela. Por otro lado, se determinó algunos mecanismos de eficiencia de utilización del P por parte de cultivares con distintos grados de tolerancia a la toxicidad de aluminio, utilizando fuentes de P de baja y alta solubilidad en suelos contrastantes (Ramírez y López, 2000; López *et al.*, 2007).

Actualización de las herramientas utilizadas para el diagnóstico de la fertilidad

Del análisis de la información anterior, se desprenden algunas propuestas para mejorar aspectos conceptuales y de sistematización de los instrumentos desarrollados para el manejo de la fertilidad de los suelos y los fertilizantes:

1. La actualización conceptual de las herramientas utilizadas para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos, debe abarcar:

- 1.1. Revisión de los criterios actuales para la interpretación de los análisis a través de la información disponible.
- 1.2. Diseño de una red de experimentos con participación de las organizaciones comunitarias, utilizando los nuevos materiales genéticos, áreas agroecológicas representativas, incorporando fuentes de fertilización biológicas y orgánicas.
- 1.3. Determinación de los requerimientos de micronutrientes y caracterización de la acidez bajo condiciones específicas de manejo y cultivo.

2. Representación espacial de las relaciones nutritivas de los suelos (N-P-K), pH y materia orgánica, con la finalidad

de orientar la fertilización en ausencia de otro tipo de información, así como, la producción industrial de los fertilizantes (tipos y distribución de productos).

3. La creación de una Red Nacional de Laboratorios con protocolos estandarizados y de calidad, con capacidad para producir diagnósticos y recomendaciones consecuentes con la realidad del campo, a fin de consolidar el proyecto de la Red Social de Mezclado de Fertilizantes que lleva adelante PEQUIVEN.

4. El desarrollo de un sistema de información que opere en tiempo real y de forma interactiva, con el propósito de viabilizar la difusión del conocimiento estructurado, la captura de nuevos aspectos y observaciones de interés para los usuarios (comunidades, agricultores, industria, organismos de desarrollo, entre otros) e incorporación de las reglas de decisión del Sistema de Experto para las Recomendaciones de Cal.

5. Diseño de un programa (conducente o no conducente a grado académico) para formar a los nuevos promotores (as) sociales, extensionistas agrícolas y egresados (as) de las escuelas agropecuarias con énfasis en profesionales que se desempeñen a nivel de campo y realicen el acompañamiento agrícola, así como a los pequeños y medianos agricultores (as).

De la agricultura de altos insumos al modelo agroecológico

La agricultura bajo el modelo de producción de altos insumos contribuye a las emisiones de carbono a la atmósfera (Houghton y Skole, 1995), subvalora el suelo como sistema vivo y, por ende, los procesos benéficos del agrosistema, cuyo efecto antropogénico, además de inhibir los procesos biológicos de los ecosistemas (Altieri, 1999), afecta drásticamente su dinámica, sustentabilidad y la biodiversidad alcanzada en condiciones tropicales, ya que la biota y su comportamiento son claves en agroecosistemas sustentables y particularmente en la calidad del suelo, afectando su fertilidad natural y causando más dependencia de insumos externos en los sistemas de producción.

Las altas aplicaciones de fertilizantes y enmiendas, junto al control de plagas y enfermedades, han sido aspectos de los paquetes tecnológicos que han dado lugar a un uso elevado de agrotóxicos e intensiva mecanización agrícola, generando problemas de degradación de suelos (Torres *et al.*, 2005). Con relación a los primeros, a manera de ejemplo, se puede señalar la disminución de la simbiosis micorrízica en zonas cacaoteras de la costa

aragüeña (López *et al.*, 2007) y problemas de desbalance nutricional en el duraznero en la Colonia Tovar, estado Aragua (INIA-CENIAP, 2002), lo cual ha producido efectos detrimentales para la producción y el ambiente.

El manejo con principios agroecológicos de los agroecosistemas surge como alternativa para minimizar los impactos negativos del modelo de altos insumos, conceptualizando la fertilidad del suelo integralmente, es decir, valorando con equidad los aspectos biológicos, químicos y físicos del suelo. Con este enfoque se iniciaron trabajos de campo de largo plazo en suelos de muy baja fertilidad natural, incluyendo prácticas que combinan el uso de abonos orgánicos locales e inorgánicos, cultivares tolerantes a la acidez, roca fosfórica y rotación de cultivos (Figura 7).

