



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

COMPENDIO DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA DE SUELOS DEL IDIAP

*Estudios de Suelos Ultisoles y Alfisoles
Realizados en las Estaciones Experimentales
de Calabacito, Guarumal y Río Hato*



**Benjamín Name, M.Sc.
José Villarreal, M.Sc.**

PUBLICACIÓN CONMEMORATIVA DEL CENTENARIO
DE LA REPUBLICA DE PANAMÁ

PANAMÁ, 2004

Name, Benjamín.

Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP: Estudio de suelos ultisoles y alfisoles realizados en las Estaciones Experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato / Benjamín Name, José Villarreal. -Panamá, Panamá. : Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), 2004. 229 p.

*I. Suelos. 2. Acrisoles. 3. Luvisoles. I. Villarreal, José.
II. Panamá. III. Título*



**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMA**

COMPENDIO DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA DE SUELOS DEL IDIAP

**Estudio de Suelos Ultisoles y Alfisoles
Realizados en las Estaciones Experimentales de
Calabacito, Guarumal y Río Hato**

**Benjamín Name, M.Sc.
José Villarreal, M.Sc.**

**PUBLICACIÓN CONMEMORATIVA DEL CENTENARIO DE
LA REPUBLICA DE PANAMÁ**

Panamá, 2004

Junta Directiva

Licda. Lynette M. Stanziola A.
Ministra de Desarrollo Agropecuario
Presidenta

Licdo. Arquímedes Cedeño
Gerente General del Banco
de Desarrollo Agropecuario
Miembro

Dr. Juan Miguel Osorio
Decano de la Facultad de
Ciencias Agropecuarias
Miembro

Dr. David Berroa Pinzón
Director General del IDIAP
Secretario

Cuerpo Directivo

Dr. David Berroa Pinzón
Director General

Dr. Jaime Moscoso Ponce
Sub-Director General

Ing. Anais Vargas
Directora Nacional de Centros de Investigación

Dr. Reynaldo De Armas
Director Nacional de Investigación Pecuaria

Ing. José A. Yau
Director Nacional de Investigación Agrícola

Licdo. Iván Samaniego
Director Nacional de Administración y Finanzas

Ing. Franklin Becerra
Director Nacional de
Planificación y Socioeconomía

Ing. Luis Pinto
Director Nacional de Productos y Servicios

Dr. Vicente Beros
Director del CIA – Occidental

Ing. Virginia de Rodríguez
Directora del CIA – Central

Ing. Gumerindo Frías
Director del CIA – Oriental

Ing. David Urriola
Director Encargado del CIA - Azuero

Ing. Luis A. Ramos
Director del CIA - Recursos Genéticos

Ing. Arturo Fuentes
Director del CIA - Trópico Húmedo

CONTENIDO	III
INTRODUCCIÓN	IV
AGRADECIMIENTO	VI
PRESENTACIÓN	VII
DINÁMICA DE POTASIO EN UN ULTISOL DE PANAMÁ. RESPUESTA AL CULTIVO DE ARROZ	8
DINÁMICA DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN ARROZ BAJO RIEGO EN SUELOS ULTISOLES	32
EFFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ EN SUELOS ULTISOLES Y ALFISOLES	64
EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LA ROCA FOSFÓRICA DE CAROLINA DEL NORTE EN UN ULTISOL, EN UNA ROTACIÓN ARROZ – FRIJOL	80
DINÁMICA DE FÓSFORO EN UN ULTISOL DE PANAMÁ RESPUESTA AL CULTIVO DE MAÍZ	100
DINÁMICA DE POTASIO EN UN ULTISOL DE PANAMÁ RESPUESTA AL CULTIVO DE MAÍZ	116
ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN EN TRES ESTACIONES EXPERIMENTALES UBICADAS EN EL BOSQUE TROPICAL HÚMEDO Y BOSQUE TROPICAL SECO DE PANAMÁ	135
DINÁMICA DEL SUELO EN PLANTACIONES DE <i>Acacia mangium</i> (Wild) ASOCIADAS CON <i>Brachiaria humidicola</i> (CIAT 679) EN UN ULTISOL DE PANAMÁ	157
DINÁMICA BIOLÓGICA Y DE NUTRIMENTOS EN UN ULTISOL CON DIFERENTES COBERTURA VEGETAL	170
FRACCIONES DE FÓSFORO ORGÁNICO EN SUELOS DE PANAMÁ	189

INTRODUCCIÓN

Desde 1976 se ha generado información sobre los suelos Ultisoles de Panamá, con el objetivo central de incorporarlos de manera plena a la producción agropecuaria nacional. Para ello, se coordinaron acciones a nivel de laboratorio de suelos, estudios en casa de vegetación y campo que permitieran conocer sobre sus características físicas químicas, biológicas y mineralógicas.

Este primer volumen, contiene información de los resultados más relevantes del programa de suelos, que fueron analizados en el laboratorio de suelos del IDIAP, lo que nos permitió sugerir algunas recomendaciones mucho más precisas sobre fertilidad, tipos y dosis de fertilizantes, así como enmiendas, basadas en métodos matemáticos de leyes de probabilidades estadísticas.

La importancia de este tipo de suelo radica en que representan, a nivel del trópico latinoamericano, el 20% con una extensión estimada en 320 millones de hectáreas. La Comisión de Reforma Agraria calculó que estos suelos cubren más del 40% del territorio nacional.

A la fecha, se han realizado trabajos en arroz, maíz, pastos, piña, sorgo, agroforestería, el manejo y comportamiento del fósforo en el suelo, el uso de la cal, el manejo del potasio, y el uso del nitrógeno, entre otros. Igualmente un trabajo de suma importancia relativo al cultivo del arroz es la determinación del comportamiento de la dinámica de nutrimentos en este cultivo.

Entre los logros plasmados en este documento de suelos Ultisoles tenemos:

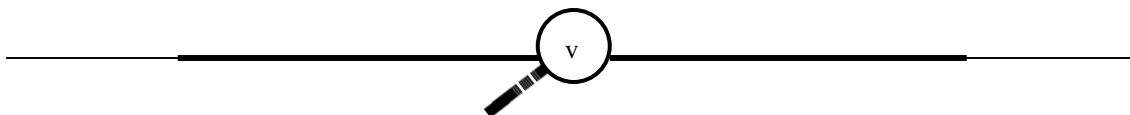
- *El nivel crítico de fósforo determinado para el arroz variedad P-1048, en suelos Ultisoles de Calabacito, es del orden de 2.3 mg l^{-1} .*
- *El nivel crítico de fósforo determinado para el frijol Vigna variedad R-H 209, en suelos Ultisoles de Calabacito, es del orden de 2.9 mg l^{-1} .*
- *Los contenidos críticos de potasio en el suelo y foliares para la variedad P-1048 son 37 mg kg^{-1} y 1.1%, respectivamente.*
- *En el cultivo del arroz los contenidos de nitrógeno y fósforo disminuyen en el follaje, en la medida que la planta cumple su ciclo vegetativo. Otros como el potasio mantiene cantidades altas en el follaje durante todo el ciclo del cultivo.*
- *Los resultados del experimento, como primera aproximación, evidencian que una concentración de 2.8 mg l^{-1} de Si disponible en el suelo es suficiente para garantizar una buena producción de arroz en suelos altamente intemperizados.*

- *El cultivo de maíz responde linealmente, siempre y cuando el análisis de suelo para K extraído con Mehlich – 1 sea menor de $0.1 \text{ cmol(+)kg}^{-1}$ de suelo. Sobre este valor el rendimiento permanece estable a 80% del máximo.*
- *A pesar de mantener las mismas tendencias en el comportamiento de las épocas secas y de humedad las diferencias marcadas en cantidad de días de lluvias y de cantidad de agua en mm de lluvia nos obligan a diferenciar zonas, para la selección de épocas de siembras, selección de cultivos y el uso del seguro agropecuario.*
- *Al evaluarse cambios en el suelo, de la asociación Acacia - Brachiaria en parámetros como el contenido de organismos del suelo, el contenido de materia orgánica, peso de raíces, los parámetros hídricos, el color del suelo y el arreglo estructural, se pueden detectar mejoras en la fertilidad natural del suelo.*
- *Tomando el conjunto de todas las muestras de suelos analizadas, el fósforo orgánico lábil se correlacionó positivamente con el fósforo total y el fósforo lábil total, indicando la importante contribución de la fracción orgánica en los suelos tropicales.*
- *Existe una correlación entre la actividad y biomasa microbiana sugiriendo que son altamente dependientes. La asociación Bh + Ap, aporta elevadas concentraciones de nutrimentos al suelo, favorece la recuperación de este y la vida microbiana. Su fácil adaptabilidad a los suelos ácidos degradados resulta beneficiosa para su recuperación.*
- *Los niveles de fijación de fósforo, potasio y elementos menores son más bajos en aquellos suelos que presentan mayor acumulación de materia orgánica y mayor biomasa microbiana (asociaciones Bh + Am cortadas y Bh + Ap + Am)*

La información generada para caracterizar este tipo de suelo y para determinar tipos de respuestas de diversos cultivos puede ser extrapolada a zonas con las mismas condiciones de fertilidad dentro y fuera del país. Siempre y cuando medie una caracterización previa por medio del análisis de suelo o la caracterización taxonómica.

En estos momentos en que la apertura de mercados nos somete a una competencia desleal por parte de economías subsidiadas es que se debe buscar la eficiencia y eficacia aplicando tecnologías en los diversos cultivos y suelos del país.

Este documento representa un aporte para que técnicos y productores cuenten con una herramienta de aplicación práctica, a fin de maximizar el rendimiento de los suelos Ultisoles.



AGRADECIMIENTO

La generación de información científica agrícola y su posterior documentación en este tipo de presentación sólo se logra, con la integración de equipos de trabajo que participen en las etapas de planificación, ejecución en campo y análisis de laboratorio de los ensayos experimentales. Por tal razón, queremos resaltar, la participación destacada del personal de apoyo de campo de la Estación Experimental de Calabacito por su cuidadosa y crítica participación en la instalación, toma de datos y cosecha de los ensayos; muy especialmente, al Técnico Enrique Márquez por su invaluable y leal apoyo.

A todo el personal del Laboratorio de Suelos por la excelente labor realizada.

A la Universidad del Estado de Carolina del Norte y al Instituto Internacional del Fosfato y la Potasa por su apoyo financiero, para la realización de algunos ensayos en los cultivos de arroz y maíz, y por su constante colaboración, consultas y asesoría técnica.

A las señoras Catalina Maure y Ema de López por la transcripción de los trabajos y su constante y valioso apoyo secretarial.

A los revisores, Ing. Carmen Bieberach, M.Sc.; Ing. José Aguilar, M.Sc.; Dr. Ismael Camargo; Ing. Rolando Sánchez Díez e Ing. Maritza Domínguez, todos ellos compañeros investigadores, quienes con su valioso apoyo, ideas y tiempo han enriquecido el trabajo.

Al IDIAP por brindarnos las condiciones de trabajo que nos permitieron realizar las investigaciones, con el fin de contribuir con el desarrollo de tecnologías que benefician a los productores.

A los productores, razón principal de nuestra investigación porque solo con la aplicación de tecnologías adecuadas a sus áreas, tendremos una agricultura rentable, eficiente y eficaz.

PRESENTACIÓN

Como profesionales de las Ciencias Agrícolas, nos sentimos satisfechos y orgullosos de presentar al mundo agrícola nacional e internacional, este compendio de informaciones científicas pero de carácter práctico, generadas bajo nuestras condiciones por destacados profesionales panameños, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

Este compendio representa los resultados del esfuerzo que desde 1976, realiza un equipo de investigadores nacionales comprometidos con el desarrollo tecnológico del país, encabezados por el M.Sc. Benjamín Name, profesional con 27 años dedicados a la investigación edafológica con énfasis en los Ultisoles que representan el 20% de los suelos tropicales, constituyéndose en la nueva frontera agrícola, reto que debemos enfrentar con eficiencia utilizando la tecnología generada en el pasado cuarto de siglo, y que hoy ponemos a su disposición en este volumen.

Cuando leemos en detalle el contenido científico de la presente obra, el lector se encuentra, con los más variados y consistentes trabajos realizados bajo diversas condiciones de campo, de laboratorio, casa de vegetación, en diferentes cultivos, sobre temas relacionados con el manejo y comportamiento del nitrógeno, fósforo y el potasio, uso de la cal y dinámica de micro y macro nutrientes en el arroz en suelos Ultisoles.

Esta publicación es inédita en Panamá y viene a llenar un gran vacío existente en materia de manejo y producción en suelos Ultisoles, tanto en nuestro terruño patrio como en el extranjero. Constituye una obra de lectura obligatoria para los técnicos del sector agropecuario público y privado, para los investigadores, los docentes y los estudiantes universitarios interesados en el tema.

Con la publicación de este trabajo, se demuestra el permanente interés de este equipo de profesionales panameños por contribuir al desarrollo agrícola y económico de las regiones marginales donde predominan los suelos Ultisoles. Por ello, felicitamos y aplaudimos la feliz iniciativa de este equipo de investigadores de dar a la luz este valioso documento, como un aporte invaluable a la conmemoración de nuestro primer centenario de vida republicana.

Río Hato, 05 de noviembre de 2003

Ismael Camargo Buitrago, Ph.D.
Coordinador del proyecto de arroz del IDIAP
Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá

DINAMICA DE POTASIO EN UN ULTISOL DE PANAMA RESPUESTA AL CULTIVO DE ARROZ

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Durante siete ciclos consecutivos de cultivo (5 de maíz y 2 de arroz), en un suelo Typic Plinthudult de Calabacito, provincia de Veraguas, República de Panamá, se estableció un experimento de niveles de potasio, extracción de residuos y aplicación de potasio en banda. Se indujeron niveles artificiales de potasio en las parcelas y se monitorearon mediante análisis de suelo, con la solución extractora Mehlich 1. Se determinó que el nivel crítico de potasio en el suelo, para el cultivo de la variedad de arroz Panamá-1048 fue de 37 mg l^{-1} , y que el nivel de potasio en el follaje a cosecha fue 1.1%. Se comprobó que la incorporación del residuo de cosecha es de vital importancia en la fertilización potásica. Los tratamientos con extracción de residuos de cosecha y sin aplicación de potasio en banda alcanzaron los períodos a floración más largos, indicando la necesidad de la fertilización potásica. Igualmente, la altura de las plantas se redujo cuando no se aplicó potasio en banda. En dichos tratamientos los rendimientos se redujeron a un rango ubicado entre 0 y 775 kg ha^{-1} . Los resultados del presente trabajo permitieron ajustar las recomendaciones de fertilizantes potásicos del Laboratorio de Suelos del IDIAP, para el cultivo del arroz.

PALABRAS CLAVES: *Oryza sativa*, arroz, potasio, residuo de cosecha, aplicación de abonos, rendimientos, variedades, Panamá

INTRODUCCIÓN

El potasio asume cada vez mayor importancia, a medida que la agricultura evoluciona de la agricultura tradicional de bajos insumos, con bajos rendimientos, a una agricultura de altos insumos, en la cual el suelo es intensivamente utilizado con el fin de obtener altos rendimientos. En esta condición, la extracción de potasio por los cultivos es alta y el suelo, especialmente los Ultisoles, por tener reservas limitadas de potasio no es capaz de reponerlo por sí mismo, produciéndose la necesidad de reposición del potasio utilizado por el cultivo, por medio del abonamiento potásico.

En Panamá se estima que los Ultisoles ocupan una superficie que sobrepasa el 40% del territorio nacional (Comisión de Reforma Agraria, 1970). A nivel del trópico latinoamericano, los Ultisoles se encuentran en más del 20% de la superficie, es decir, en más de 320 millones de hectáreas. Estos suelos se caracterizan por ser deficientes en macro y micro elementos y algunas veces, por toxicidad de aluminio (Sánchez y Salinas, 1983). Sánchez y Cochran (1980), indicaron que el 54% de las áreas dominadas por suelos ácidos de la América Tropical (800 millones de hectáreas) son deficientes en potasio. La investigación en Ultisoles de Panamá ha llegado a las mismas conclusiones, demostrando que en éstos suelos hay respuesta a la aplicación de potasio (Name y Batista, 1979).

El potasio extraíble es generalmente la principal fuente de este elemento para los cultivos en los suelos tropicales ácidos. Los niveles críticos de potasio en el suelo para el cultivo de maíz, en un latosol del Brasil, fueron de $0.13 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo, extraído con la solución doble ácida de Carolina del Norte. En cambio, para un *Typic Paleudult* de Perú, el nivel crítico era de $0.20 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo, con la solución modificada de Olsen (Ritchey, 1982). En estos suelos, generalmente no hay fijación y la lixiviación ocurre con aplicaciones de potasio mayores de 250 kg ha^{-1} en la forma de KCl (Ritchey, 1982). Se estima que el efecto residual en estos suelos es relativamente corto debido a la poca capacidad de retención del potasio en el perfil (Souza y col., 1979, citado por Silva y Ritchey, 1982).

El efecto residual de potasio está asociado al manejo del abonamiento potásico, principalmente, con la incorporación de los residuos del cultivo (Silva y Ritchey, 1982). Con la aplicación inicial de K_2O a razón de 120 kg ha^{-1} , los residuos del cultivo de maíz retornan al suelo un equivalente de 41.5 kg ha^{-1} de este nutrimento (Silva y Ritchey, 1982). Los mismos autores, con aplicaciones de $150 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ y con la incorporación anual de residuos, obtuvieron resultados semejantes a la aplicación de $600 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$ aplicados al voleo antes del primer cultivo.

Villachica (1978), en suelos de la amazonía peruana con el extractor de Olsen-EDTA modificado, encontró un nivel crítico de $0.2 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo, tal como

había sido sugerido por Hunter (1975). Boyer (1972), afirmó que el nivel mínimo de potasio intercambiable estaba próximo a $0.10 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo, pero que podría variar de 0.07 a $0.20 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$, dependiendo del tipo de suelo y de la planta en estudio. Sánchez y col. (1992), establecieron un nivel crítico tentativo de $0.10 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para el cultivo del arroz en suelos ultisoles de Calabacito, con resultados promedio de dos años. Cordero (1993), trabajando en suelos de Costa Rica, reportó que para el arroz el nivel crítico medio se encuentra entre $0.11 - 0.2 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ para la variedad CR1821, la cual es considerada exigente al potasio.

El suelo en Calabacito está compuesto principalmente por arcillas del tipo caolinitico, lo que indica que no posee potasio en su estructura laminar. El potasio que se encuentra proviene básicamente de cantidades pequeñas de vermiculita de carga baja existentes en el suelo. Según Mielniczuk (1981), de los diversos compuestos del suelo envueltos en el equilibrio con potasio respecto a la fijación, se tiene a la materia orgánica que siempre mantendrá el potasio en forma intercambiable. La vermiculita de carga baja sólo fijará el potasio en seco, pues en estado húmedo estaría en forma intercambiable.

El nivel crítico de un análisis de suelo, puede ser definido como el nivel bajo el cual disminuye el rendimiento. La amplitud del potasio soluble encontrado por López (1984), en oxisoles y ultisoles fue de 0.02 a $0.81 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de K, considerándose los suelos con menos de $0.15 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de K, como deficientes. Vasconcellos (1982) de manera general reporta que el nivel crítico del potasio del suelo usando la solución extractora de Carolina del Norte se encuentra entre 40 y 60 mgkg^{-1} ; por lo que, recomienda como abonamiento medio de 40 a 60 kg ha^{-1} de K_2O .