Entre los resultados obtenidos con dichas prácticas se señalan, incremento en la disponibilidad de nutrientes, acumulación de materia orgánica, reducción de aluminio intercambiable y aumento en los rendimientos de los cultivos indicadores (López *et al.*, 2006a, 2006b), acti-

vación de la biota benéfica y procesos de micorrización (Toro *et al.*, 2008), así como, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) sin necesidad de encalar, aplicando dosis bajas de molibdeno ($0,02 \text{ mg ha}^{-1}$), lográndose obtener en quinchoncho niveles de FBN de 78% y en forrajeras nativas 71% (España *et al.*, 2006) utilizando N^{15} . También fue determinada la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo (SF) y fijadoras de nitrógeno de vida libre (FNVL), con potencial para ser utilizadas como biofertilizantes en el país y en la activación de otros mecanismos bioquímicos como la deshidrogenasa e inhibición de la fosfatasa ácida (López, 2010).

En otros trabajos realizados en un suelo vertisol de alta fertilidad, al sur del estado Aragua y norte de Guárico, pero con limitaciones por drenaje interno y permeabilidad, se ha encontrado que la rotación de cultivos, los residuos de cosecha y la labranza conservacionista, activan enzimas importantes en ciclos biogeoquímicos (España *et al.*, 2002), igualmente, esta última aumentó la eficiencia de FBN en soya (España *et al.*, 2000).



FIGURA 7. Vista de experimento con principios agroecológicos en suelos ácidos del estado Guárico. A. siembra de sorgo, crotalaria y añil colocado sobre la superficie como abono verde; B: sorgo al frente y crotalaria en floración al fondo, antes de ser cortada y aplicada como abono verde; C: Añil en floración antes de ser aplicado al suelo.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados inorgánicos de forma excesiva inhiben los procesos que sustentan la fertilidad natural de los suelos, mientras que el manejo agroecológico puede favorecerlos (López *et al.*, 2007; López, 2010; Toro *et al.*, 2008; España *et al.*, 2006), lo cual permite a la planta expresar mecanismos tales como exudación de ácidos orgánicos, activación de enzimas como la fosfatasa ácida y cambios en el pH del suelo, mejoras en la estructura del suelo, entre otros.

Además de las prácticas señaladas, se pudo aumentar la capacidad productiva del suelo a bajo costo ambiental, a través de inoculaciones directas con microorganismos debidamente seleccionados por su efectividad y compatibilidad cepa-suelo-cultivo (López *et al.*, 2008). En este sentido, los biofertilizantes constituyen una alternativa sustentable para desarrollar una agricultura más sana y menos costosa, representando uno de los pilares fundamentales de la sustentabilidad agrícola (Martínez-Viera *et al.*, 2006).

Desarrollo de los biofertilizantes para una agricultura sustentable

Las investigaciones orientadas a la utilización de biofertilizantes en el país, como alternativa o complemento de los fertilizantes inorgánicos de origen industrial se remontan a finales de la década de 1940, con un trabajo pionero de la Sección de Microbiología Agrícola de la Dirección de Agricultura del MAC (Figura 8), se demostró los beneficios de la inoculación, con cepas nativas de *Rhizobium*, en leguminosas como caraota, frijol y quinchoncho (Savostin, 1950). Posteriormente, se evaluaron cepas de *Rhizobium* para maní y frijol (Ayala, 1974; Ayala, 1977).

No obstante, a finales de 1977 el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) inició un proyecto de investigación con el objetivo de producir un inoculante nacional; teniendo como resultado el desarrollo del Nitrobac, un biofertilizante basado en cepas nativas de *Rhizobium* (Williams y Sicardi, 1982), el cual se utilizó satisfactoriamente a finales de 1980 para leguminosas de grano (soya, maní y caraota) y forrajeras (*Leucaena*, *Stylosantes*, *Siratro* y *Centrosema*). Su producción alcanzó en el 1990 la cobertura de una demanda de 15 000 ha; sin embargo, en 1991 la patente fue vendida a la empresa privada (Freites, 2006) y tiempo después el producto desapareció del mercado; desperdiciándose así, años de investigación y recursos financieros erogados por el Estado para la generación de esta biotecnología.

En 1991, bajo la coordinación del investigador Ramón Gutiérrez[†], el INIA inició un proyecto de investigación para evaluar la potencialidad de la asociación simbiótica *Azolla anabaena* como biofertilizante en los arrozales venezolanos cuya productividad oscila entre 250 - 1 340 kg N ha⁻¹, realizándose una colecta a nivel nacional con el propósito de crear un banco de germoplasma, en el cual fueron identificadas asociaciones promisorias en razón de su tasa relativa de crecimiento, tiempo de duplicación de la biomasa y tasa de fijación de nitrógeno, esta última con valores entre 13 y 40 kg N ha⁻¹ (España *et al.*, 2006; Espinoza y Gutiérrez, 2003, 2006).

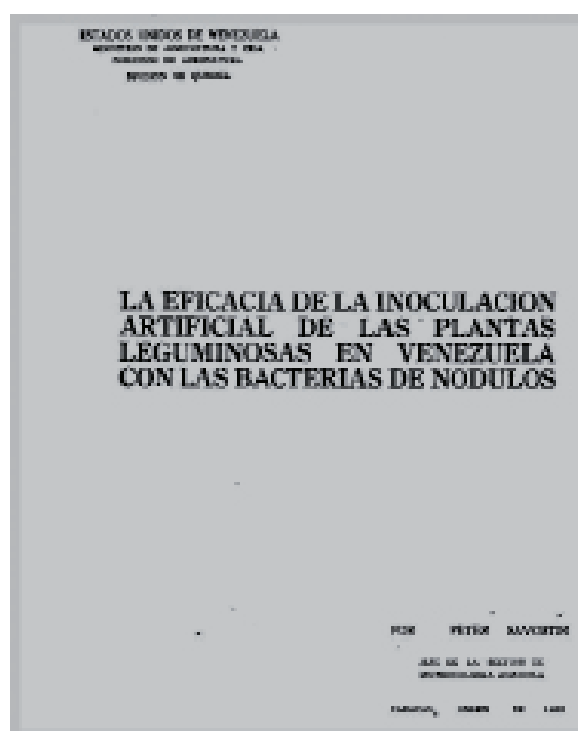


FIGURA 8. Trabajo pionero publicado en el área de inoculación.

Estas cepas (Figura 9A) constituyen una oferta biotecnológica para escalar la producción de biofertilizantes a utilizar en sistemas de producción agroecológicos como los que están siendo implantados en el estado Apure y en la producción de arroz agroecológico en el Delta Amacuro, considerando sus condiciones edáficas (suelos pesados, mal drenaje) y la fragilidad de los ecosistemas naturales. También, es una alternativa para las principales áreas cultivadas con arroz en Guárico, Portuguesa y Barinas.

En 1999, mediante la cooperación de dos proyectos de leguminosas, en el marco de la Agenda Biodiversidad del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT), el INIA inició una colecta a nivel nacional de cepas de *Rhizobium*, para leguminosas comestibles y forrajeras (Figura 9B), las 47 cepas aisladas a través de estos proyectos dieron origen al Cepario Nacional del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-INIA) ubicado en Maracay, estado Aragua.

Recientemente, en el marco del Convenio de Cooperación Internacional entre la República Bolivariana de Venezuela y la República de Cuba, el INIA inició el proyecto: Innovación Tecnológica en Biofertilizantes para Agrosistemas Venezolanos Sustentables (Código

7-281-150-341), cuyo objetivo fue desarrollar una oferta biotecnológica para contribuir con el manejo integral de la fertilidad de los suelos, a fin de mejorar las recomendaciones de fertilizantes que se generan a partir de los análisis de suelo en el marco de una agricultura agroecológica (López *et al.*, 2009).

A través de este proyecto de cooperación se realizó aislamientos, evaluaciones y selección de microorganismos nativos, tanto simbioses como asociativos, provenientes de diferentes agroecosistemas del país, encontrándose que las cepas de *Rhizobium*, pueden aportar a las leguminosas desde 40 al 100% del N requerido por estas especies, dependiendo de las condiciones agroecológicas, la fertilidad inicial del suelo y las prácticas de manejo.