El potasio como factor limitante, su dinámica en el suelo y el manejo del residuo, han sido poco estudiados en los ultisoles del trópico húmedo, por lo cual se diseñó el presente ensayo con los objetivos de:

Evaluar la respuesta del cultivo de arroz a niveles de potasio del suelo, en la secuencia de cultivo maíz – arroz.

1. Evaluar los efectos de los residuos de cosecha en la dinámica del potasio.
2. Evaluar el efecto residual del potasio aplicado.
3. Determinar el nivel crítico del potasio en estos suelos para el cultivo de arroz.

MATERIALES Y METODOS

Localización, Suelos y Clima

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Calabacito, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, localizada a los $80^{\circ}15'$ de latitud norte y $81^{\circ}5'$ de longitud oeste, a una elevación de 100 msnm, con una precipitación y temperatura promedio de 2500 mm y 27°C , respectivamente. El período de lluvia

está comprendido entre los meses de mayo a diciembre. El sitio experimental se ubicó en el área del ensayo de dinámica de potasio en maíz iniciado en 1987.

El suelo es un Typic Plinthudult, fino, mezclado isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio catiónico ($14 \text{ cmol}(+) \text{kg}^{-1}$, promedio del perfil). El pH del perfil es ácido. El contenido de bases cambiables es muy bajo, ya que en el horizonte Ap ocupa sólo el 32% de la CIC; mientras que, en los horizontes más profundos oscila entre 1 y 6%. En cuanto a las características mineralógicas en la fracción arcilla domina la caolinita y aparecen en pequeñas cantidades vermiculita, goetita y gibsita. Esto explica la baja CIC del suelo y el estado avanzado de intemperismo que ha sufrido (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas del suelo de Calabacito, Veraguas, Panamá.

Horizonte	Prof.	C. org	pH			Bases Cambiables				
			NaF	H ₂ O	Ca	Mg	K	Suma bases	Al	CIC
		%						$\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$		
Ap	0-15	1.7	4.4	4.8	5.1	0.4	0.2	5.7	0.8	17.9
Bt 1	15-26	1.0	3.8	4.8	0.8	0.1	–	0.9	4.4	15.7
Bt 2	26-43	0.6	3.9	5.1	0.2	Tr	–	0.2	4.0	13.0
Bt 3	43-60	0.3	3.9	5.2	0.5	Tr	–	0.5	3.6	12.6
Br 1	60-85	0.2	3.8	5.1	0.1	Tr	–	0.1	4.3	12.6
Br 2	85-	0.2	3.8	5.1	0.2	Tr	–	0.2	5.3	13.8

Manejo del experimento

El ensayo se realizó bajo el concepto de altos insumos, en donde se utilizó la tecnología recomendada por el IDIAP, considerada la mejor disponible en el área. La preparación del suelo, para cada ciclo de cultivo, se realizó con equipo agrícola y la siembra de forma manual, para controlar la densidad. Los requerimientos de nutrimentos en el suelo para los cultivos se optimizaron, en 1987, para los trabajos experimentales con maíz, de acuerdo al análisis de suelo, tal como lo muestra el Cuadro 2 (Name y col. 1991).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos originales (1987).

Tratamiento	Dosis de K	Cal	S	Mo	Zn	B	Manejo de residuo
	kg ha ⁻¹	Ton ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹				
1	0	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
2	42	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
3	84	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
4	126	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
5	168	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
6	210	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
7	0	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
8	126	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
9	42	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
10	42 ¹	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado

Subparcela (a partir de 1990)Se aplicó a la mitad de cada parcela 42 kg ha⁻¹ de K¹K aplicado en banda a cada cultivo

El experimento consistió originalmente de 10 tratamientos en los cuales variaba el potasio y el manejo del residuo. El tamaño de parcela fue de 9 m de ancho por 10 m de largo, con separación entre parcelas de 1 m y entre repeticiones de 1.5 m, para un total de 4,347 m² de área de ensayo.

A partir de 1990 las parcelas se subdividieron y a la mitad se le aplicó 42 kg ha⁻¹ de potasio en banda, transformando el ensayo en parcelas subdivididas. La fuente de potasio fue el cloruro de potasio (KCl) y se aplicó en bandas los dos ciclos del cultivo de arroz. Para la parcela efectiva se utilizaron los surcos centrales de los suelos, haciendo un área efectiva de 6 m². La variedad de arroz sembrada fue la Panamá 1048 (P-1048), a razón de 137 kg ha⁻¹.

Los tratamientos originales, en el año 1992, se mantuvieron en las mismas parcelas para el cultivo de arroz, a las cuales se le dio seguimiento por medio de análisis de suelos, extracción de residuos y los diferentes parámetros determinados a los cultivos.

El nitrógeno se aplicó para cada cultivo fraccionado a razón de 1/3 a la siembra, 1/3 a los 30 días, y 1/3 a los 60 días después de la siembra, totalizando 110 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El P se aplicó a razón de 66 kg ha⁻¹ a la siembra del cultivo. En 1992 y 1993 se realizaron muestreos de suelos antes y después de cada ciclo de cultivo, para evaluar la dinámica del potasio y observar la evolución de la fertilidad del suelo. Los análisis se realizaron utilizando la solución extractora de Mehlich 1 para fósforo, potasio y micro nutrientes, y KCl 1 N para calcio, magnesio y aluminio.

Los tratamientos, inicialmente, fueron dispuestos en el campo siguiendo un modelo estadístico de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los datos se procesaron por análisis de varianza, usando el paquete de análisis estadístico SAS.

Interpretación de Análisis Estadísticos

Los resultados de los análisis de varianza ejecutados por medio de procedimientos de modelos lineales generales, se presentan en el Cuadro 3. Se analizó la probabilidad de que los tratamientos planteados en 1987 y el potasio aplicado en banda anualmente, afectarían las variables dependientes (rendimiento de grano ha^{-1} , producción de biomasa/parcela, días a floración, altura de la planta, contenido de potasio en la hoja, contenido de potasio en el suelo, contenido de potasio en el grano).

RESULTADOS Y DISCUSION

Clima

Para el año de 1993, la precipitación y distribución de las lluvias fue satisfactoria contribuyendo a la obtención de buenos datos y rendimientos (Figura 1).

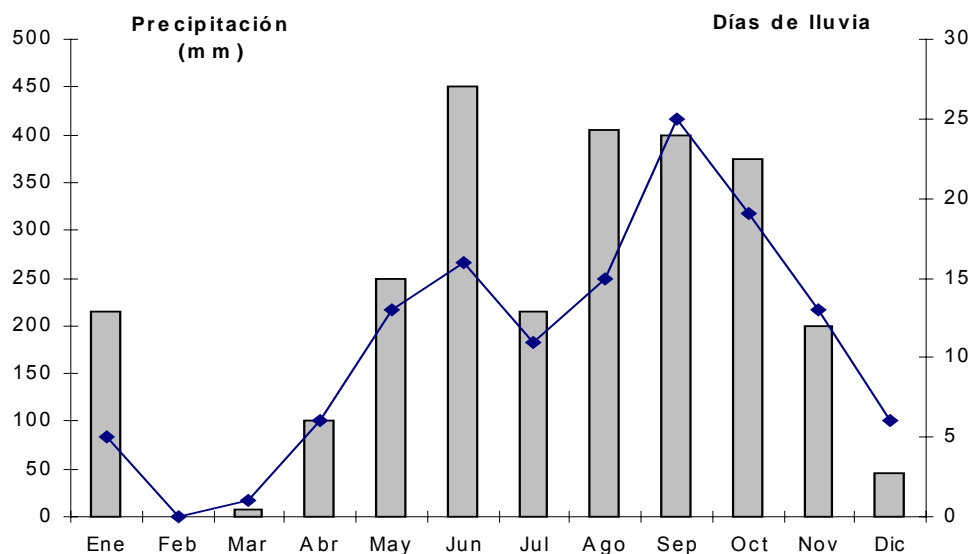


Figura 1. Precipitación mensual promedio. Estación Experimental de Calabacito. 1993

El rendimiento de grano se vio afectado significativamente ($P < 0.0001$) por el potasio aplicado en banda anualmente y por los tratamientos, especialmente aquellos con extracción de residuo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de F de las variables estudiadas en el Ensayo de dinámica de potasio en arroz. Calabacito, 1993.

Fuente de variación	Rend. Grano	Biomasa	Días a flor	Altura Planta	Potasio en Hoja	Potasio muestreo previo a la siembra	Potasio muestreo a cosecha	Potasio en grano
Trat.	.0001	.0031	-	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0097
K banda	.0001	.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V.	21.95	16.7	2.81	7.12	28.9	21.8	25.0	5.4
R ²	0.93	0.88	0.87	0.93	0.87	0.88	0.89	0.95

En el Cuadro 4 se pueden separar tres grandes grupos, por efecto de los tratamientos originales, a través del rendimiento: uno, conformado por los tratamientos a los cuales se les extrajo el residuo anualmente, que sobresalen por sus bajos rendimientos; el tratamiento de 210 kg ha⁻¹ de potasio aplicado al inicio del experimento en 1987, que destaca por presentar un rendimiento mayor de 4000 kg ha⁻¹ de grano; y un tercero formado por los demás tratamientos con rendimientos intermedios, entre 3300 y 3700 kg ha⁻¹ de grano.

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos de potasio aplicados al voleo (en 1987) y en banda (anualmente), sobre el rendimiento de arroz.

Potasio (kg ha ⁻¹)	Rendimiento (promedio de 8 repeticiones)	
210	4144.4	a
42 **	3740.6	a b
168	3569.2	a b
84	3550.0	a b
0	3508.3	a b
42	3406.9	b
126	3362.5	b
42*	2161.9	c
0*	1754.4	c
126*	1688.3	c

LSD $P < 0.05$ – 692.54

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$) * Tratamiento sin residuo

** Aplicación anual en banda

El efecto del potasio aplicado anualmente se puede apreciar en el Cuadro 5, donde las dosis de 42 kg ha^{-1} de potasio produjeron rendimientos significativamente superiores a la no aplicación. El efecto de extracción del residuo, sumado a la no aplicación de potasio, redujo el rendimiento entre 0 y 775 kg ha^{-1} de grano en los tratamientos que no lo llevan (tratamientos 7, 8 y 9 del Cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto de la aplicación de potasio en banda sobre el rendimiento de arroz.

Dosis de K en banda (kg ha^{-1})	Rendimiento de grano (kg ha^{-1})*	
42	3877.4	a
0	2299.9	b

LSD $P < 0.05 = 309.7$

* promedio de 40 repeticiones

Cuadro 6. Efecto de tratamientos iniciales y nivel de potasio aplicado en banda sobre el rendimiento de grano de arroz.

Tratamiento	Nivel de Potasio (kg ha^{-1})	Rendimiento de grano (kg ha^{-1})**
1	0	3170
1	42	3847
2	0	2688
2	42	4126
3	0	2878
3	42	4222
4	0	2774
4	42	3951
5	0	3026
5	42	4113
6	0	3680
6	42	4609
7*	0	0
7*	42	3509
8*	0	506
8*	42	2871
9*	0	775
9*	42	3549
10	0	3503
10	42	3979

* Tratamientos con extracción de residuo anual

** promedio de 4 réplicas

El rendimiento de biomasa por parcela fue afectado prácticamente de la misma manera que el rendimiento de grano por los tratamientos y la aplicación de potasio en banda (Cuadros 7, 8 y 9). En la respuesta sobresale el efecto de la extracción del residuo y la no aplicación anual de potasio en banda, condiciones que afectan negativamente la producción de biomasa. Igualmente, sobresale el efecto residual del tratamiento 6 de 210 kg ha^{-1} aplicados en 1987, indicando el aporte de potasio que hacen los residuos de cosecha de los cultivos.

Los días a floración, de acuerdo al anova se ven afectados por el nivel de potasio en banda (Cuadro 3). Los tratamientos con extracción de residuos y sin potasio en banda, poseen los períodos a floración más largos de todos los tratamientos (Cuadros 10, 11 y 12), indicándonos el efecto positivo de la aplicación de potasio en la floración y de incorporación del residuo de cosecha.

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos sobre la producción de biomasa por parcela.

Tratamiento	Potasio aplicado al voleo en 1987 (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg parcela^{-1})**
6	210	18.4 a
10	42	17.1 a b
1	0	15.8 b c
3	84	15.3 b c
5	168	14.9 b c
9	42*	14.7 b c
2	42	14.6 b c d
4	126	14.2 b c d
7	0*	14.1 b c d
8	126*	12.0 d

LSD $P < 0.05 = 2.58$

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa $P > 0.05$

* tratamientos sin incorporación de residuos

** Promedio de 8 repeticiones

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de potasio en banda sobre el rendimiento de biomasa

Dosis de potasio en banda (kg ha^{-1})	Rendimiento de biomasa por parcela *
42	16.76 a
0	13.46 b

LSD $P < 0.05 = 1.16$

* Promedio de 40 repeticiones

Cuadro 9. Efecto de los tratamientos y nivel de potasio en la producción de biomasa

Tratamiento	Nivel de Potasio (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de biomasa (kg parcela ⁻¹)**
1	0	14.6
1	42	16.9
2	0	13.5
2	42	15.7
3	0	13.1
3	42	17.5
4	0	12.2
4	42	16.3
5	0	12.9
5	42	16.8
6	0	16.9
6	42	19.9
7*	0	12.9
7*	42	12.9
8*	0	15.4
8*	42	9.9
9*	0	14.1
9*	42	13.7
10	0	15.7
10	42	14.9

* Tratamientos con extracción de residuo anual

** Promedio de 4 repeticiones

Cuadro 10. Efecto de los tratamientos sobre los días a floración.

Tratamiento	Potasio aplicado en 1987(kg ha ⁻¹)	Días a floración
10	42	112 a
3	84	112 a
6	210	112 a
5	168	113 a b
4	126	114 a b
1	0	114 a b
2	42	115 a b
7	0*	115 a b
9	42*	115 a b
8	126*	116 b

LSD $P < 0.05 = 3.26$

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa
 $P > 0.05$

* tratamientos sin incorporación de residuos.

Cuadro 11. Efecto de la aplicación de potasio en banda sobre los días a floración.

Dosis de potasio en banda (kg ha ⁻¹)	Días a floración (Promedio de 40 repeticiones)
42	110.03 a
0	117.38 b
LSD P< 0.05 = 1.46	

Cuadro 12. Efecto de los tratamientos y nivel de potasio sobre los días a floración

Tratamiento	Nivel de Potasio (kg ha ⁻¹)	Días a Flor**
1	0	117
1	42	111
2	0	118
2	42	111
3	0	117
3	42	108
4	0	117
4	42	111
5	0	117
5	42	110
6	0	115
6	42	110
7*	0	120
7*	42	110
8*	0	120
8*	42	111
9*	0	120
9*	42	110
10	0	115
10	42	110

* Tratamientos con extracción de residuo anual.

** Promedio de 4 repeticiones

La variable altura de planta se vio afectada significativamente por los tratamientos y la aplicación del potasio en banda (Cuadro 3). Los tratamientos con extracción de residuos (Cuadro 13) tuvieron menor altura de plantas, al igual que aquellos que no llevaban potasio en banda (Cuadro 14).

Cuadro 13. Efecto de los tratamientos sobre la altura de planta

Tratamiento	Potasio aplicado al voleo en 1987 (kg ha ⁻¹)	Altura (cm)*
6	210	67.5 a
4	126	68.9 a b
10	42	65.9 a b
2	42	65.3 a b
1	0	63.5 a b c
5	168	62.3 b c
3	84	62.0 b c
9	42 **	59.4 c d
7	0 **	56.6 d
8	126 **	56.6 d

LSD $P < 0.05 = 4.54$

* Promedio de 8 repeticiones.

** Tratamientos con extracción de residuo anual

Cuadro 14. Efecto de la aplicación de potasio en banda sobre la altura de planta

Dosis de potasio en banda (kg ha ⁻¹)	Altura de la planta (cm)*
42	69.95 a
0	55.03 b

LSD $P < 0.05 = 2.03$

* Promedio de 40 repeticiones

El contenido de potasio en la hoja de arroz a cosecha fue afectado por los tratamientos y por la aplicación de potasio en banda (Cuadro 3). La extracción de residuo redujo dramáticamente el contenido de potasio en la hoja (Cuadro 15). En cambio, la aplicación anual de potasio en banda indujo mayor contenido de este elemento en las hojas (Cuadro 16).

El contenido de potasio en el suelo, luego de siete ciclos de cultivo, disminuyó por efecto de la extracción del residuo, tanto en las muestras previas a la siembra como posterior a cosecha (Cuadros 17 y 18). En cambio, la aplicación de potasio en banda aumentó significativamente el contenido de potasio en el suelo, en las dos épocas de muestreo (Cuadros 19 y 20).

Cuadro 15. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de potasio en la hoja de arroz a cosecha.

Tratamiento	Potasio en la hoja (%)**	
2	1.262	a
3	1.250	a
6	1.200	a
10	1.187	a
4	1.037	a b
5	1.000	a b
1	0.887	b c
9*	0.750	b c d
7*	0.675	c d
8*	0.575	c d

LSD $P < 0.05 = 0.29$

* Tratamiento con extracción de residuo anual

** Promedio de 8 repeticiones

Cuadro 16. Efecto de la aplicación de K en banda sobre el contenido de potasio en la hoja de arroz a cosecha.

Dosis de potasio en banda (kg ha ⁻¹)	Contenido de potasio en la hoja (%)	
42	1.23	a
0	0.74	b

LSD $P < 0.05 = 0.13$

Cuadro 17. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de potasio en el suelo previo a la siembra.

Tratamiento	Potasio en el suelo (mg kg ⁻¹)**	
10	46.88	a
6	42.38	a b
3	38.13	b c
5	35.63	b c d
4	34.86	b c d
2	34.13	c d
1	31.75	c d f
7*	28.25	d f
9*	27.00	f
8*	25.63	f

LSD $P < 0.05 = 7.68$

* Tratamiento con extracción de residuo anual

** Promedio de 8 repeticiones

Cuadro 18. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de potasio en el suelo posterior a la cosecha.

Tratamiento	Potasio en el suelo (mgkg ⁻¹)**
6	113.37 a
10	102.12 a b
5	97.12 a b
4	96.00 a b
3	91.25 b
2	84.87 b c
1	84.50 b c
7*	68.87 c d
9*	64.00 c d
8*	53.88 d

LSD $P < 0.05 = 21.86$

* Tratamiento con extracción de residuo anual

** Promedio de 8 repeticiones

Cuadro 19. Efecto de la aplicación de K en banda sobre el contenido de potasio en el suelo previo a la siembra

Dosis de potasio en banda (kg ha ⁻¹)	Contenido de potasio en el suelo (mgkg ⁻¹)*
42	44.1 a
0	24.8 b

LSD $P < 0.05 = 3.43$

* Promedio de 40 repeticiones

Cuadro 20. Efecto del K aplicado en banda sobre el contenido de potasio en el suelo después de cosecha

Dosis de potasio en banda (kg ha ⁻¹)	Contenido de potasio en el suelo (mgkg ⁻¹)*
42	116.23 a
0	54.98 b

LSD $P < 0.05 = 9.77$

* Promedio de 40 repeticiones

Cuadro 21. Efecto de los tratamientos y la aplicación de potasio en banda sobre el contenido de K en el grano.