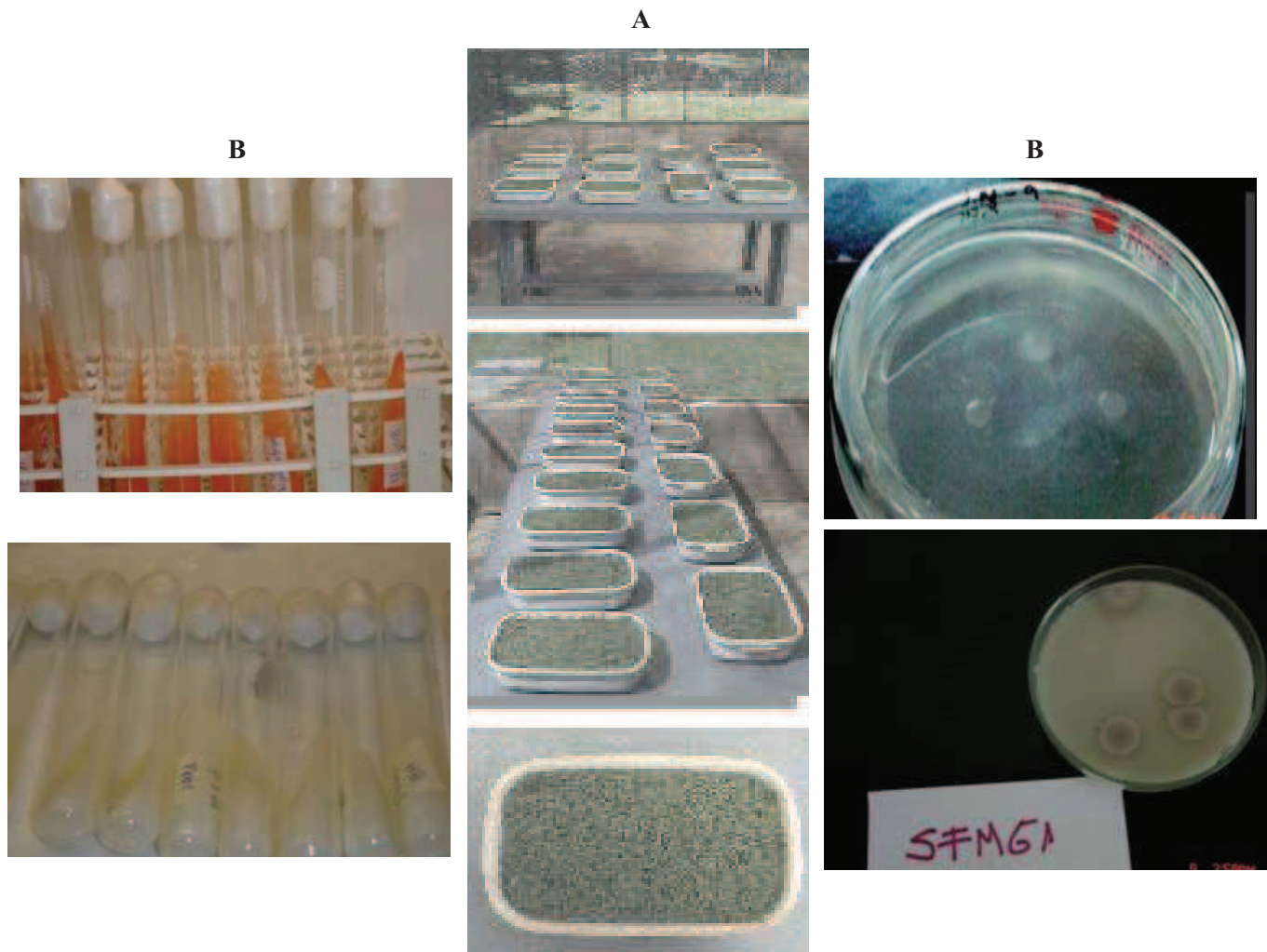


FIGURA 9. A) Colecta de *Azolla anabaena*; B) Colecta de cepas de *Rhizobium*, ubicadas en el Cepario Nacional del INIA-CENIAP.

Estimaciones de la FBN utilizando ^{15}N en los llanos centrales, demostraron que pueden aportar en leguminosa de grano, hasta 67% en la soya (España *et al.*, 2000) y 79% para el Quinchoncho (España *et al.*, 2006); mientras que, en leguminosas forrajeras 53% y 71% para *Crotalaria* e *Indigofera* (España *et al.*, 2006). Estos últimos logrados con manejo agroecológico de suelos ácidos en sabanas del estado Guárico, como se muestra en la Figura 7.

Con relación a los microorganismos de vida libre, no se encontraron trabajos publicados en el INIA anteriores a los Proyectos 7-281-150-341 y Evaluación de Prácticas de Manejo Conservacionista en Suelos Ácidos del municipio Espino-Guárico en un Sistema de Producción Cereal - Leguminosa, código: S1-2002000391 y es que a través de estas estructuras programáticas que se inician los aislamientos de cepas asociadas a la rizósfera o de vida libre, identificándose rizobacterias FNVL, cuyas evaluaciones muestran potencial para aportar entre 40 y 50 kg N ha⁻¹ a distintos agrosistemas, lo que significa que pueden cubrir los requerimientos hasta en un 50%, cuando la dosis recomendada para el cultivo alcance un valor de 100 kg N ha⁻¹.

También, se identificó solubilizadoras de fósforo (SF), las cuales pudieran contribuir hasta con un 70% de los requerimientos de P en los cultivos; estas rizobacterias (FNVL y SF) pueden utilizarse en todos los cultivos de interés socioproductivo, cereales, hortalizas, frutales, pastos, café y cacao. El mayor potencial de las SF se obtuvo en suelos con altos contenidos de P-total.

Estas bacterias evaluadas en invernadero y campo, demostraron ser rizobacterias con potencial para estimular el crecimiento vegetal (RECV) o su siglas en inglés PGPR (Plant Growing Promoting Rhizobacterias), a través de la liberación de sustancias de crecimiento (López *et al.*, 2009).

El Cepario Nacional dispone en estos momentos de una oferta biotecnológica para escalar hacia la producción de biofertilizantes, conformada por más de 62 cepas de *Rhizobium*, tanto para leguminosas de grano (*Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata*, *Cajanus cajan*, *Glycine max*) y maní (*Arachis hipogaea*), como para forrajeras (géneros *Centrosema*, *Desmodium* y *Stylosantes*) y más de 200 microorganismos de vida libre (SF y FNVL) aislados de diferentes rizósferas de sistemas de producción y condiciones agroecológicas del país. Así como, un banco de germoplasma de 16 asociaciones de *Azolla anabaena*.

Con apoyo del Programa de Tecnología Agropecuaria del INIA, en el estado Aragua (Convenio Cuba-Venezuela), el Fonacit proyecto S1- 2002000391 y el Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI), se conformó el laboratorio de Referencia Nacional de investigación e innovación en biofertilizantes “Bolívar Conservacionista”, el cual se encuentra en funcionamiento, apoyando a diferentes centros de investigación del INIA, universidades, comunidades y cooperativas agrícolas, en el aislamiento de microorganismos nativos con potencial para ser utilizados como biofertilizantes, en la evaluación en campo con diferentes cultivos, se orienta y forma talento humano en los procesos, en métodos para aislar y evaluar las cepas.

Las mejores cepas seleccionadas a través de los proyectos 7-281-150-341 y Fonacit S1-2002000391 de *Rhizobium* (Rh), *Azotobacter* (FNVL) y *Bacillus megatherium* (SF), están siendo utilizadas como base biológica para la elaboración de tres líneas de biofertilizantes (Figura 10) que se producen en los laboratorios semindustriales de Cojedes, Mérida, Táchira, Trujillo, Cojedes, Guárico, Portuguesa y Barinas, adscritos al INSAI, incluyendo el ubicado en el Centro Genético Socialista Florentino.



FIGURA 10. Biofertilizantes líquidos producidos en los laboratorios de producción semiindustrial adscritos al Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI).

Entre las estrategias asumidas por el Estado Venezolano para desarrollar una agricultura libre de agrotóxicos y consolidar la plataforma biotecnológica se señalan:

1. Rango constitucional de la agricultura sustentable como base estratégica del desarrollo rural integral

(Artículo 305 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999).

2. Promulgación de leyes conducentes a facilitar los procesos agroecológicos, como la Ley de Salud Agrícola Integral-2008 (Artículos 48, 49,50).

3. Implantación de una plataforma biotecnológica conformada por una Red de 27 laboratorios de producción de bioinsumos a nivel semi-industrial, de los cuales están activados 15 de biocontroladores de plagas y enfermedades y 10 de biofertilizantes, con la finalidad de beneficiar una superficie aproximada de 500 000 ha año⁻¹ (25% del área agrícola nacional). Igualmente, se dispone de la Unidad de Producción Social de Bioinsumos Agrícolas adscrito al INIA, que permite fortalecer los laboratorios de investigación para avanzar en estas líneas y en el desarrollo de tecnologías.

A través de estas estrategias se favorecen las gestiones y el seguimiento de los procesos de investigación, producción, distribución, intercambio comercial y aplicación de los bioinsumos (biofertilizantes y biocontroladores) en los distintos agroecosistemas del país, lo cual contribuirá a que los conocimientos y biotecnologías generadas en los últimos años no sean minimizadas o excluidas del manejo integral de la fertilidad, bien sea, por empresas que impulsan el modelo capitalista de altos insumos o, a través de resistencias internas a cambios de paradigmas emergentes, tal como ocurrió en su momento con el bioproducto Nitrobac desarrollado exitosamente por el IVIC.

Es pertinente mencionar que los avances obtenidos a través del proyecto: Innovación Tecnológica en Biofertilizantes para Agrosistemas Venezolanos Sustentables (convenio Cuba-Venezuela), fue posible a través de la conformación de equipos interinstitucionales, donde destacan los trabajos del INIA Falcón y Lara, los cuales avanzan en los aislamientos, selección de cepas nativas de vida libre, simbióticas (*Rhizobium* y micorrizas) y producción artesanal de micorrizas, conjuntamente con cooperativas, comunidades agrícolas y acompañamiento técnico-científico del CENIAP, universidades: Universidad "Simón Rodríguez" (USR), Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos (IDECYTE), Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y Facultad de Agronomía de la Universidad Centro Occidental "Lisandro Alvarado" (UCLA).

En INIA Mérida se iniciaron aislamientos de cepas nativas luego de manejos agroecológicos de agroecosis-

temas de interés social, mientras que en INIA Trujillo, Yaracuy y Guárico se plantean proyectos para promover trabajos en biofertilizantes, pero se requiere fortalecer las infraestructuras, principalmente invernaderos y laboratorios para lograr avanzar más contundentemente en esta línea estratégica.

Se dispone en INIA Anzoátegui de un laboratorio de investigación en biofertilizantes, que actualmente adelantan trabajos en el marco del convenio con la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), el cual se realizan aislamientos y evaluación de *Rhizobium* nativos para leguminosas forrajeras, con el propósito de aplicar inóculos para la producción de Centrosema.