Tratamiento	Potasio banda 0 kg ha ⁻¹	Potasio banda 42 kg ha ⁻¹
1	0.23	0.29
2	0.25	0.27
3	0.25	0.27
4	0.26	0.29
5	0.25	0.27
6	0.26	0.29
7*	0.00	0.26
8*	0.22	0.26
9*	0.21	0.26
10*	0.24	0.27
X	0.24	0.27

* Tratamientos con extracción de residuo

El contenido de potasio en el grano fue afectado significativamente por los tratamientos y la aplicación de potasio en banda (Cuadro 3). Los tratamientos sin residuo tuvieron contenidos más bajos de potasio en el grano, ya sea que lleven o no aplicación de potasio en banda (Cuadro 21).

Niveles Críticos de Potasio para el Arroz

La interpretación de los análisis de suelo en Panamá se basan en la solución extractora de Mehlich 1, con un nivel crítico general de 45 mg kg⁻¹ de potasio (0.12 cmol₍₊₎ kg⁻¹) para todos los análisis (Name y col., 1987).

Con la metodología de modelos discontinuos rectilíneos de Waugh y col. (1973) (modelo gráfico y modelo matemático lineal plus plateau) aplicada a los rendimientos relativos y el potasio en el suelo, en el muestreo previo a la siembra, se determinó que el nivel crítico de potasio es del orden de 37 mg kg⁻¹ (0.094 cmol₍₊₎ kg⁻¹ de suelo), para la variedad de arroz P-1048 (Figuras 2 y 4). Cordero (1993) reporta niveles críticos del orden de 0.11 cmol₍₊₎ kg⁻¹ de potasio para los suelos de Costa Rica.

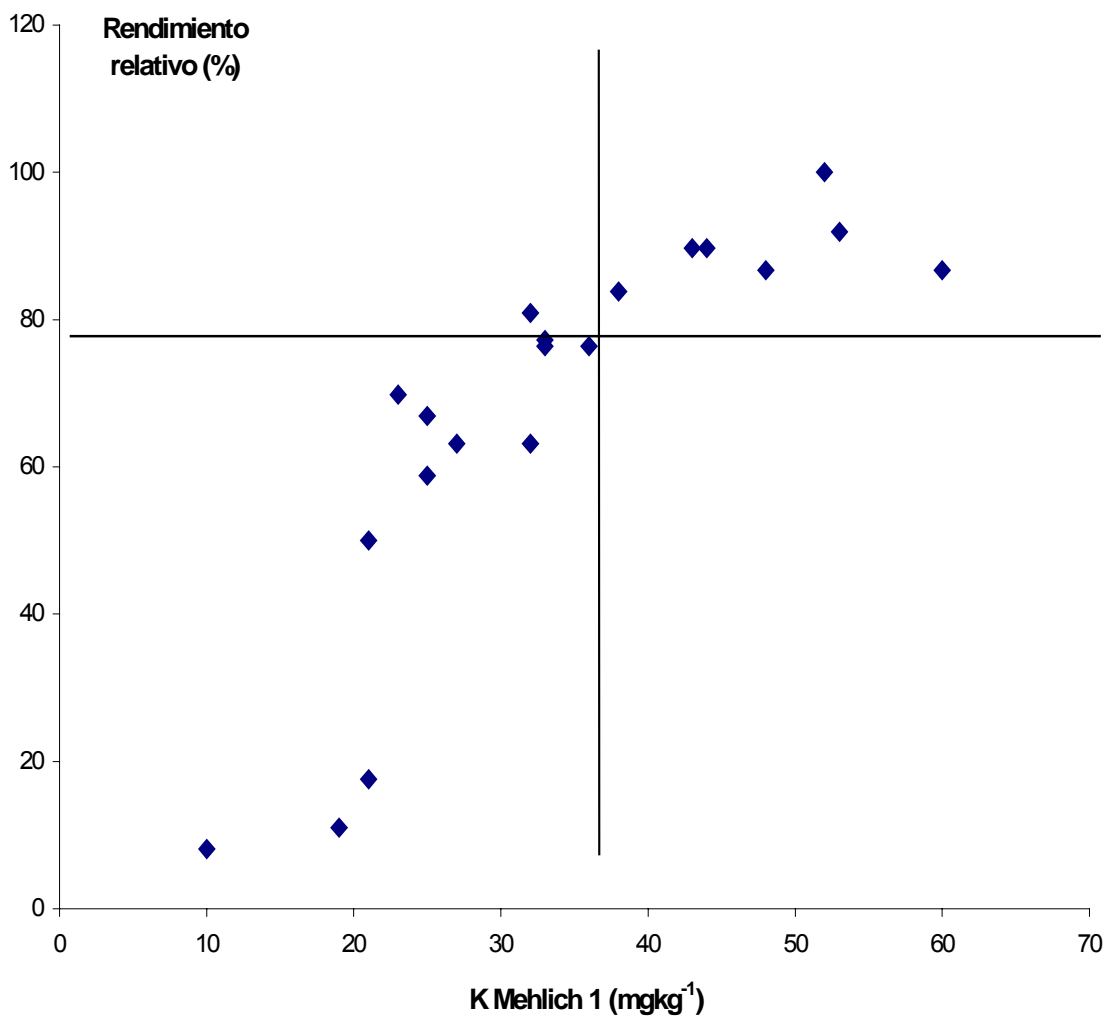
La variedad P-1048 hasta el momento ha sobresalido en las pruebas de variedades realizadas en el área de Calabacito, demostrando una gran adaptabilidad a los

suelos de la zona. La determinación de este nivel corrobora la rusticidad y adaptabilidad de esta variedad a bajos niveles de potasio.

En las Figuras 3 y 5 se presenta la relación entre el rendimiento relativo y el contenido foliar de potasio, por los dos métodos empleados, determinándose que la hoja debe tener a maduración un mínimo de 1.1% de potasio, para lograr rendimientos relativos superiores al 80%.

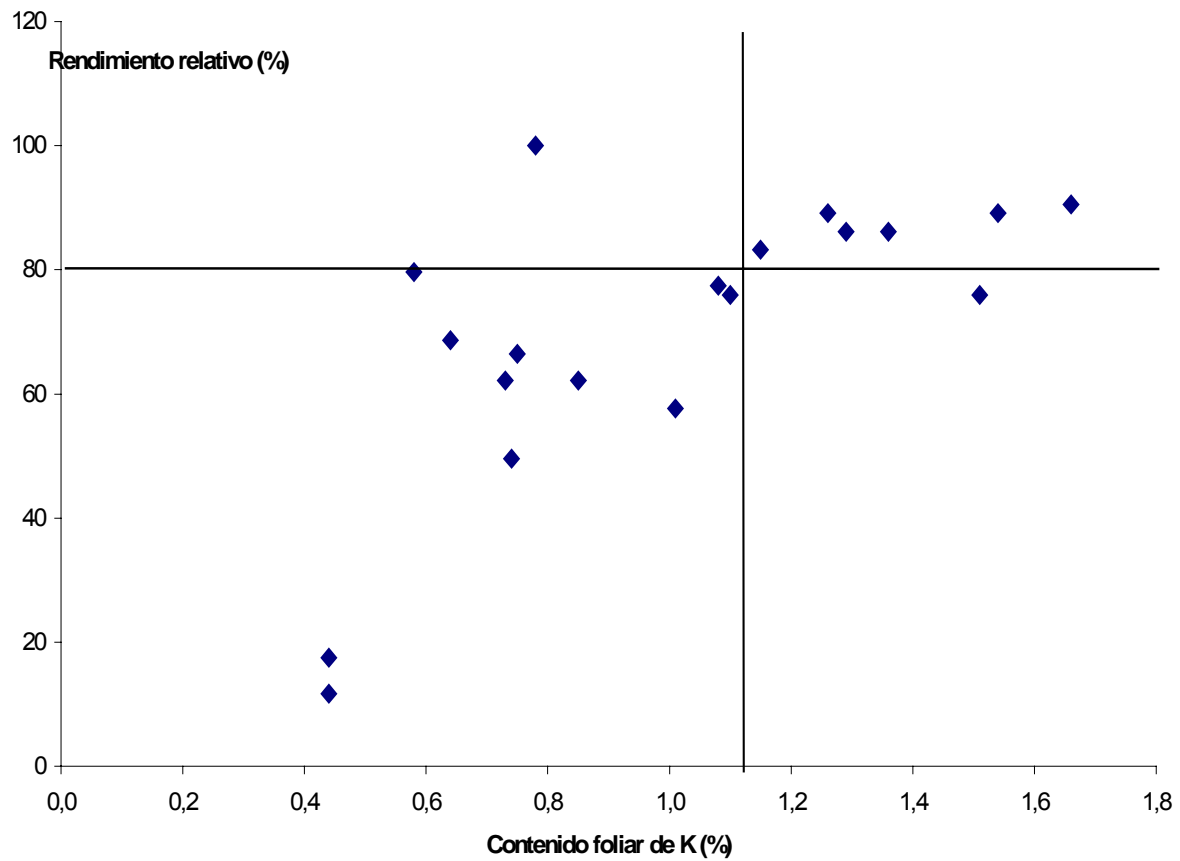
Cabe destacar la exactitud de ambos métodos para determinar los niveles críticos, ya que en los dos casos, los valores encontrados son similares. El modelo matemático tiene como particularidad que considera el rendimiento plateau como el rendimiento máximo posible y además nos permite establecer el óptimo económico de la fertilización. Indica que cuando el suelo tiene una concentración de potasio mayor de 37 mgkg^{-1} las probabilidades de respuesta a la fertilización potásica son mínimas; por lo que, se logrará un 89% del rendimiento relativo esperado.

Con relación al nivel crítico foliar, el modelo lineal plus plateau considera que aunque la planta contenga más de 1.14% de potasio en la biomasa, no habrá incremento significativo en la producción, obteniéndose como mínimo un 86% de rendimiento relativo.



Promedio de 4 repeticiones. Muestreo previo a la siembra

Figura 2. Diagrama de dispersión entre el rendimiento relativo del arroz y el análisis de K por Mehlich 1. Modelo gráfico. Calabacito 1993.



Promedio de 4 repeticiones. Muestreo a cosecha.

Figura 3. Diagrama de dispersión entre el rendimiento relativo del arroz y el contenido de K en la hoja. Modelo gráfico. Calabacito 1993.

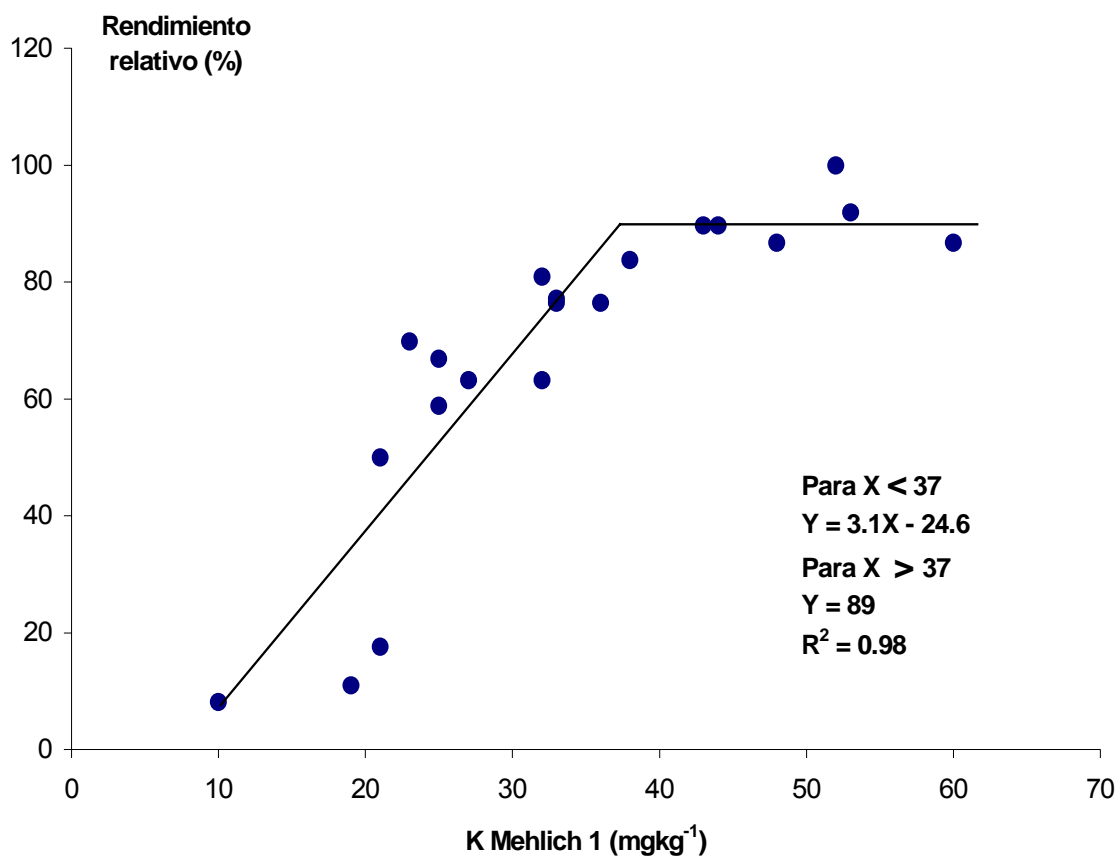


Figura 4. Determinación del nivel crítico de potasio en el suelo por medio del modelo de respuesta lineal plus plateau.

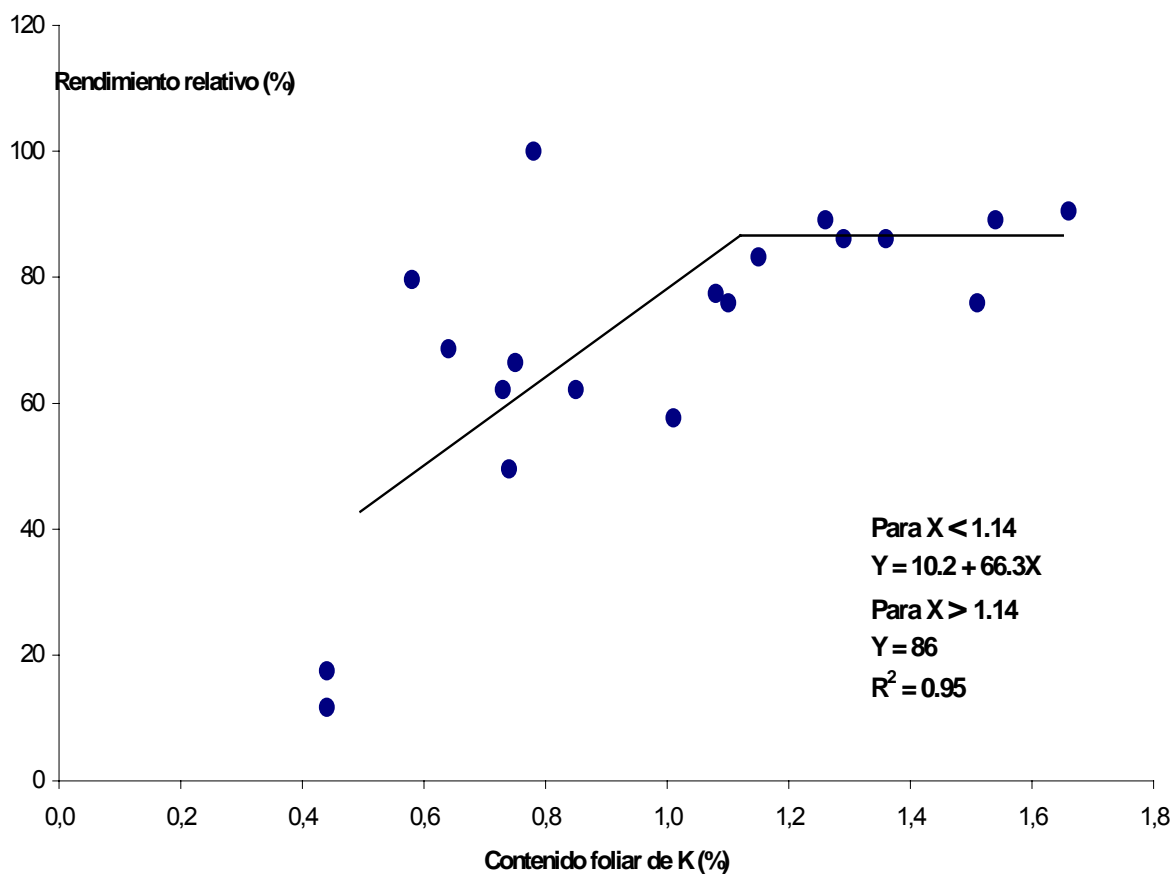


Figura 5. Determinación del nivel crítico de potasio en la planta de arroz por medio del modelo de respuesta lineal plus plateau.

CONCLUSIONES

1. Los contenidos críticos de potasio en el suelo y foliares para la variedad P-1048 son 37 mgkg⁻¹ y 1.1%, respectivamente.
2. La incorporación del residuo de cosecha es de vital importancia en la utilización de la fertilización potásica.
3. La aplicación de potasio normaliza los días a floración, pero la falta de este elemento alarga la misma en aproximadamente 7 días.
4. La aplicación de potasio en banda influye positivamente en la altura de la planta.
5. Los rendimientos son afectados negativamente por la extracción del rastrojo, por la no aplicación de potasio en banda y por el bajo contenido de potasio original del suelo.
6. La aplicación de potasio en banda mejoró todos los parámetros evaluados.
7. El presente trabajo aporta una nueva tecnología para el manejo del potasio en suelos ultisoles de Panamá y permitió ajustar las recomendaciones de fertilizantes potásicos por parte del Laboratorio de Suelos del IDIAP, para el cultivo del arroz.

LITERATURA CITADA

- BOYER, J. 1972. Soil potassium. *In*: Soils of the humid tropics. National Academy of Science. Washington, D.C. pp 102-35.
- COMISION DE REFORMA AGRARIA. CATAPAN. 1970. Reporte final sobre el Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. International Resources and Geotechnics, Inc. International Engineering Company, Inc. The Jacobs Company. Vol. 1. 504 p. Panamá.
- CORDERO A.U. 1993. Fertilización y nutrición mineral del arroz. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate Sorption Isotherms for evaluating the phosphate requirements of Soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34:902-907.
- HUNTER, A. H. 1975. Laboratory and green house techniques for nutrient survey studies to determine the soil amendments required for optimum plant growth. Mimeo. Rept. Dept of Soil Science, N.C.S.U. Raleigh.
- KAMPRATH, E.J. 1967. Soil acidity and response to liming. North Carolina Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin 4. International soil testing series. Raleigh, NC.