Asimismo, se aíslan y evalúan cepas nativas para soya, contrastando con inóculos comerciales y RECV. De esta manera, se avanza en la evaluación de sustratos orgánicos locales como soporte para los inoculantes.

CONCLUSIONES

- El INIA a través de cinco décadas de investigación e innovación ha puesto al servicio del país un conjunto de herramientas de diagnóstico para racionalizar el uso de fertilizantes y enmiendas.
- Se demuestran las técnicas relacionadas con las formas y épocas de aplicación de estos insumos para mejorar su eficiencia de uso e incrementar la capacidad productiva de los suelos.
- En el marco de la agricultura sustentable, el INIA trabaja en la incorporación de fuentes biológicas y orgánicas para sustituir en forma total o parcial los requerimientos de abonos industriales en los cultivos de importancia para la alimentación animal y humana, a fin de trascender hacia una agricultura más sana desde el punto de vista Holístico (ambiental y humano).
- La disponibilidad de las tecnologías generadas por el INIA o por otras instituciones de ciencia y tecnología no fueron suficientes para evitar la expansión del modelo productivista de altos insumos, debido fundamentalmente al marco normativo comunicacional, económico y tecnológico que se utilizó para el manejo de los recursos naturales, lo cual influyó en los modos de producción y consumo de la sociedad.
- Es necesario una actuación concertada de los sistemas de ciencia, tecnología, producción y educación para

transformar las bases conceptuales de dicho modelo, y la lógica capitalista que lo domina, para darle paso al Modelo Agrario Socialista donde la producción de alimentos sanos, la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, la salud ambiental y de la familia, sean garantizados junto a la seguridad y la soberanía alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonzo, N., M. España, M. López y E. Cabrera. 2005. Fraccionamiento del N del fertilizante en el cultivo de arroz, bajo condiciones de secano en un suelo ácido del estado Guárico. **In:** Memoria XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay-Venezuela. 4 p.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19-31.
- Arrieché, E. and R. Ramírez. 1997. Soil test for available zinc in acid soil of Venezuela. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 28(17-18):1 471-1 480.
- Avilán, L. y F. Leal. 1990. Suelos fertilizantes y encalado para frutales del trópico. Editorial America, Caracas. 459 p.
- Ayala, L. 1974. Evaluación preliminar de la eficiencia de *Rhizobium* de maní aislado de cuatro zonas geográficas de Venezuela. *Agronomía Trop.* 24(5):353-363.
- Ayala, L. 1977. Estudio de algunos aspectos de la fijación simbiótica de nitrógeno por el maní (*Arachis hypogaea*). III. Dinámica de la fijación y factores relacionados. *Agronomía Trop.* 27(5):549-565.
- Cabrera de Bisbal, E. 2002. Las técnicas isotópicas en la dinámica de nitrógeno en el continuo suelo-planta de agrosistemas en Venezuela. *Venesuelos.* 11(1-2):30-39.
- Carrero, L. 1985. Experiencia mundial sobre el uso de la solución extractora de Olsen para determinación de fósforo y potasio. FONAIAP-CENIAP-INIA. Generales. Maracay. Venezuela. 63 p.
- Carrero, L., J. Gilabert de Brito, T. R. González, I. López de Rojas, R. Pérez de Roberti, R. Ramírez y A. Sánchez. 1986. Recomendaciones generales para la fertilización de cultivos cereales. FONAIAP-CENIAP-INIA. Generales. Maracay. Venezuela. 52 p.
- Chirinos, A., J. Gilabert de Brito e I. López de Rojas. 1971. Características de fertilidad de algunos suelos venezolanos vistos a través de los resúmenes de análisis rutinarios. *Agronomía Trop.* 21(5):397-409.
- Delgado, R. 2002. Evaluación del crecimiento del maíz y absorción de nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(1):5-22.
- Delgado, R., R. Ramírez y S. Urquiaga. 2001. Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia de uso por el maíz. *Agronomía Trop.* 51(3):337-350.
- España, M., E. Cabrera de Bisbal y B. Rodríguez. 2000. Evaluación de la fijación biológica del nitrógeno de la soya en dos sistemas de labranza mediante la utilización de ¹⁵N. **In:** Peña Cabriales J.J. (Ed). La fijación biológica del nitrógeno en América Latina: El aporte de las técnicas isotópicas Irapuato, México. 120 p.
- España, M., B. Rodríguez, E. Cabrera de Bisbal y B. Cecanti. 2002. Actividades enzimáticas y contribución de los residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra Latinoamericana.* 20:81-86.
- España, M., E. Cabrera de Bisbal and M. López. 2006. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from venezuelan savannas using ¹⁵N. *Interciencia.* 31(3):197-201.
- Espinoza, Y. y R. Gutierrez. 2003. Variabilidad intraespecífica de *Azolla filiculoides*, colectadas en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 20:156-167.
- Espinoza, Y. y R. Gutierrez. 2006. Caracterización agronómica de accesiones de *Azolla* de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 23:135-150.
- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP-CENIAP). 1979. Proyecto "Servicio Nacional de Análisis de suelos y fertilidad". Publicación Miscelánea Nº 11, 22 p.
- Freites, Y. 2006. Acerca de como un instituto académico construyó una industria: el caso del IVIC y la planta de hemoderivados sanguíneos (1976-2000). *Espacios* 27(2).

- González, R., A. Chirinos, L. Avilán, R. Pérez, L. Vilain, F. Blanco y L. Marcovic. 1978. Informe sobre el proyecto "Evaluación de métodos de laboratorios para el análisis de fósforo y potasio disponible en el suelo". M.A.C. FONAIAP-CENIAP. IIAG. Sub-programa nacional de suelos. Maracay, Venezuela. 92 p.
- González, R., L. Ayala, J. Gilabert de Brito y A. Chirinos. 1981. Recomendaciones generales para la fertilización de cultivos en Venezuela. FONAIAP. 62 p.
- Houghton, R. A. and D. L. Skole. 1995. Carbon. **In:** Turner II, B. L. W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Mathews and W. B. Meyer (eds), *The Hearth as Transformed by Human Action*. Cambridge University Press. New York. 339- 408 pp.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-CENIAP). 2002. El duraznero en Venezuela. Maracay. 123 p. (Serie B. N° 4).
- López de Rojas, I. 1982. Requerimientos de cal en suelos de Venezuela. I. Correlación entre métodos químicos y el de incubación. *Agronomía Trop.* 32(1-6):125-145.
- López de Rojas, I. 1983. Requerimientos de cal de los suelos de Venezuela. II. Evaluación de métodos químicos a través de la respuesta del cultivo del algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Agronomía Trop.* 33(1-6):83-110.
- López de Rojas, I. y J. Comerma. 1985. Caracterización de los suelos ácidos de Venezuela basada en algunas propiedades físicas y químicas. *Agronomía Trop.* 35:83-102.
- López de Rojas, I. 1986. Efecto de diferentes fuentes de enmiendas sobre la reacción del suelo y respuesta del cultivo del sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) *Agronomía Trop.* 36(1-3):129-141.
- López de Rojas, I. 1987. Criterios para la recomendación de cal en frutales perennes. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay. 9 p. (Serie D N° 11).
- López de Rojas, I. y A. Sánchez. 1990. Criterios para recomendaciones de cal en suelos ácidos de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Maracay. 32 p. (Serie B N° 8).
- López de Rojas, I. y M. Silva de Zacarías. 2002. Sistema de experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Maracay. 47 p. (Serie D, N° 3).
- López de Rojas, I., M. López y N. Alfonso. 1994. Efecto de dos fuentes de fósforo sobre el rendimiento del pasto *Andropogon gayanus* en cuatro suelos con propiedades físicas y químicas variables. *Agronomía Trop.* 44(1):67-80.
- López de Rojas, I., N. Alfonso, N. Gómez, M. Navas y P. Yáñez. 2008. Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Maracay. 400 p. (Serie B N° 18).
- López, M., N. Alfonso, A. Florentino y M. Pérez. 2006a. Dinámica del fósforo y reducción del aluminio intercambiable en un suelo Ultisol sometido a manejo conservacionista. *Interciencia* 31(4):293-299.
- López, M., A. Bolívar, M. Salas y M. De Gouveia. 2006b. Prácticas conservacionistas y rotación con quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Alternativas sustentables para los agroecosistemas de sabanas de Guárico, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(1):75-109.
- López, M., I. López de Rojas, M. España, A. Izquierdo y L. Herrera. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao* L. *Agronomía Trop.* 57(1):31-43.
- López, M., R. Martínez-Viera, M. Brossard Fabrè, A. Bolívar, N. Alfonso, A. Alba y H. Pereira Abreo. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Trop.* 58(4):391-401.
- López, M., B. Rodríguez y A. Bolívar. 2009. Estrategias del estado venezolano para consolidar el uso de biofertilizantes en la agricultura. **In:** Memorias del XVIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Santa Bárbara del Zulia, UNESUR.
- López, M. 2010. Manejo agroecológico del sistema sorgo-frijol. Efecto sobre la fertilidad del suelo y microorganismos con potencial para biofertilizar agroecosistemas venezolanos. Tesis de doctorado. Postgrado en Ciencia del Suelo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. 210 p.