- LOPEZ, A. S. 1984. Solos sob "cerrado". Características, propiedades y manejo. Associacao Brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. 162 p.
- MIELNICZUK, J.O. 1981. Patássio no solo. Boletín Técnico 2. Instituto da Potassa y do Fosfato. E.U.A.
- NAME, B; BATISTA, D. 1979. Encalado en Suelos Ácidos de Panamá con alto contenido de Aluminio Intercambiable I. Finca Experimental de Calabacito. Ciencia Agropecuaria (Panamá) 2: 1 – 14.
- NAME, B.; SMYTH, T. J.; MARQUEZ, E. 1991. Dinámica del potasio en un ultisol de Panamá. Ciencia Agropecuaria (Panamá) 7: 9 - 24
- RITCHEY, K.D. 1982. Potassium fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics. Cornell International Agriculture. Bulletin 37.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. 1983. Suelos Acidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 345 pp.
- SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. 1980. Priorities for alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics. TRRT, Los Baños, Philippines. p.107-140.
- SANCHEZ, R.; NAME; B.; MARQUEZ, E. 1992. Estudio de la dinámica de potasio y niveles de encalamiento en un ultisol cultivado con arroz – frijol. (manuscrito, IDIAP).
- SILVA, J.E. da; RITCHEY, K.D. 1982. Adubacao potassica em solos do cerrado. In: Potassio na agricultura brasileira. T Yamada, ed. Instituto da Potassa & do Fosfato. Instituto Internacional da Potassa. Sao Paulo, Brasil. 91 p.
- URIBE, E.; F. COX. 1988. Soil properties affecting the availability of potassium in highly weathered soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:148-152.
- VASCONCELLOS, C.A. 1982. Potassio na cultura do milho. In: Potassio na agricultura brasileira. IPF. Campinas, Sao Paulo.
- VILLACHICA, J.H. 1978. Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an ultisol of the amazon jungle of Perú. Thesis Ph.D. North Carolina State University. Raleigh, N.C. 269 pp.

WAUGH, D.L.; CATE, B.R.; NELSON, A. L. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Tech. Bull. 7. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. North Carolina State University. Raleigh. NC. 67 p.

DINAMICA DE MACRO Y MICRO NUTRIMENTOS EN ARROZ BAJO RIEGO EN SUELOS ULTISOLES

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Se realizó un estudio de dinámica de macro y micro nutrimentos en dos variedades de arroz en un suelo ultisol. Se encontró que los contenidos de nitrógeno y fósforo disminuyen en porcentaje en el follaje de la planta en la medida que la planta cumple su ciclo vegetativo. Sin embargo, el potasio mantiene cantidades altas en el follaje durante todo el ciclo del cultivo. Los niveles de calcio y magnesio extraídos por el follaje ocupan una posición intermedia y se mantienen a los mismos niveles en todo el ciclo de las dos variedades de arroz. Para el caso de los micro elementos, los que se extraen en mayor cantidad por el follaje fueron el Mn y el Fe. Los elementos extraídos y exportados en mayor cantidad a través del rendimiento de granos son el N, el K y el P. El conocimiento del comportamiento de las diferentes variedades en los suelos permitirá mejorar las recomendaciones de fertilizantes y sus combinaciones a aplicar.

PALABRAS CLAVES: Suelo, *Oryza sativa*, arroz, acrisoles, nitrógeno, fósforo, potasio, variedades, Panama.

INTRODUCCIÓN

La siembra de las variedades de alto rendimiento y el manejo adecuado de las mismas permiten obtener mayor cantidad de grano por cada kilogramo de fertilizante utilizado. La aplicación del mismo a los cultivos tiene como principal objetivo suministrar una cantidad razonable de nutrimentos, cuando la planta lo demanda, durante sus diversas etapas de desarrollo.

El conocimiento de la forma en que los nutrimentos contribuyen a aumentar los rendimientos a través de las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos es importante, porque permite un uso eficiente de los fertilizantes aplicados. Los contenidos de los diversos elementos en la planta de arroz durante las etapas de su crecimiento es afectado por el clima, las propiedades del suelo, dosis y clases de fertilizantes aplicados, variedades empleadas y sistemas de cultivo.

Las investigaciones realizadas con elementos como el fósforo, potasio, calcio y micro nutrimentos, establecen relaciones similares entre los niveles de los nutrimentos y la susceptibilidad o resistencia de la planta a las enfermedades. El manejo de la nutrición de las plantas se constituye en un elemento importante, no sólo para el manejo de enfermedades y plagas, sino también en el uso eficiente y efectivo de los fertilizantes con miras a maximizar la producción y productividad, sin contaminar el agro ecosistema ni aumentar costos de producción (CIAT, 1984).

Los desordenes nutricionales en la planta de arroz no sólo afectan la velocidad de su crecimiento sino también su capacidad para defenderse del ataque de patógenos. Las curvas de dinámica de micro y macro nutrimentos representan gráficamente los niveles y cantidades de estos que han sido extraídos por la planta, en cada una de las etapas fenológicas del cultivo (Valverde y col.), 1986).

La elaboración de las curvas de dinámica de nutrimentos forman parte de la estrategia, para mejorar la eficiencia del uso de los elementos esenciales a través de un sistema de manejo integrado de nutrición de la planta (Rey, 1995). Ayudan a desarrollar prácticas adecuadas, a fin de mejorar el crecimiento de la planta mediante la aplicación de los nutrimentos en cantidades y proporciones adecuadas, para optimizar la producción sin degradar los recursos naturales (Baligar y Fageria, 1987).

Los cambios nutricionales asociados a los factores físicos (humedad, temperatura, brillo solar, etc.) y a las etapas fenológicas de la planta de arroz, permite asociar los puntos de máxima absorción con los puntos claves de desarrollo como macollamiento, primordio floral, embuchamiento y floración.

Hasta la fecha, no se ha generado en Panamá, información sobre las curvas de dinámica de macro y micronutrimentos, que puedan emplearse como componente

estratégico en el manejo integrado del cultivo de arroz.

Para tal efecto, los objetivos de este estudio fueron: generar información sobre el comportamiento de las curvas dinámicas de macro y micro nutrientes en el cultivo de arroz bajo riego, según etapa fenológica y época de siembra. Igualmente, generar las ecuaciones de regresión que permitan predecir y estimar los requerimientos nutricionales de la planta, por estadio fenológico y época de siembra, para corregir deficiencias a corto plazo en suelos muy ácidos ultisoles con deficiencias y toxicidades iniciales muy marcadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) ubicada en Calabacito, Distrito de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá, entre los 8° 15' de latitud norte y 81° 5' de longitud oeste, con una elevación de 100 msnm, y que presenta una precipitación y temperatura promedio anual de 2500 mm y 27°C, respectivamente. Los suelos se clasifican dentro del orden de los ultisoles como, fino, mezclado, isohipertérmico, Typic plinthudult, originados de una terraza aluvial antigua. Poseen una capacidad de intercambio catiónico promedio del perfil de 14 cmolkg⁻¹ y alta saturación de aluminio (Jaramillo, 1987).

Las evaluaciones se llevaron a cabo en una parcela de 330m² recién nivelada. Dicha parcela cuenta con un sistema de riego corrido, que permitió mantener la parcela permanentemente a capacidad de campo. En el ensayo se emplearon las variedades VIOAL-3189, e IDIAP 7 en el período comprendido entre abril - agosto y agosto - diciembre de 2001 y 2002, respectivamente. En el 2001, se tomaron las muestras semanalmente en la parcela, utilizando un marco cuadrado de 0.25m². Cada muestra estaba compuesta de 5 sub muestras tomadas al azar.

Para el segundo año, el período de muestreo se realizó durante 14 semanas. La primera semana se tomaron 8 sub-muestras con el marco de 0.25m², para lograr un peso total de 310 gramos. En el segundo muestreo, se tomaron 6 sub muestras para un total de 320 gramos; en la tercera semana, se realizaron 3 sub-muestreos para un total de 315 gramos de peso húmedo. Para la cuarta semana, se realizaron solamente 2 sub muestreos, para lograr obtener un peso húmedo de 360 gramos de follaje. A partir de la 5 semana sólo se realizó un muestreo, debido a que se obtenía suficiente biomasa para realizar los análisis en el laboratorio.

En cada caso, la fertilización se realizó tomando como base el análisis físico - químico del suelo, aplicando el concepto tecnológico de altos insumos recomendado por IDIAP para cada zona. El suelo fue encalado, se le aplicó N, P, K, Mg y S.

Previo a la siembra del primer año, la parcela se encaló a razón de 3 toneladas de carbonato de calcio por hectárea. El P y K se aplicaron como superfosfato triple y KCl a razón de 138 kilos de P_2O_5 y 90 kilos de K_2O por hectárea a la siembra; el N se aplicó como urea a razón de 120 kilos de N por hectárea, fraccionado en tres aplicaciones: a la siembra, a los 30 y a los 60 días posteriores a la misma.

Para el segundo año, con la variedad IDIAP 7, se utilizaron 300 kilos de 18-46-0, 150 kilos de KCl y 150 kilos de sulfomag, todo aplicado a la siembra. El nitrógeno adicional se aplicó como urea, cada 15 días, después de la siembra, a razón de 150 kilos por hectárea, totalizando cuatro aplicaciones.

A los cultivos se le realizaron todos los controles fitosanitarios requeridos para optimizar la producción.

Para el muestreo foliar se tomó el follaje de las plántulas, el cual fue colocado en bolsas de papel y enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP en Divisa, en donde se tomó el peso fresco y seco del mismo, se determinó el porcentaje de materia seca, contenido de humedad y contenido de macro y micro nutrimentos. Se calculó el peso seco promedio y el contenido promedio de nutrimento de las muestras para determinar la cantidad de biomasa acumulada y la cantidad de nutrimento extraídos por el cultivo, respectivamente.

A partir del dato de producción por unidad de superficie, se calculó la extracción en $kg\ ha^{-1}$ de nutrimentos. Los datos se emplearon para confeccionar las curvas de absorción (Sancho, 1998) para cada uno de los nutrimentos y generar las ecuaciones de regresión respectivas.

A partir de la información obtenida, se determinaron las curvas de absorción para macros y micros nutrimentos durante el ciclo de los dos cultivo, las curvas de regresión y los coeficientes de determinación, permitiendo determinar los contenidos de nutrientes en las épocas críticas de los cultivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los análisis de suelos previo a la siembra del año 1 y año 2. La textura es franco arcillo arenosa. El pH fue ácido para el primer año y casi neutro para el segundo. Se asume que el cambio en pH se debió al uso de la cal y roca fosfórica más el efecto de la inundación. El nivel de P se considera bajo, en cambio los de K, medio. El Ca y Mg son bajos para ambos años. El nivel de Al para ambos años es bajo, esto se asume que es efecto de la neutralización debido a la aplicación de cal. El nivel de MO es alto para el primer año y bajo para el segundo. Los niveles de micronutrimentos se consideran adecuados para abastecer las necesidades del cultivo.

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo de la parcela bajo fangueo.

	A L Arc	pH	P	K	Ca	Mg	Al	MO	Mn	Fe	Zn	Cu	Textura
	%	1: 2.5	mg l ⁻¹		cmol kg ⁻¹			%	mg l ⁻¹				
Año 1	54 – 22 - 24	5.6	3	82	0.54	0.15	0.3	6.16	211	235	5	5	FARA
Año 2	60 – 14 - 26	7.1	3	51	0.57	0.14	0.2	2.28	149	86	10	3	FARA

En los Cuadros 2 y 4 se presentan los resultados de los análisis foliares y de grano de los dos años del ensayo con las dos variedades utilizadas. Se cuantificó el peso húmedo, peso seco, el porcentaje de materia seca y los contenidos de macro nutrientes como el N, P, K, Ca y el Mg. Con estos datos, se determinó el rendimiento de biomasa y de grano producido por hectárea y la cantidad de nutrientes extraída por el cultivo, por hectárea (Cuadro 3, 5 y 6).

Se observa en el Cuadro 2, que el contenido de N, P, K en la planta de arroz es mayor en las primeras etapas de crecimiento y decrece cuando la planta alcanza su madurez. Significa esto, que la planta necesita absorber una mayor dosis de estos elementos durante el macollamiento e iniciación de la panícula. Solamente la absorción de potasio vuelve a aumentar después de la etapa de floración. Como se muestra en la Figura 6, muy poco del potasio almacenado va al grano, la gran mayoría se conserva en el follaje.

Con relación al calcio y magnesio, los resultados indican que estos nutrientes son absorbidos de manera continua de acuerdo al crecimiento de la planta.

En las Figuras 8 y 9 se observa que es poca la cantidad de calcio y magnesio que se transfiere al grano. En los Cuadros 3 y 5, se aprecia un aumento constante en la extracción de nutrientes por hectárea en el follaje de la planta de arroz, a medida que aumenta la producción de materia seca. Del Cuadro 4, se destaca que a cosecha, tanto el contenido de nitrógeno como el de fósforo son más altos en la panícula que en el follaje; mientras que, el contenido de potasio, calcio y magnesio son mayores en la paja de arroz.

Según Fernández y col.(1978), la producción de materia seca en la planta de arroz puede ser dividida en dos épocas: antes y después de la floración; aunque esta depende de la variedad y está influenciada por factores ambientales, el patrón de acumulación es similar en casi todas las variedades.

En los Cuadros 3 y 5, y en las Figuras 11 y 12, se observa la tendencia de aumento que muestra la producción de materia seca. Sobre todo después de la octava semana, casi al inicio de la floración. Se nota una producción mayor de materia

seca, tal vez porque desde ésta etapa hasta la maduración del grano, la producción de materia seca tiene una estrecha relación con el rendimiento en grano.

Cuadro 2. Producción de biomasa y contenido de nutrientes en follaje y en grano variedad VIOAL-3189, Calabacito IDIAP, 2001.

Semana de muestreo	Peso Húmedo g	Peso Seco g	Mat. Seca %	Plantas / 0.25m ²	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
					%					mgkg ⁻¹			
1	27.6	6.6	23.9		3.22	0.15	4.00	0.19	0.1	695	695	30	10
2	30.1	8.8	29.2		3.40	0.22	3.75	0.20	0.12	720	720	40	10
3	55.8	16.3	29.2		2.22	0.11	3.96	0.27	0.23	898	560	40	10
4	65.8	19.7	30.0	31	1.65	0.10	3.82	0.22	0.10	700	408	34	10
5	68.4	24.7	36.1		2.21	0.12	4.38	0.19	0.10	752	384	38	16
6	63.5	30.0	47.2	61	2.39	0.14	3.42	0.17	0.10	442	130	34	10
7	168.4	49.3	29.3	25	2.56	0.12	3.38	0.18	0.12	356	118	30	10
8	199.6	52.0	26.0	11	2.18	0.10	2.80	0.22	0.10	410	170	44	10
9	354.0	82.0	23.2	6	1.84	0.08	2.82	0.21	0.11	610	244	36	12
10	324.0	77.9	24.1	13	1.76	0.10	2.48	0.19	0.11	560	150	98	20
11	282.0	75.2	26.7	8	1.55	0.09	2.92	0.19	0.11	592	122	78	16
12	464.6	121.0	26.1	9	1.48	0.08	3.14	0.19	0.11	536	150	60	18
13	332	118.7	35.7	11	1.30	0.09	3.06	0.21	0.11	434	132	64	10
14	398	127.7	32.1	9	1.27	0.06	3.42	0.20	0.14	840	150	64	12
15	398	129	32.4	8	0.87	0.05	3.98	0.23	0.12	580	156	124	14
	Granos												
13		19.6		9	1.37	0.14	0.91	0.07	0.08	200	124	42	12
14		16.5		8	1.15	0.12	0.83	0.09	0.06	156	126	66	12

**Cuadro 3. Cantidad de nutrimentos extraídos por el follaje por hectárea.
Variedad VIOAL-3189.**

Biomasa en 0.25m ² g	Biomasa Seca total kg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
6.6	264	8.5	0.40	10.56	0.50	0.26	0.18	0.18	0.008	0.0026
8.8	352	11.97	0.77	13.20	0.70	0.42	0.25	0.25	0.014	0.0035
16.3	652	14.5	0.72	25.82	1.76	1.50	0.59	0.39	0.026	0.0065
19.7	788	13.0	0.79	30.10	1.73	0.79	0.55	0.32	0.024	0.0079
24.7	988	21.8	1.19	43.27	1.88	0.99	0.79	0.40	0.040	0.020
30.0	1200	28.7	1.68	41.04	2.04	1.20	0.48	0.12	0.036	0.012
49.3	1972	50.5	2.37	66.65	3.55	2.37	0.79	0.20	0.059	0.020
52.0	2080	45.3	2.08	58.24	4.58	2.08	0.83	0.42	0.083	0.021
82.0	3280	60.4	2.62	92.50	6.89	3.61	1.97	0.66	0.13	0.033
77.9	3116	54.8	3.12	77.28	5.92	3.43	1.87	0.62	0.31	0.062
75.2	3008	46.6	2.71	87.83	5.72	3.31	1.80	0.30	0.24	0.060
121.0	4840	89.5	3.87	151.98	9.20	5.32	2.42	0.97	0.29	0.097
118.7	4748	61.72	4.27	145.29	9.97	5.22	1.90	0.48	0.28	0.047
127.7	5108	64.87	3.06	174.69	10.22	7.15	4.09	1.02	0.31	0.051
129	5160	44.89	2.58	205.37	11.87	6.19	3.10	1.03	0.64	0.052

Cuadro 4. Producción de biomasa y contenido de nutrimentos en follaje y en grano. Variedad IDIAP- 7. 2001.

Semana muestreo	Peso Hú- medo g	Peso Seco g	Plantas /0.25m ²	Mat. Seca %	N	P	K %	Ca	Mg	Mn	Fe mgkg ⁻¹	Zn	Cu
1	39	9	87	22.6	3.3	0.19	5.2	0.23	0.11	340	2050	10	20
2	53	12	65	21.9	2.9	0.18	5.2	0.25	0.11	490	970	10	20
3	105	21	69	20.3	3.3	0.12	4.4	0.20	0.13	730	750	30	30
4	180	33	86	18.1	2.5	0.11	4.5	0.20	0.11	820	1180	40	30
5	394	75	77	19.0	1.7	0.12	3.8	0.18	0.14	960	460	20	30
6	640	120	79	18.8	2.0	0.15	4.0	0.11	0.15	750	460	20	10
7	555	110	89	19.8	1.6	0.11	4.2	0.07	0.11	850	240	30	30
8	555	120	67	21.6	1.7	0.10	3.7	0.09	0.11	1010	320	30	30
9	885	173.9	72	19.7	1.4	0.08	4.0	0.22	0.10	840	140	30	40
10	1140	331	79	29	1.8	0.12	2.9	0.25	0.14	920	200	30	40
11	640	217.9	76	34.0	1.1	0.06	2.9	0.19	0.14	1210	150	50	20
12	665	340.4	79	51.2	1.2	0.03	2.9	0.20	0.12	1910	360	90	40
13	940	190	87	20.2	0.61	0.02	4.2	0.25	0.11	1130	230	40	30
14	1266	418		33.0	0.67	0.03	4.2	0.23	0.13	1028	250	46	30
Semana de muestreo	Peso hú- medo	Peso seco		Mat. seca	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Mn	Fe	Zn	Cu
										-----mgkg ⁻¹ -----			
Grano													
Semana 9		4.44											
Semana 10		55.5											
Semana 11		48.9			1.13	0.22	0.8 9	0.03	0.09	160	260	60	60
Semana 12		106.8			1.25	0.15	0.8 0	0.01	0.08	140	160	50	80
Semana 13		170.0			1.25	0.11	0.5 6	0.04	0.05	60	90	30	30
Semana 14 X 5 muestras	305	229	*164	75.2	1.38	0.14	0.5 4	0.06	0.06	78	100	30	30

*N° de espigas promedio de cinco muestreos.