- Martínez-Viera, R., M. López, M. Brossard, F. Tejada, H. Pereira, C. Parra, J. Rodríguez y A. Alba. 2006. Procedimientos para el estudio y fabricación de Biofertilizantes Bacterianos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Maracay. Venezuela. 81 p. (Serie B N° 11).
- Pereira, P., G. Piñero, M. Rodríguez y J. Valladares. 1986. Respuesta de la plantilla de caña de azúcar a la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio en la región centro occidental. *Caña de azúcar*. 4(2):85-123.
- Pérez, M. J., B. Truong y J. C. Fardeau. 1995. Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas. *Agronomía Trop.* 45(4):483-505.
- Pérez, R., J. Gilabert de Brito y G. Palma. 1979. Interpretación de análisis de suelos mediante ensayos de invernadero. I. Suelos de la zona andina del estado Lara. *Agronomía Trop.* 29(1):31-58.
- Quiñones, A. 1991. Características de fertilidad de los suelos venezolanos vistas a través de los resúmenes de análisis rutinarios IV. Disponibilidad de micronutrientes (cobre, zinc, hierro y manganeso) en la región oriental. FONAIAP-Estación Experimental de Anzoátegui. 24 p. (Serie C. N° 35).
- Ramírez, R., T. Rodríguez, A. Millán, C. Hernández, E. Guzmán, J. Tenías y A. Chirinos. 1987. Relación del fósforo disponible del suelo con el requerimiento y respuesta del sorgo a la fertilización con este elemento. *Agronomía Trop.* 37(1-3):85-98.
- Ramírez, R., M. Beg, O. Colmenares, E. Meléndez, P. Marbal, F. Blanco, E. Guzmán, C. Hernández y A. Chirinos. 1988. Relación entre la respuesta del maíz a la aplicación de fósforo y el P asimilable del suelo. *Agronomía Trop.* 38(1-3):5-20.
- Ramírez, R., J. Tenías, L. C. de Silva, T. Rodríguez y A. Chirinos. 1989a. Calibración de cuatro métodos de análisis de suelo con la respuesta del maní a la fertilización con fósforo. *Agronomía Trop.* 39(1-3):5-21.
- Ramírez, R., L. C. de Silva, J. Tenías, T. Rodríguez y A. Chirinos. 1989b. Relación entre el análisis de suelo y el requerimiento de fertilizante potásico por el maní. *Agronomía Trop.* 39 (1-3):63-78.
- Ramírez, R. y D. Morales. 1989. Comparación de cuatro métodos de análisis del fósforo del suelo para estimar el requerimiento de P_2O_5 por el tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agronomía Trop.* 39(1-3):79-94.
- Ramírez, R. 1989a. Estimación del requerimiento del fertilizante potásico por la yuca con base en el análisis de suelo. *Agronomía Trop.* 39(1-3):163-177.
- Ramírez, R. 1989b. Relación entre el fósforo del suelo con la respuesta de la yuca a la fertilización fosfatada. *Agronomía Trop.* 39:115-130.
- Ramírez, R., T. Rodríguez, A. Millán, C. Hernández, E. Guzmán y J. Tenías. 1989c. Relación entre el requerimiento de fertilizante potásico por el sorgo y el potasio asimilable del suelo. *Agronomía Trop.* 39(1-3):179-193.
- Ramírez, R. and M. López. 2000. Agronomy effectiveness of phosphate rock and superphosphate for aluminum-tolerant and non-tolerant sorghum cultivars. *Communication Soil Science and Plant Analysis* 31(9-10):1 169-1 178.
- Ramírez, R., D. Morales y E. Álvarez. 1990. Calibración de cuatro métodos de análisis del fósforo del suelo para predecir la respuesta del melón (*Cucumis melo*) a la fertilización fosfatada. *Agronomía Trop.* 40(1-3):125-138.
- Ramírez, R., D. Morales y E. Álvarez. 1991. Uso eficiente del fósforo y potasio por el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Agronomía Trop.* 41(1-2):43-54.
- Rodríguez, B. and R. Ramírez. 2005. A soil test for determining available copper in acidic soil of Venezuela. *Interciencia*. 30(6):361-364.
- Rodríguez, T. y J. Tenías. 1983. Frecuencia del encalado y su efecto sobre el rendimiento en maní en un suelo de los llanos orientales. *Agronomía Trop.* 33(1-6):243-272.
- Savostin, P. 1950. La eficiencia de la inoculación artificial de las plantas leguminosas en Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 57 p.
- Toro, M., I. Bazó y M. López. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento

vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Trop.* 58(3):215-221.

Torres, R., A. Florentino y M. López. 2005. Pérdidas de suelo y nitrógeno por escorrentía en un Ultisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas-Guárico. *Agronomía Trop.* 55(4):475-496.

Williams, P. y M. Sicardi de M. 1982. Nitrobac, Inoculante para leguminosas. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Centro de Microbiología y Biología Celular (IVIC). Caracas-Venezuela. 19 p.