**Cuadro 5. Cantidad de nutrimentos extraídos por hectárea por el follaje.
Variedad IDIAP-7**

Semana de muestreo	Biomasa producida en 0.25m ²	Biomasa producida kg ha ⁻¹	N extraído kg ha ⁻¹	P extraído kg ha ⁻¹	K extraído kg ha ⁻¹	Ca extraído kg ha ⁻¹	Mg extraído kg ha ⁻¹	Mn extraído kg ha ⁻¹	Fe extraído kg ha ⁻¹	Zn extraído kg ha ⁻¹	Cu extraído kg ha ⁻¹
1	9	360	11.9	0.68	18.7	0.83	0.40	0.12	0.72	0.0036	0.0072
2	12	480	13.9	0.86	25.0	1.2	0.53	0.24	0.48	0.0048	0.0096
3	21	840	27.7	1.01	37.0	1.68	1.09	0.59	0.67	0.025	0.0250
4	33	1320	33.0	1.45	59.4	2.64	1.45	1.06	1.32	0.053	0.0400
5	75	3000	51.0	3.60	114.0	2.38	4.20	3.0	1.50	0.060	0.0900
6	120	4800	96.0	7.20	192.0	5.28	7.20	3.84	2.40	0.096	0.0480
7	110	4400	70.4	4.84	184.8	3.08	4.84	3.96	0.88	0.130	0.1320
8	120	4800	81.6	4.80	177.6	4.32	5.28	4.80	1.44	0.140	0.1440
9	174	6960	97.4	5.57	278.4	15.31	6.96	5.57	0.70	0.210	0.2780
10	331	13,240	238.3	15.89	384.0	33.10	18.54	11.92	2.65	0.400	0.5300
11	218	8720	95.9	5.23	252.9	16.60	12.20	8.72	1.74	0.440	0.1740
12	340	13,600	163.2	4.08	394.4	27.20	16.32	27.20	5.44	1.22	0.5440
13	190	7600	46.4	1.52	319.2	19.00	8.36	7.60	1.52	0.310	0.2280
14	418	16,720	112.0	5.02	702.2	38.46	21.74	16.72	5.02	0.840	0.5020

Cuadro 6. Cantidad de nutrientes extraídos por hectárea por el grano. Variedad IDIAP – 7

Semana de muestreo	Peso de grano en 0.25m ² g	Peso de grano kg ha ⁻¹	N extraído kg ha ⁻¹	P extraído kg ha ⁻¹	K extraído kg ha ⁻¹	Ca extraído kg ha ⁻¹	Mg extraído kg ha ⁻¹	Mn extraído kg ha ⁻¹	Fe extraído kg ha ⁻¹	Zn extraído kg ha ⁻¹	Cu extraído kg ha ⁻¹
9	4.44	178									
10	55.5	2220									
11	48.9	1956	22.1	4.30	17.40	0.59	1.76	0.039	0.059	0.12	0.12
12	106.8	4272	53.4	6.40	34.18	0.43	3.42	0.043	0.085	0.21	0.34
13	170.0	6800	85.0	7.48	38.08	2.72	3.40	0.410	0.610	0.20	0.20
14	229	9160	126.4	12.82	49.46	5.50	5.50	0.730	0.92	0.27	0.27

Curvas de contenido de N en follaje y grano

En las Figuras 1 y 2, se presentan las curvas de contenido foliar de Nitrógeno para el año 1 y 2 con las variedades VIOAL 3189 e IDIAP–7. Estas curvas se obtienen de los datos de los Cuadros 2 y 4. Para las dos variedades, se aprecia que el ajuste de las ecuaciones, para el follaje es bueno, con un R^2 de 0,78 y 0.91, respectivamente; el comportamiento es similar y altamente significativo. En ambas variedades y años, la tendencia del contenido de N foliar es a disminuir a medida que aumenta el desarrollo vegetativo. Para el segundo año, el contenido de N en grano aumenta, en la medida que el grano madura. Se obtiene una ecuación cuadrática con un R^2 de 0.90. Resultados similares fueron encontrados por González y col.(1980), quienes consideran que en una planta de arroz bien fertilizada, cerca de la mitad del nitrógeno almacenado va a los granos.

Las curvas empleadas reflejan el modelo que mejor explican los resultados en base al R^2 que mejor ajuste presenta, ya sea cuadrática o exponencial.

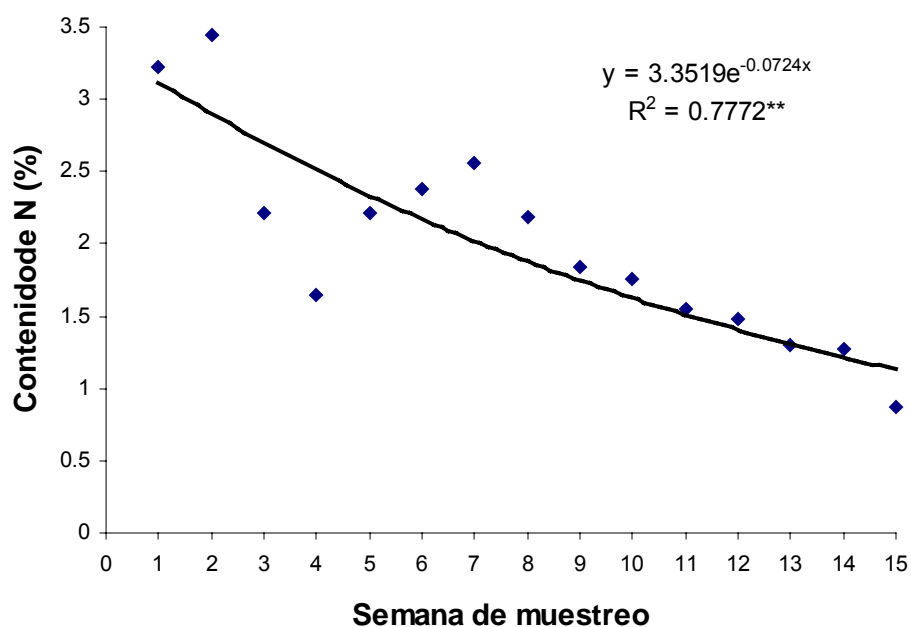


Figura 1. Curva de contenido de Nitrógeno en follaje en diferentes etapas de crecimiento del cultivo. Arroz variedad VIOAL 3189

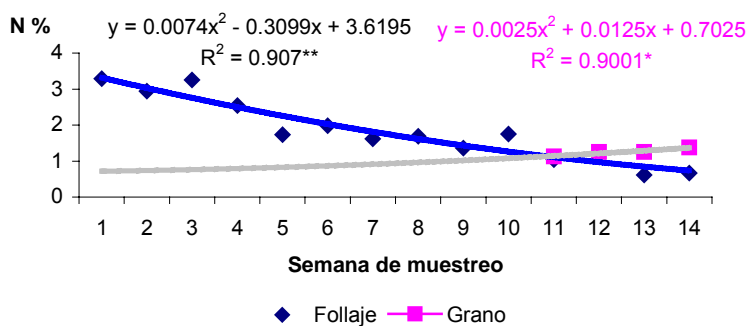


Figura 2. Curva de contenido de Nitrógeno en follaje y grano en diferentes etapas de crecimiento del cultivo. Variedad IDIAP 7.

Curvas de contenido de P en follaje y grano

Los contenidos de P fluctuaron para el año 1, entre 0.15 y 0.05; y para el año 2, entre 0.19 y 0.03 (Cuadro 2 y 4). En ambos años, el comportamiento es similar, con tendencia a disminuir los contenidos de P en el follaje. Este comportamiento es altamente significativo y significativo para el año 1 y el año 2, respectivamente. Estas curvas parecen indicar que las exigencias del cultivo por este elemento es mayor en las etapas iniciales de su desarrollo (Figuras 3 y 4).

Las ecuaciones de mejor ajuste para P en follaje fue una exponencial para el primer año y cuadrática para el segundo. En el caso del contenido de P en grano, para el segundo año, la tendencia es a disminuir en la medida que el grano madura, produciendo una ecuación cuadrática con un ajuste del 98%. Aunque el contenido de P en grano es mucho mayor que el de follaje, indicando una gran movilización del elemento del follaje hacia el grano.

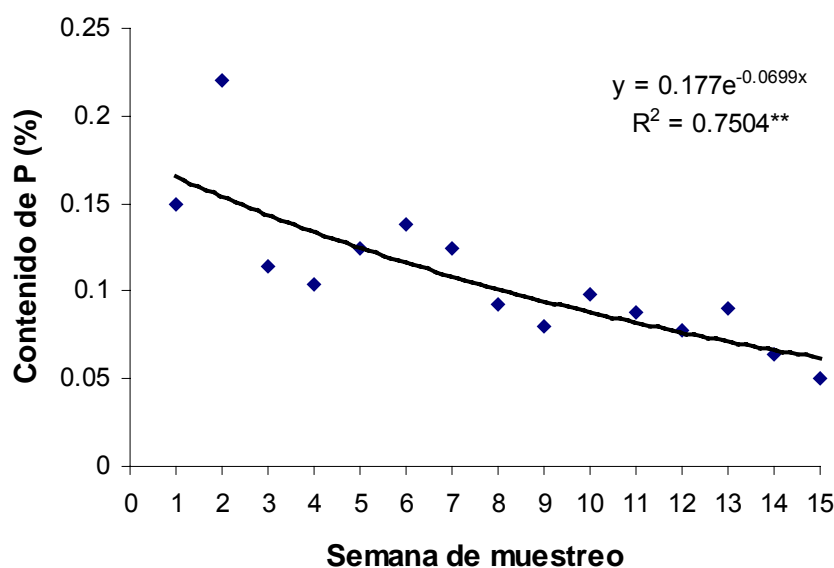


Figura 3. Curva de contenido de Fósforo en follaje. Variedad VIOAL 3189. 2001.

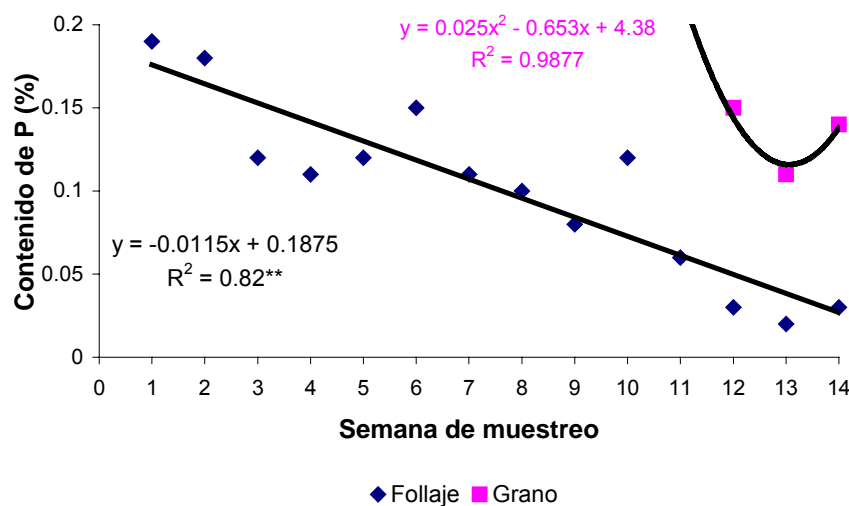


Figura 4. Curva de contenido de Fósforo en follaje y grano. Variedad IDIAP-7. 2002.

Curvas de contenido de K en follaje y grano

El contenido de K en follaje, para el primer año, osciló entre 4 y 3.98, con una disminución no significativa de la semana 8 a la 11. La ecuación con mejor ajuste fue la cuadrática con un R^2 de 0.53 no significativa (Figura 5). Para el segundo año, la ecuación con mejor ajuste fue cuadrática con un R^2 de 0.68 y altamente significativa para los contenidos de K en follaje (Figura 6). En general, el contenido de K en follaje es alto para ambos años y variedades, determinando esto la importancia de mantener altos niveles de K en todo el ciclo del cultivo. Para el grano, la disminución es significativa en la medida que el grano madura, exportando el grano el 0.5 % de su peso en potasio.

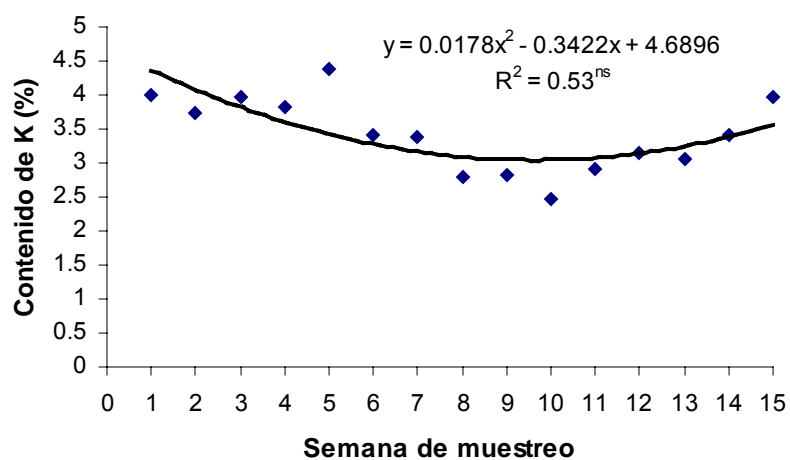


Figura 5. Curva de contenido de potasio en follaje. Variedad VIOAL 3189. 2001.

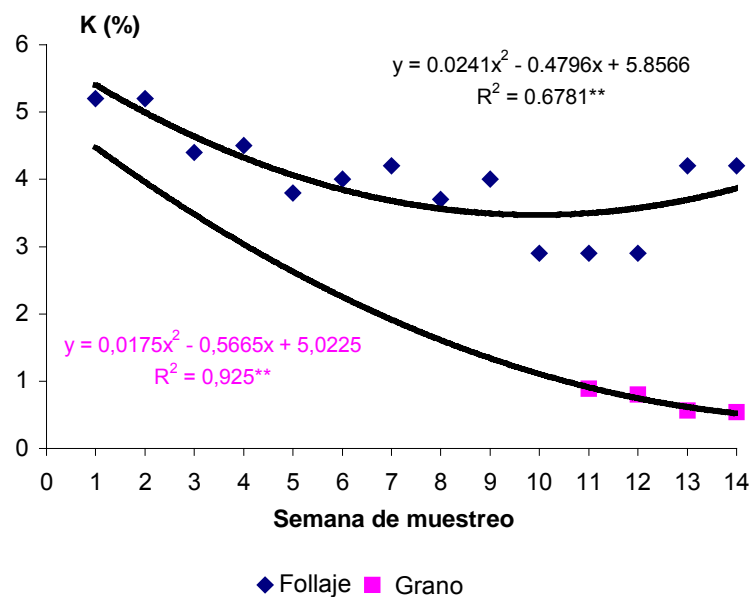


Figura 6. Curva de contenido de potasio en follaje y grano. Variedad IDIAP 7. 2002.

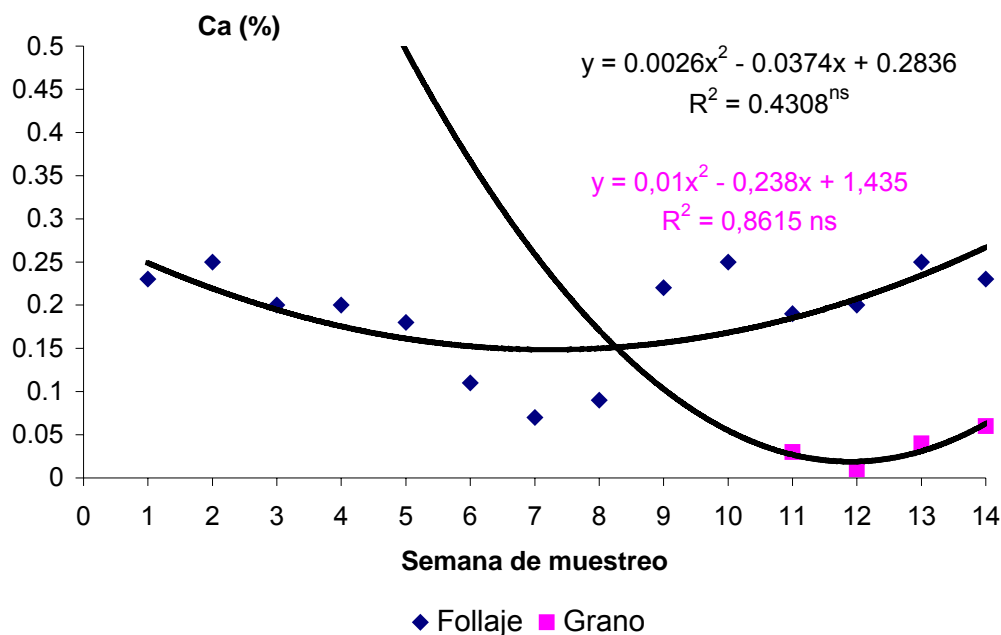


Figura 8. Curva de contenido de calcio en follaje y grano. Variedad IDIAP 7. 2002.

Curvas de contenido de Mg en follaje y grano

Las ecuaciones que mejor expresan la variabilidad de Mg en follaje son polinomiales para ambos años (Figuras 9 y 10). No resultando significativa las diferencias, con ajustes bien bajos, los contenidos estuvieron cerca del 0.1%. Para el caso del grano de la variedad IDIAP-7, los contenidos oscilaron entre 0.09 y 0.06, siendo la curva que mejor expresa la variación polinomial con un R^2 de 0.82.

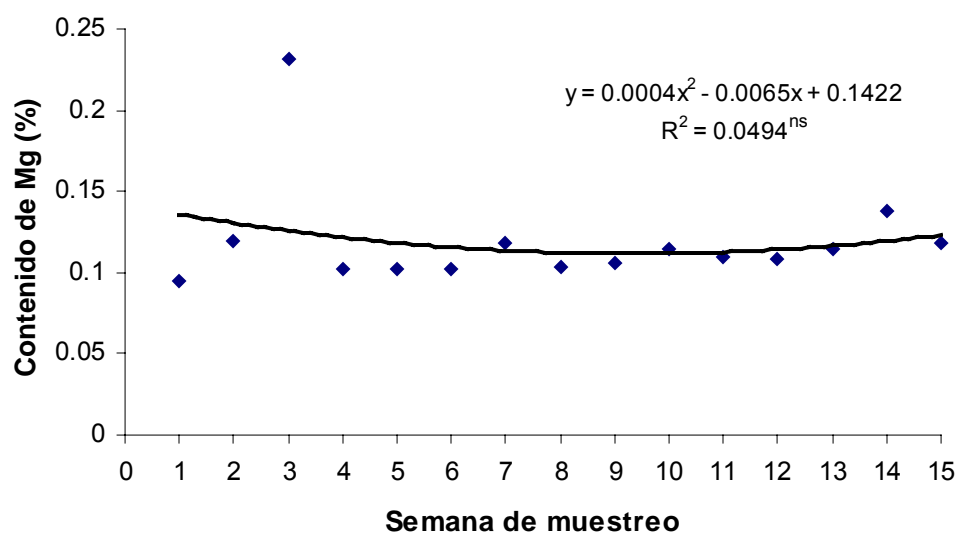


Figura 9. Curva de contenido de magnesio en follaje. Variedad Vioal 3189. 2001.

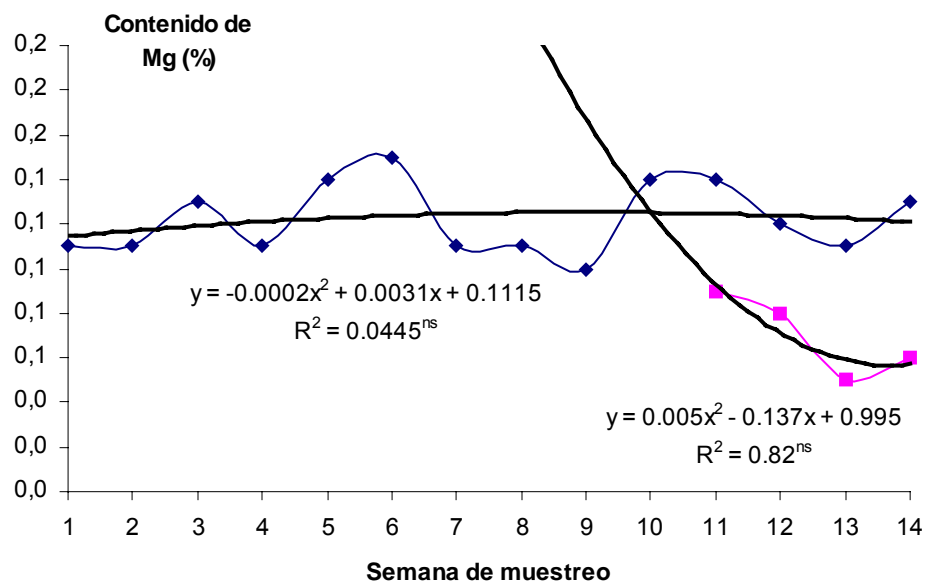


Figura 10. Curva de contenido de magnesio en follaje y grano. Variedad IDIAP -7. 2002.

Curvas de producción de materia seca

En la Figura 11 se presenta la producción de materia seca de la variedad VIOAL-3189 versus el tiempo, encontrándose una curva de regresión altamente significativa con un ajuste del 96%. En la medida que pasa el tiempo, la producción de biomasa se incrementa, lo cual es un hecho esperado. La variedad IDIAP-7 (Fig. 12) tiene el mismo comportamiento aunque la producción de materia seca supera al VIOAL-3189. La ecuación que mejor explica la producción de materia seca en la variedad Vioal 3189 es el polinomio, en cambio en la IDIAP-7, es la potencial, ambas altamente significativas.

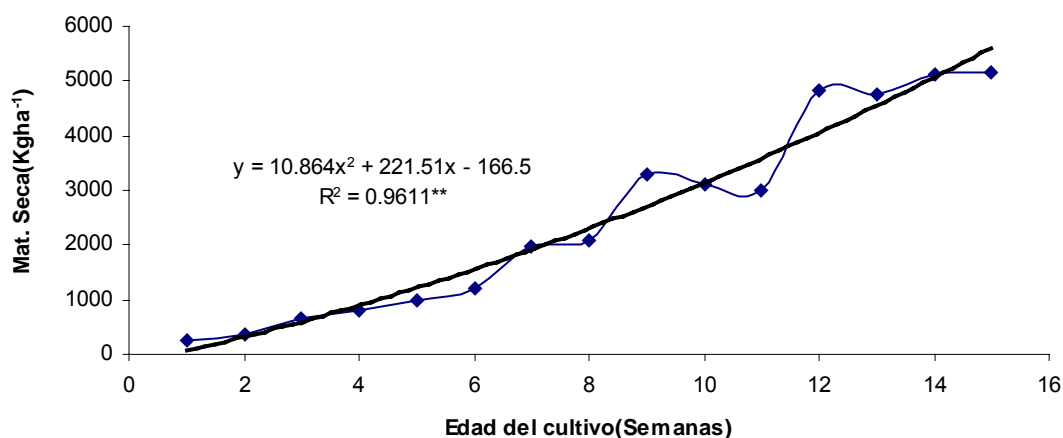


Figura 11. Producción de materia seca según edad del cultivo. Variedad VIOAL-3189.

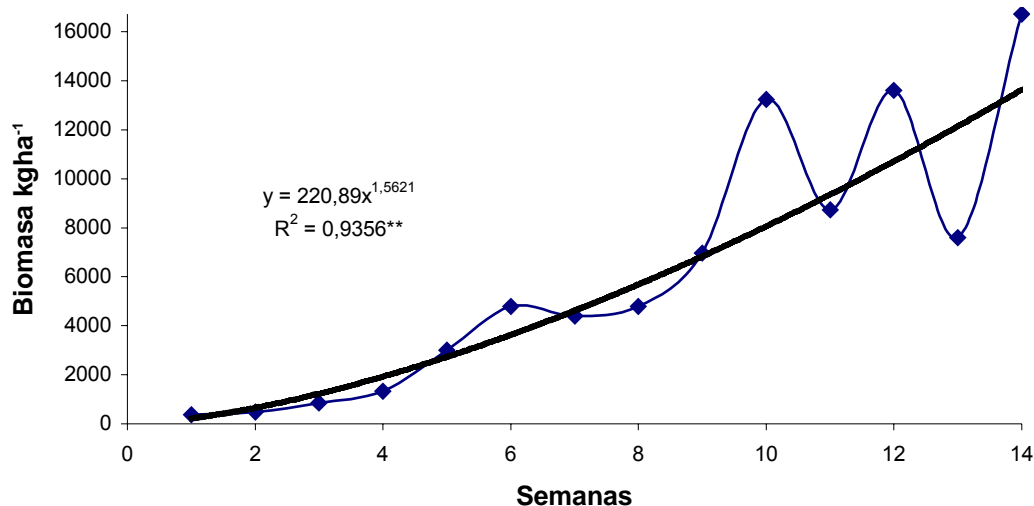


Figura 12. Producción de materia seca según edad del cultivo. Variedad IDIAP-7.

La extracción de N y K en follaje, para la variedad Vioal-3189, con relación a la producción de materia seca total se presenta en la Figura 13 y el Cuadro 3. Las cantidades extraídas aumentan en la medida que la biomasa aumenta. Para ambos elementos las ecuaciones resultan polinomiales con buenos ajustes y altamente significativas. La semana con mayor contenido de N en follaje es la número 12 con 89.5 kg ha^{-1} ; mientras que para el K, fue la última semana con 205.

Para el caso de los elementos Ca, Mg, y P en follaje (Figura 14 y Cuadro 3), las ecuaciones que mejor representan la extracción son los polinomios, todas altamente significativas. El patrón de absorción del Ca y el Mg es ascendente. Siendo la semana de mayor contenido de dichos elementos la 15 y la 14, respectivamente; lo que indica que no se da una gran movilidad de dichos elementos del follaje al grano. Para el caso del P, la semana con mayor contenido es la 13 con 4.27 kg ha^{-1} en follaje, reduciéndose a 2.58 en la semana 15, atribuyéndose esta disminución a la translocación del P del follaje al grano.

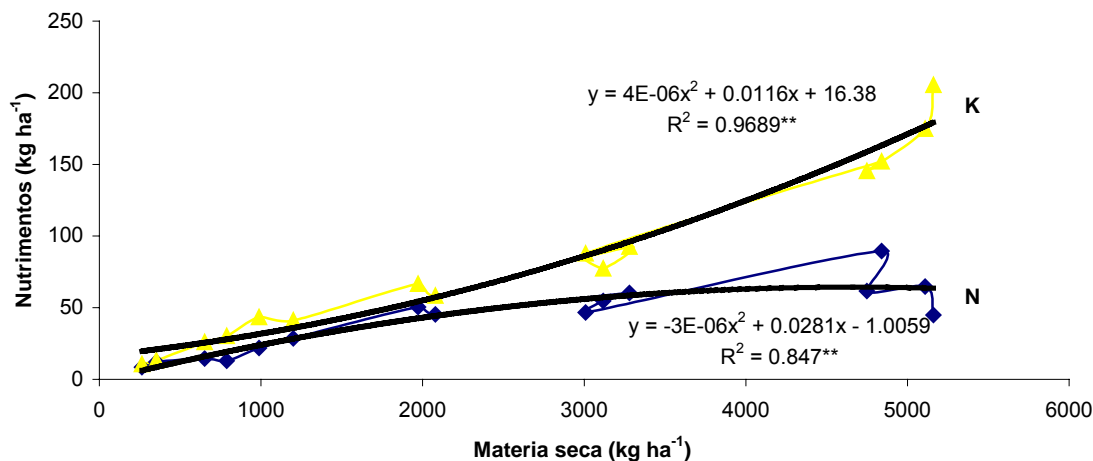


Figura 13. Extracción de N y K en follaje vs. producción de materia seca total. Variedad VIOAL-3189.

La extracción de N y K en follaje de la variedad IDIAP-7 (Figura 16) presenta las mismas tendencias que la variedad Vioal-3189. Ambas ecuaciones de regresión presentan buenos ajustes y son altamente significativas. El contenido de N en follaje tiende a disminuir en las últimas semanas indicando la posible movilidad del elemento al grano.

Para el caso del K, el contenido aumenta de manera ascendente. La ecuación que representa este comportamiento es exponencial, con ajuste del 93% y altamente significativa. Las últimas semanas, el follaje de esta variedad llega a tener entre 300 y 700 kg ha⁻¹ (Cuadro 5); lo que indica la gran cantidad del elemento que aporta el follaje para las futuras cosechas.

La extracción de N y K en grano (Figura 18), son altamente significativas y significativas respectivamente. Siendo la relación de contenido de nitrógeno del follaje al grano de 1:1, y la de contenido de potasio de 30 a 70:5 (Cuadros 5 y 6).

La absorción de Ca y Mg son altamente significativas para el follaje en la variedad IDIAP-7 (Figura 17), llegando los contenidos de dichos elementos a 38 y 22 kg ha⁻¹ a cosecha, respectivamente (Cuadro 5). Para el contenido en grano, las variaciones no son significativas. Las ecuaciones presentan buenos ajustes (Figura 19); exportando el grano alrededor de 6 kg ha⁻¹ de cada uno de estos elementos (Cuadro 6).

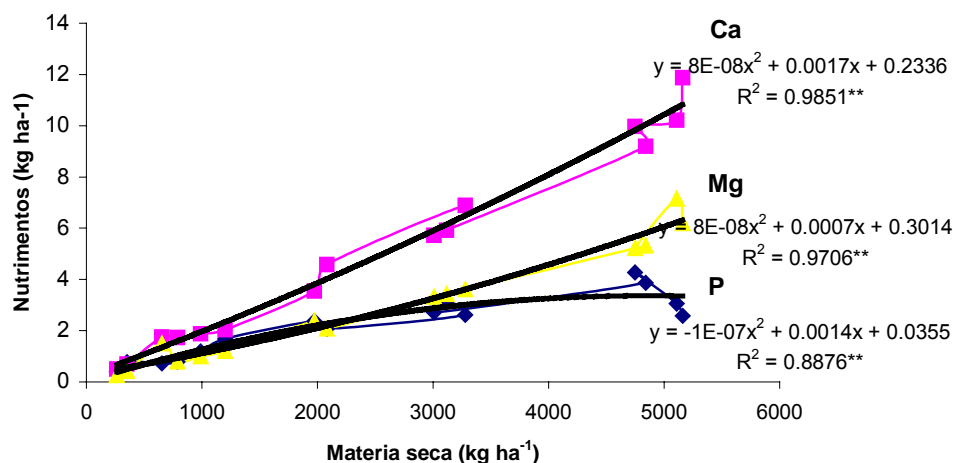


Figura 14. Extracción de Ca, Mg y P en follaje vs producción materia seca. Variedad VIOAL-3189.

En la Figura 15 se presenta la extracción de N, P y K de la variedad IDIAP 7 en el grano, todas las ecuaciones son polinomiales de segundo grado con ajustes superiores a 0.96 y altamente significativas para el N y significativa para el P y el K. La extracción máxima de N se encuentra en el orden de 126 kg ha⁻¹; y para el K y el P en 49 y 13, respectivamente.

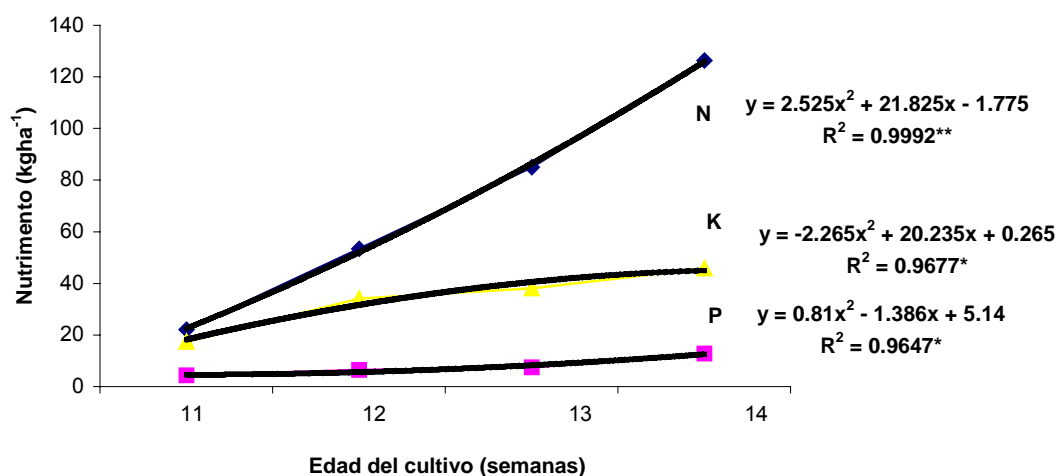


Figura 15. Extracción de N, P, K en grano según edad del cultivo. Variedad IDIAP - 7.

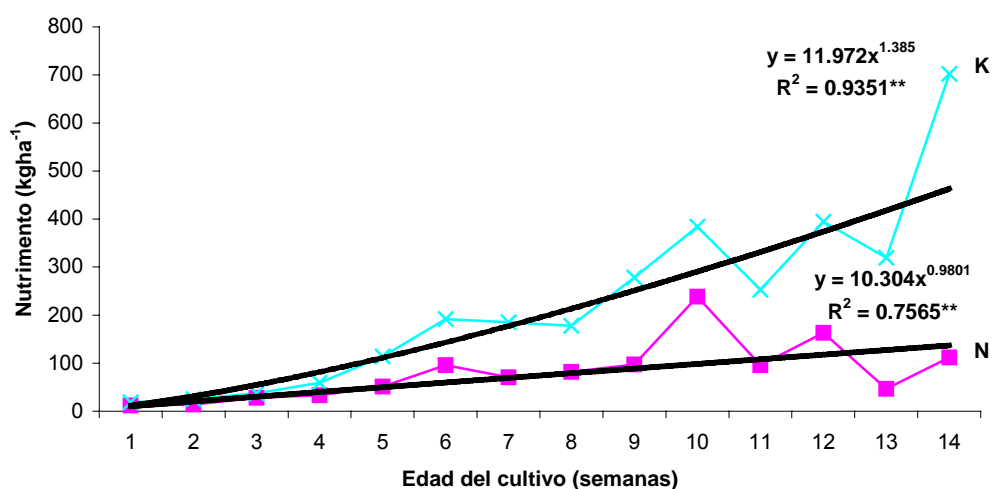


Figura 16. Extracción de N y K en follaje según edad del cultivo. Variedad IDIAP-7.

La extracción de P en follaje y grano, para la variedad IDIAP-7 se presentan en las Figuras 17 y 18. No fue significativa para el follaje con un ajuste del 0.5, y significativa para el grano con un R^2 de 0.95. El follaje exporta alrededor de 5 kg ha⁻¹, y el grano alrededor de 13 (Cuadros 5 y 6)

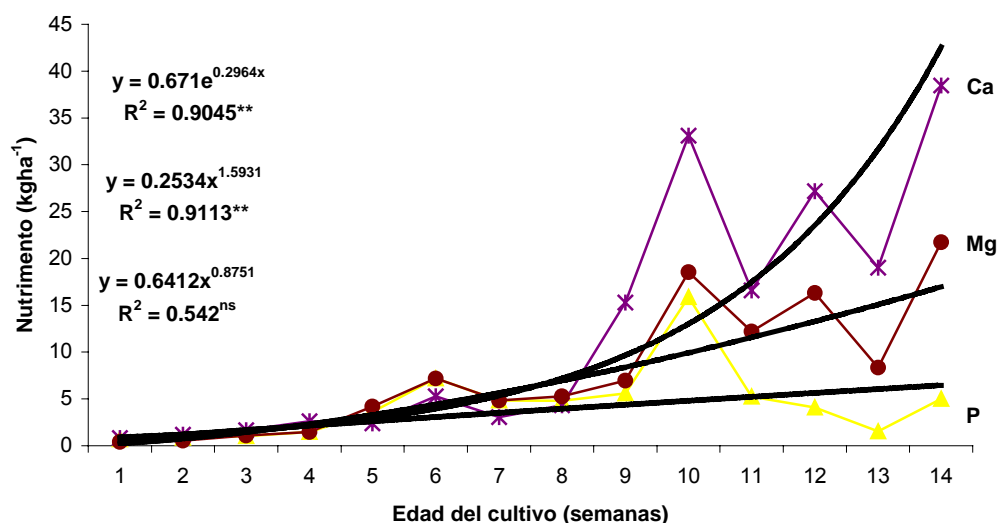


Figura 17. Extracción de P, Ca y Mg en follaje, según edad del cultivo. Variedad IDIAP-7.

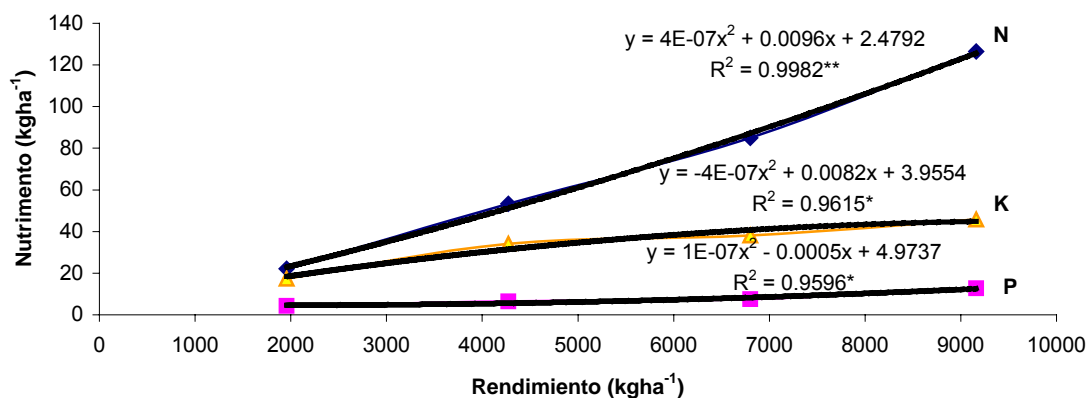


Figura18. Extracción de N, P y K, según rendimiento de grano. Variedad IDIAP-7

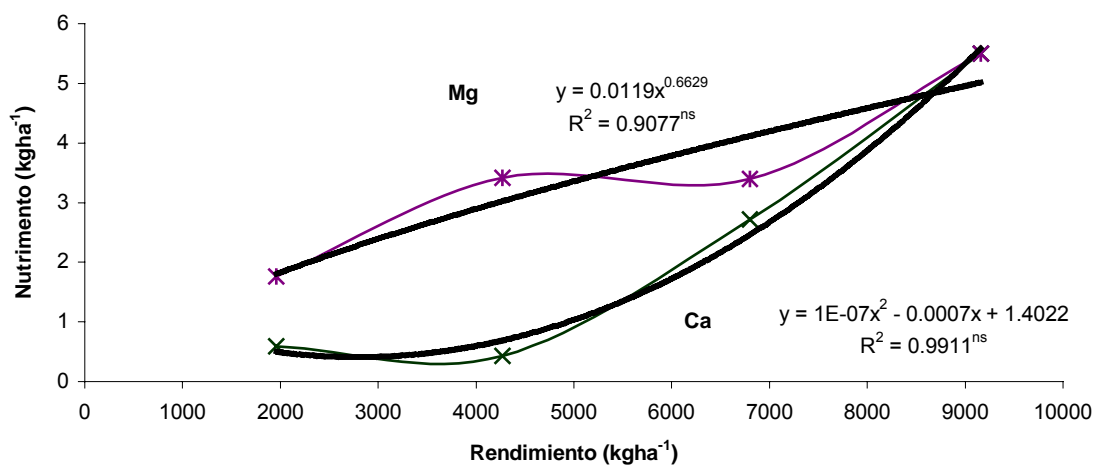


Figura 19. Extracción de Ca y Mg según rendimiento de grano. Variedad IDIAP-7

A partir de la semana 10, la acumulación de materia seca aumenta rápidamente (Figura 20). Este aumento es altamente significativo con un ajuste del 0.97 en la ecuación polinomial de segundo grado. Los rendimientos de grano estuvieron alrededor de los 9000 kg ha^{-1} (Cuadro 6).

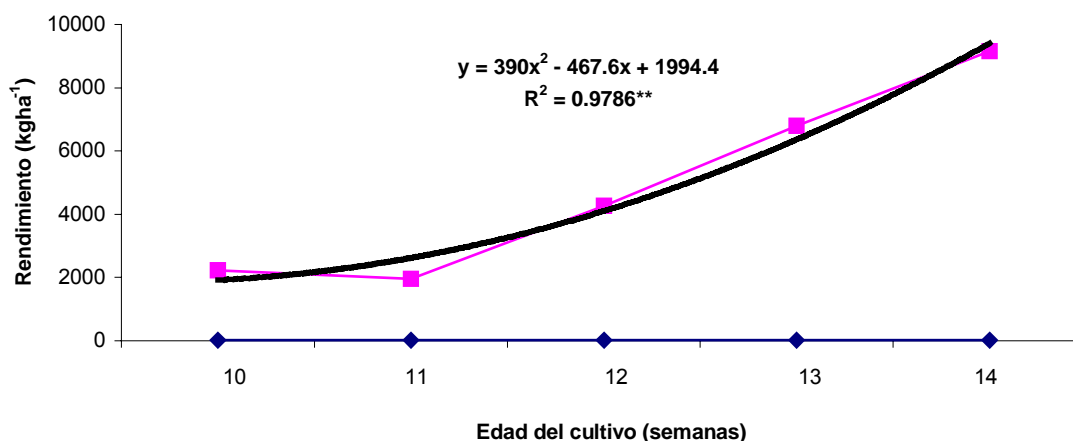


Figura 20. Rendimiento de grano, según edad del cultivo. Variedad IDIAP – 7.

Micro elementos

Para el estudio de los micro elementos se comparó la producción de materia seca versus la extracción de los mismos. Para el caso del Mn y el Fe en la variedad Vioal 3189 (Figura 21), las curvas de regresión son altamente significativas con ajustes de 0.89 y 0.67, respectivamente. Las cantidades extraídas de Mn por el follaje fueron de 4.09 kg ha^{-1} en la semana 14, cayendo a 3.1 en la semana 15. Para el caso del Fe la extracción máxima se da en la semana 15 con 1.03 kg ha^{-1} (Cuadro 3).

Para el caso de la variedad IDIAP 7 la extracción de Mn en follaje tiene su pico máximo en la semana 12 (Figura 23), cayendo en las siguientes semanas. El comportamiento parecido de ambas variedades sugiere la exportación de parte de este elemento al grano. Para esta variedad, con 3 veces más producción de follaje seco, las cantidades extraídas están por el orden de los 17 kg ha^{-1} , que es tres veces mayor que el Vioal. Para el caso del Fe la extracción por el follaje fue altamente significativa con una extracción máxima de 5 kg ha^{-1} .

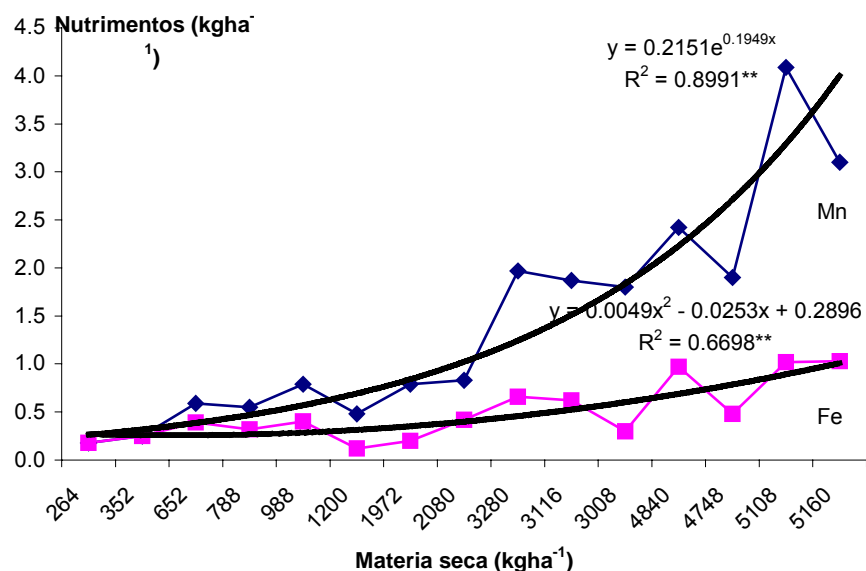


Figura 21. Extracción de Mn y Fe en follaje vs. producción de materia seca total en diferentes etapas de crecimiento. Variedad VIOAL-3189.

En la Figura 22 se presenta la extracción de Zn y Cu por parte de la variedad Vioal 3189, ambas ecuaciones son exponenciales, altamente significativas y con buen ajuste. El mismo tipo de ecuaciones se presenta con la variedad IDIAP-7 con ajustes arriba del 90 por ciento y altamente significativas (Figura 24). La extracción máxima de Zn por el follaje para el Vioal fue de 0.64 kg ha^{-1} , y para IDIAP-7 fue de 0.84 en la última semana del ciclo vegetativo. Para el caso del Cu fue de 0.05 y 0.5 kg ha^{-1} respectivamente, para las variedades Vioal 31898 e Idiap-7 (Cuadros 5 y 3).

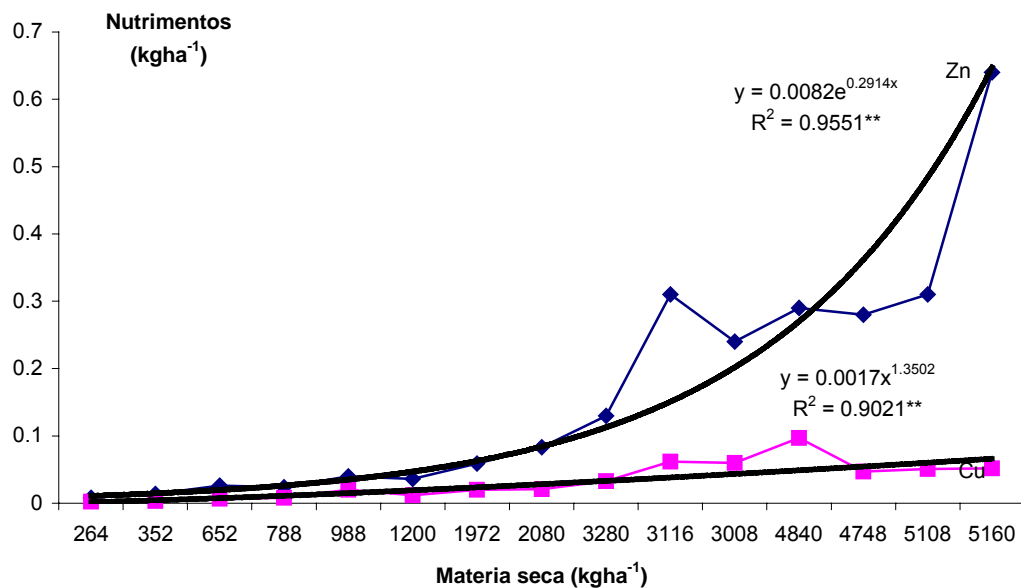


Figura 22. Extracción de Cu y Zn en follaje vs. producción de materia seca total en diferentes etapas de crecimiento. Variedad VIOAL-3189.

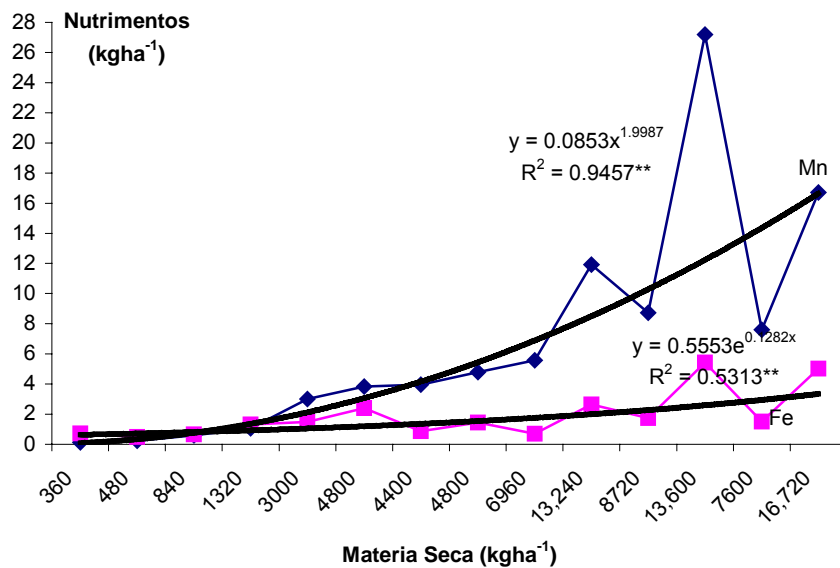


Figura 23. Relación entre producción de biomasa y extracción de Mn y Fe. Variedad IDIAP - 7.

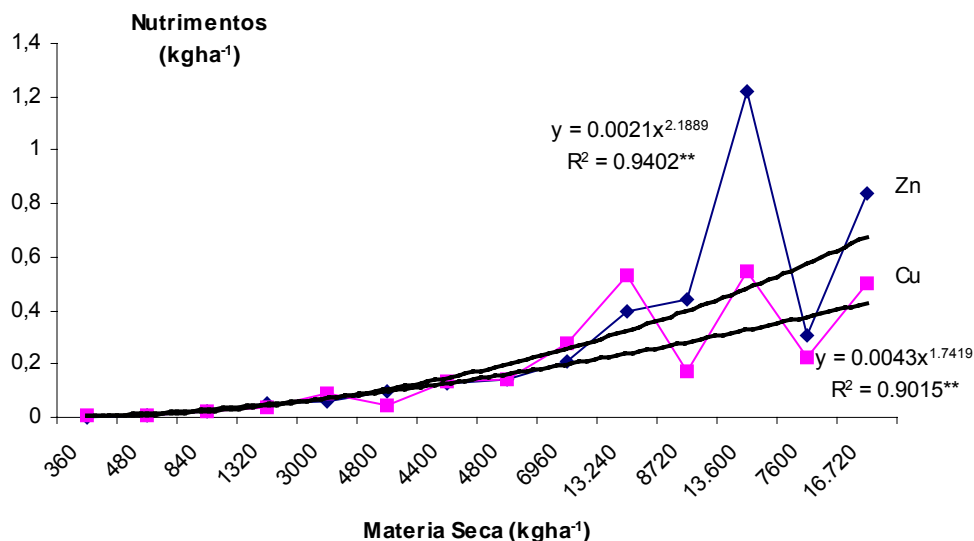


Figura 24. Relación entre producción de biomasa y extracción de Zn y Cu. Variedad IDIAP – 7.

En las Figuras 25 y 26 se presenta la relación entre el rendimiento de grano y la extracción de estos microelementos por parte de la variedad IDIAP-7. Resultando el patrón de extracción significativo con R^2 , superiores al 95%. La extracción de Mn y Fe por esta variedad en estas condiciones es del orden de 0.73 y 0.92 kg ha⁻¹, respectivamente.

Para el caso del Cu y Zn, el comportamiento de extracción por el grano no es significativo; siendo la tendencia a acumular estos microelementos en la medida que avanza la formación del grano. Las cantidades extraídas ascienden a 0.27 kg ha⁻¹ de estos elementos a la cosecha del grano (Cuadro 6).

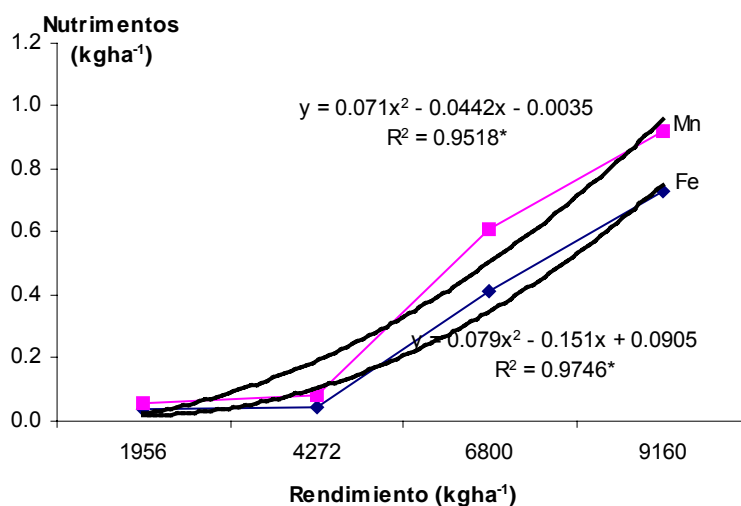


Figura 25. Relación entre rendimiento de grano y extracción de Mn y Fe. Variedad IDIAP-7.

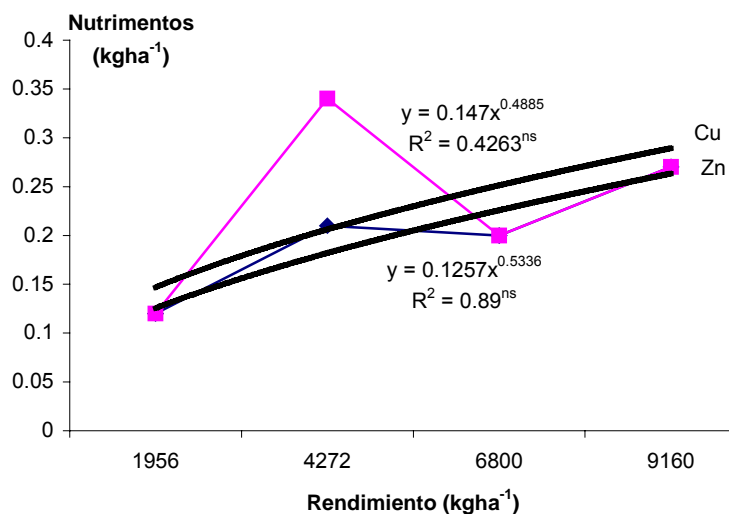


Figura 26. Relación entre rendimiento de grano y extracción de Cu y Zn. IDIAP-7.

Absorción de macro nutrimentos por etapa fenológica en el cultivo de arroz**Cuadro 7. Absorción de N- P- K por etapa fenológica en el cultivo de arroz. Variedades VIOAL-3189 e IDIAP-7.**

Etapa Fenológica	N		P		K	
	Absorción por Etapa	Absorción Total	Absorción por Etapa	Absorción Total	Absorción por Etapa	Absorción Total
	------%-----					
Variedad VIOAL-3189						
Ahijamiento	8.1	8.1	8.3	8.3	6.5	6.5
Inicio de floración	23.7	31.5	22.7	31.0	17.1	23.6
Llenado de grano	40.0	72.2	38.2	69.3	33.5	57.0
Etapa pastosa	10.0	82.2	13.2	82.5	11.9	69.0
Maduración de gran	10.5	92.7	9.5	92.0	14.3	83.2
Cosecha	7.3	100.0	8.0	100.0	16.8	100.0
Variedad IDIAP Línea 7						
Ahijamiento	6.1	6.1	4.3	4.3	4.3	4.3
Inicio de floración	21.0	27.0	22.0	26.4	20.4	24.7
Llenado de grano	31.8	58.9	33.0	59.8	28.4	53.1
Etapa pastosa	15.2	74.1	11.3	71.1	13.1	66.2
Maduración de grano	9.2	83.3	9.7	80.8	10.9	77.1
Cosecha	16.7	100.0	19.2	100.0	22.9	100.0

En el cuadro 7 se observan los porcentajes de absorción de N–P–K por etapa de desarrollo del cultivo de arroz, variedades Vioal-3189 e IDIAP Línea 7. Se sabe que sobre el proceso de absorción tiene gran influencia el tipo y las propiedades del suelo, la cantidad de fertilizante aplicado, la variedad de arroz y el sistema de cultivo empleado; sin embargo, como lo demuestran los resultados obtenidos, los procesos de absorción demuestran un comportamiento bastante similar en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

En ambas variedades, el nitrógeno es absorbido rápidamente durante las primeras etapas de desarrollo hasta la etapa de grano pastoso donde comienza a decaer. Hasta el ahijamiento (30 dds), el cultivo ha absorbido el 8.1 (Vioal-3189) y 6.1% (IDIAP L-7) del nitrógeno total; al inicio de la floración (65 – 70 dds) 23.7 % (Vioal-3189) y 21.0% (IDIAP L-7); durante el llenado de grano (85 – 90 dds) ya se ha absorbido un 59% del nitrógeno total que la planta requiere. En esta etapa, el Vioal-3189 absorbió un 40%; mientras que el IDIAP L-7 un 31.8% de nitrógeno, siendo el máximo período de absorción. Un 20.1% del nitrógeno total absorbido va dirigido hacia el grano.

Los datos obtenidos demuestran que es muy importante la aplicación temprana del fertilizante nitrogenado, y que antes de los 60 a 70 dds ya se debe haber aplicado el nitrógeno que la planta exige, pues es en este período, que las raíces del cultivo de arroz realizan su máxima absorción.

La absorción de fósforo y potasio es más lenta comparada con la del nitrógeno. En ambas variedades la absorción aumenta rápidamente al inicio de la floración y llega a su máximo durante el llenado de grano, cuando las necesidades de fósforo y potasio de la planta, prácticamente ya casi están satisfechas.

Considerando los resultados se hace evidente la importancia de aplicar todo el fósforo y potasio necesario para el desarrollo de la planta, antes de los primeros 10 a 15 dds, ya que el movimiento de estos dos elementos es muy lento en el suelo y se absorben a través de las raíces, mayormente por procesos de difusión.

Del total de fósforo absorbido un 33.4% va dirigido al grano, mientras que sólo lo hace un 4.2% del potasio. De allí el gran contenido de potasio que presenta la paja de arroz que eventualmente puede ser aprovechada nuevamente incorporándola al suelo.

CONCLUSIONES

- 1) El análisis foliar en etapas críticas del cultivo del arroz permite determinar las condiciones del cultivo y realizar correcciones preventivas a tiempo.
- 2) La aplicación nitrogenada al cultivo del arroz deberá cambiar e ir acompañada de otros macro y micro elementos dependiendo de los análisis foliares.
- 3) Para los elementos estudiados los resultados son consistentes en ambas variedades, en cuanto a concentración de nutrientes y a la curva de extracción de los mismos.
- 4) El realizar los ajustes de las curvas de regresión por variedad y tipo de suelos permitirá precisar la predicción de los rendimientos en el cultivo.
- 5) La extracción de micro elementos por grano y follaje es relativamente bajo en las dos variedades y se comportan de acuerdo a lo esperado.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda el análisis de suelo como herramienta básica para el establecimiento de un programa de fertilización en el cultivo del arroz.

- 2) Se recomienda la realización de este tipo de trabajo en otros suelos y con variedades de ciclo corto, intermedio y largo de manera que se establezcan las curvas de extracción y se puedan realizar aplicaciones de nutrimentos con conocimiento de los requerimientos reales de los cultivos.
- 3) Se recomienda determinar un plan de fertilización balanceado por variedad. Plantas bien nutridas serán mas tolerantes a enfermedades (estrés biótico y abiótico), esto implica mayores rendimientos.

LITERATURA CONSULTADA

- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. 1987. Nutrient use efficiency in acid soil: Nutrient management and plant use efficiency. In: A. C. MONIZ y col. (ed) Plant-Soil Interactions at Low pH, Brazilian Soil Science Society. pp 75 – 95.
- CIAT. 1984. Los macro nutrimentos en la nutrición de la planta de arroz. Arroz 33 (329): 34 - 44.
- FERNÁNDEZ, F.; VERGARA, B.S.; YAPIT, N.; GARCIA, O. 1978. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Mimeógrafo, CIAT, Cali, Colombia. 29 pp.
- GONZALEZ, J.; SAA, L.; TENORIO, G. 1980. Translocación del nitrógeno y desarrollo de la planta de arroz. Nueva Agricultura Tropical 32 (1): 6 – 9.
- HOWELER, R. H. 1993. Análisis de tejido vegetal en el diagnóstico de problemas nutricionales: Algunos cultivos tropicales. CIAT, Cali, Colombia 28 pp.
- JARAMILLO, S. 1987. Pedones de Campo y Estaciones Experimentales del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP. Boletín Técnico. 56 pp.
- ROY, N. R. 1995. FAO – SOIL Fertility and integrated plant nutrition management programmes. In: Nuclear Techniques in soil – plant studies for sustainable agriculture and enviromental preservation. Pp 107 – 129. Int. Atomic Energy Agency, Viena, Austria.
- SANCHO V. H. 1988. Curvas de absorción de nutrimentos: importancia y uso en los programas de fertilización. Informaciones Agronómicas N°. 36. Costa Rica.
- VALVERDE, E.; GONZALEZ, P; CORDERO, A. 1987. Extracción de nutrimentos por la planta de chayote (*Sechium edule Sw.*) Turrialba 37 (2): 187 – 194.

EFFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE SILICIO EN EL CULTIVO DE ARROZ EN SUELOS ULTISOLES Y ALFISOLES

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Con la finalidad de comprobar si la aplicación de silicio contribuye a aumentar la producción de biomasa, altura de la planta, rendimiento de grano y contenido de silicio (Si) tanto en el grano como en el follaje del cultivo de arroz, se realizó un experimento en casa de vegetación utilizando un ultisol de Calabacito y un alfisol de Las Guabas, Penonomé. Se aplicaron cinco niveles de silicio (0; 20; 40; 80 y 160 Kg. ha⁻¹) en la forma de óxido de silicio. Se empleó el material genético Vioal-3189 y un diseño experimental completamente al azar. En el suelo de Calabacito no se observó aumento en el rendimiento al aplicar diferentes dosis de silicio; sin embargo, si hubo un aumento en el número de hijos por planta y mejor rendimiento relativo (90 y 87%) al aplicar entre 20 y 40 Kg. ha⁻¹, respectivamente. En el suelo de Las Guabas hubo respuesta en parámetros como: altura de la planta, biomasa del cultivo y número de hijos al aplicar estas mismas dosis. Se encontró que un nivel crítico de 2.8 mg l⁻¹ de silicio (Si) disponible garantiza una buena producción de arroz en suelos intemperizados. Dosis de SiO₂ de 100 kg ha⁻¹ y 130 kg ha⁻¹ producían un aumento en la concentración de Si en las hojas y granos, respectivamente.

PALABRAS CLAVES: *Oryza sativa*, silicio, rendimiento, acrisoles, Panamá

INTRODUCCION

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, se encuentra presente en casi todos los minerales. La mayoría de los minerales en las rocas ígneas son silicatos y por lo tanto el suelo en gran medida se compone de estos. La accesibilidad del Si a las plantas depende principalmente en la rapidez con que ocurre la meteorización de los minerales, liberando el Si en la solución del suelo. El Si soluble se encuentra presente como Si(OH)_4 monomérico en un amplio rango de pH (2 a 9) y se encuentra en equilibrio con SiO_2 amorfo (Ponnamperuma, 1999). La forma en la cual el Si es absorbido por las plantas es el ácido monosilícico $[\text{Si(OH)}_4]$, aunque los mecanismos de absorción todavía no son claros.

Todas las plantas contienen Si, pero las mayores cantidades se han determinado en las gramíneas. Entre las plantas que han mostrado un aumento en la productividad luego de una fertilización con Si tenemos: arroz, caña de azúcar, trigo, avena y otros (Fox et al, 1967). En el caso del arroz, la acumulación de Si es proporcional a la disponibilidad del elemento en el suelo (Epstein, 1991). El principal efecto del Si en las plantas parece ser el aumentar la disponibilidad del fósforo (Goedert et al, 1997). Kato (1998), encontró que el añadir Si soluble al suelo, aumentaba la absorción de fosfato, (asumiendo que la adsorción de Si por el suelo es una reacción competitiva con la adsorción de fósforo) esto es particularmente importante, en suelos con elevada capacidad de fijación del elemento.

La presencia de Si en la planta aumenta la resistencia del arroz a enfermedades fungosas y le confiere mayor tolerancia a la toxicidad, provocada por el exceso de hierro y manganeso, debido a la gran oxidación que esos dos elementos sufren en la rizósfera (Korndörfer, et al. 1999). Además, mejora la capacidad fotosintética y le brinda mayor tolerancia a la falta de agua (Datnoff et al. 1991; Anderson et al. 1991). A pesar de esto, el Si no es considerado un nutrimento esencial para las plantas.

En general, los suelos de las áreas en donde se cultiva arroz en las provincias centrales, requieren de un mejor manejo con relación al uso de fertilizantes químicos para sostener los rendimientos. El presente trabajo, pretende comprobar si la aplicación de Si contribuye al mejoramiento del rendimiento del grano, biomasa, altura de planta y contenido de Si, tanto en el grano como en el follaje. Igualmente, contribuir a la generación de conocimientos sobre el manejo del Si en el cultivo, buscando rendimientos sostenidos a través de los años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó bajo condiciones de casa de vegetación, utilizando un suelo Ultisol de la Estación Experimental de Calabacito y un Alfisol de

Las Guabas, representativos de las áreas productoras de arroz en las provincias de Veraguas y Coclé, respectivamente. Se utilizaron cinco niveles de Si (0, 20, 40, 80, 160 kg de SiO_2 ha^{-1}) aplicados como óxido de silicio. Se utilizó como fuente de Si, el silicato de calcio con 73% de SiO_2 y 3% de CaO .

Los suelos muestreados de 0 a 20 cm fueron secados al aire, homogeneizados y tamizados a través de una malla de 2 mm y analizados en sus características físico químicas, previo a la siembra y después de la cosecha. La textura se determinó por el método de Bouyoucos; mientras que el P y K fueron extraídos con Mehlich 1 y determinados por colorimetría y fotometría de llama, respectivamente. El Ca, Mg y Al intercambiables fueron extraídos con la solución de KCl 1N y determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Ca y Mg) y titulación con NaOH 1N (Al). El Cu, Fe, Mn y Zn fueron extraídos con Mehlich-1 y determinados por espectrofotometría de absorción atómica. El pH fue determinado en una proporción suelo-agua 1:2.5. El Si disponible en el suelo se determinó siguiendo la metodología de Kilmer (1965).

Los suelos se mezclaron con los diferentes niveles de Si y luego fueron colocados en los recipientes que tenían una capacidad para cinco kilogramos de suelo. Adicionalmente se realizó una fertilización de NPK, empleando el superfosfato triple como fuente de P_2O_5 a razón de 100 kg ha^{-1} , cloruro de potasio como fuente de K_2O en dosis de 80 kg ha^{-1} y urea como fuente de N a razón de 100 kg N por hectárea. La aplicación de N se fraccionó a los diez, treinta y sesenta días posterior a la siembra.

El material genético de arroz cultivado fue el Vioal - 3189 a razón de 3 semillas por recipiente. Las plantas se mantuvieron saturadas a capacidad de campo, desde la germinación hasta los treinta días. Luego se mantuvo una lámina de agua permanente hasta la maduración del grano. Los datos fueron tomados a la cosecha, 120 días después de la siembra (dds), para determinar el efecto de los tratamientos en el peso de la espiga, peso de biomasa producida, rendimiento de grano, número de hijos producidos y altura de las plantas. Posterior al corte de las plantas (hojas + espiga), las muestras fueron secadas a 65°C en horno de aire forzado y se pesó la materia seca.

Para determinar la concentración de Si en el grano y follaje se empleó la metodología de ignición en mufla y determinación por gravimetría hasta lograr tres pesadas parecidas (EMBRAPA, 1997).

Para conocer el valor de la producción relativa en cada tratamiento se dividió el peso promedio de la producción de grano de cada tratamiento, de ambos suelos, entre el peso promedio del tratamiento que presentó la mayor producción de grano multiplicado por 100. Se determinaron, las curvas de regresión entre dosis y

contenido de Si en hojas y granos. Además, se determinó el nivel crítico de Si en el suelo utilizando el método gráfico de Cate y Nelson (1965).

Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con 5 tratamientos y 4 repeticiones.

El análisis estadístico fue realizado empleando el programa estadístico SAS para ANOVA, prueba de Duncan y análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las características físicas y químicas de los suelos de las áreas seleccionadas. El suelo de Calabacito presenta un menor pH, niveles inferiores de P, bases intercambiables y niveles más altos de aluminio intercambiable, evidenciando con esto que son suelos altamente intemperizados y lixiviados, con acentuada desilicización y pobreza en bases, constituidos por una fracción arcillosa, dominada por caolinita e importantes fracciones de gibsita y goetita (Name et al. 1991).

El suelo de Las Guabas presentó un nivel mucho más elevado de fertilidad permitiendo suponer que probablemente, la aplicación de Silicio no tendrá mayor efecto positivo en los parámetros seleccionados para medir el efecto del mismo en el rendimiento.

Esta diferencia marcada en el contenido de macro y micro nutrientes permitió comparar el efecto de la aplicación del Si a nivel de laboratorio e invernadero.

Según Snyder et al. (1991), suelos con niveles de Si inferiores a 10 mg kg⁻¹, extraídos con ácido acético 0.5 molar, deberán recibir fertilización con silicato de calcio para obtención de rendimiento máximo; mientras que, suelos con concentraciones iguales o superiores a 13 mgkg⁻¹, no necesitarían la aplicación de este elemento.

Cuadro 1. Caracterización física y química de los suelos previo a la siembra.

Suelos	Textura	PH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Cu	Zn	Si
	A L Arc	(suelo-agua 1:2,5)	mgKg ⁻¹		cmolKg ⁻¹			mg Kg ⁻¹				
Las Guabas	50 18 32 FARA	5.4	15.0	55.0	0.67	0.21	0.3	82.0	56.0	1.0	3.0	12.2
Calabacito	17 39 44 F	4.7	Tr	31.0	0.58	0.10	3.0	4.0	39.0	3.0	Tr	5.0

Cuadro 2. Caracterización química de los suelos después de la cosecha

Tratamiento	pH	P	K	Ca	Mg	Al
kg ha ⁻¹	(suelo-agua 1: 2.5)	mg l ⁻¹		cmol kg ⁻¹		
Calabacito						
0	4.6	Trazas	30	0.60	0.08	0.6
20	5.1	Trazas	31	0.62	0.09	0.8
40	5.3	2	33	0.61	0.10	1.0
80	5.4	2	33	0.60	0.10	0.7
160	5.4	1	33	0.66	0.10	0.6
Las Guabas						
0	5.3	12	58	0.68	0.20	0.3
20	5.4	12	59	0.66	0.23	0.2
40	5.4	12	63	0.70	0.24	0.2
80	5.4	11	64	0.71	0.24	0.3
160	5.5	11	64	0.71	0.25	0.2

Se observa en el Cuadro 2 que la permanencia de una condición anaeróbica en los suelos tuvo un efecto importante sobre el pH y los niveles de aluminio intercambiable, principalmente, en el suelo de Calabacito. Los niveles de fósforo fueron influenciados por el aumento del pH y por los niveles crecientes de Si aplicado al suelo. En relación a el calcio y magnesio no se observó ningún efecto, por la baja concentración de estos elementos en el material utilizado.

En el Cuadro 3, se aprecia que la aplicación de Si afectó estadísticamente el número de hijos en el caso del suelo ultisol, cuando las dosis fueron de 20 y 40 kg de SiO₂ ha⁻¹.

En cambio, en el suelo alfisol, el Si afectó positivamente la altura de la planta, el número de hijos y la biomasa; mientras que afectó negativamente el rendimiento de grano.

En todos los casos, los coeficientes de variación fueron bajos comprobando el manejo riguroso que se le dio al experimento. La baja respuesta a la aplicación de Si observada en el suelo de Calabacito, probablemente puede ser atribuida a la elevada capacidad de fijación de fosfato de este suelo. Según Kato (1998), ambos

mecanismos de fijación son muy semejantes y compiten entre sí. Esto puede comprobarse por la baja concentración de Si disponible después de la siembra que se observa en este suelo (Cuadro 6), lo que coincide con los resultados encontrados por Korndorfer et al, (1999) en ultisoles de Brasil.

Cuadro 3. Efecto de los niveles de SiO₂ en la altura, producción de biomasa, rendimiento de grano y número de hijos de plantas de arroz en suelos Ultisoles y Alfisoles. (n = 4)

Tratamiento	Altura	Biomasa	Rendimiento de grano	Número de hijos
kg ha ⁻¹	cm	g		N°
ULTISOL				
0	85.5 a	131.5 a	28.5 a	3.2 b**
20	90.5 a	194.1 a	31.9 a	4.0 a
40	89.6 a	155.2 a	30.8 a	4.5 a
80	88.0 a	169.4 a	28.5 a	3.0 b
160	90.5 a	135.7 a	28.3 a	3.0 b
C.V.	3.5 %	26.6%	13.4%	9.6%
ALFISOL				
0	84.0 c**	278.6 ab*	35.3 a*	3 d**
20	90.0 ab	327.5 ab	27.8 ab	4.7 ab
40	90.5 a	357.1 ab	23.5 ab	5 a
80	85.0 c	393.7 a	23.8 b	4.2 bc
160	87.0 ab	248.3 b	24.4 b	3.8 c
C.V.	2.3 %	26.6%	20.3%	9.3%

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

** Significativa 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

En el Cuadro 4, al comparar los resultados del experimento considerando el efecto del suelo, se encontró que en el alfisol se dio una mayor producción de biomasa y número de hijos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de grano y en la altura; sin embargo, se detectó mayor rendimiento y altura en el ultisol.

Cuadro 4. Efecto del tipo de suelo sobre la altura, producción de biomasa y rendimiento de grano de plantas de arroz.

Suelo	Altura cm	Biomasa (g)	Rendimiento de grano (g)	Número de hijos
Calabacito	88.9 a	153.2 b**	29.6 a	3.6 b**
Las Guabas	87.3 a	320.9 a	27.1 a	4.1 a
C.V.	3.0%	26.6%	17%	9.5%

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

** Significativa al 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

Cuadro 5. Efecto de la dosis de SiO₂ sobre la altura, producción de biomasa, rendimiento de grano y número de hijos de plantas de arroz considerando las muestras en conjunto, (n = 8)¹.

Tratamiento de Si kg ha ⁻¹	Altura cm	Biomasa g	Rendimiento de granos (g)	Número de hijos
0	84.9 c**	205.2 b*	32.0 a	3.1 c**
20	90.3 a	248.0 ab	29.6 a	4.4 a
40	90.0 a	254.7 ab	27.3 a	4.8 a
80	86.6 bc	283.1 ab	26.4 a	3.6 b
160	88.8 ab	194.2 b	26.2 a	3.3 b
C.V.	3%	27.5%	18%	11.5%

¹ Promedio de ocho lecturas.

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* significativa al 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

** Significativa al 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

El análisis combinado de los resultados obtenidos en los dos suelos permitió detectar diferencias estadísticamente significativas en la altura, biomasa y número de hijos (Cuadro 5)

Datnoff et al, (1997), al estudiar el efecto de la aplicación de silicio en la forma de silicato de calcio, sobre la producción de biomasa en caña de azúcar, encontraron que al aplicar dosis elevadas, (> de 4 tha⁻¹) había una disminución en la altura de las plantas y en la producción de biomasa, no así en el número de hijos de la caña de azúcar. Atribuyendo este hecho observado a que dosis muy elevadas del producto producen un aumento en el pH del suelo, lo que puede traer como consecuencia la insolubilización de ciertos micronutrientes.

Cuadro 6. Efecto de niveles de SiO₂ en la concentración de Si disponible en el suelo, peso de granos y producción relativa en un ultisol y un alfisol.

Tratamientos de Si	Si disponible en el suelo*	Peso de granos*	Producción relativa
kg ha ⁻¹	mg l ⁻¹	gramos	%
Ultisol			
0	0.89	28.54	80.94
20	1.04	31.94	90.58
40	6.94	30.75	87.21
80	4.78	28.51	80.86
160	2.87	28.29	80.23
Alfisol			
0	2.88	35.26	100.00
20	4.61	27.80	78.84
40	9.36	23.51	66.68
80	9.38	23.75	67.36
120	7.48	24.44	69.31

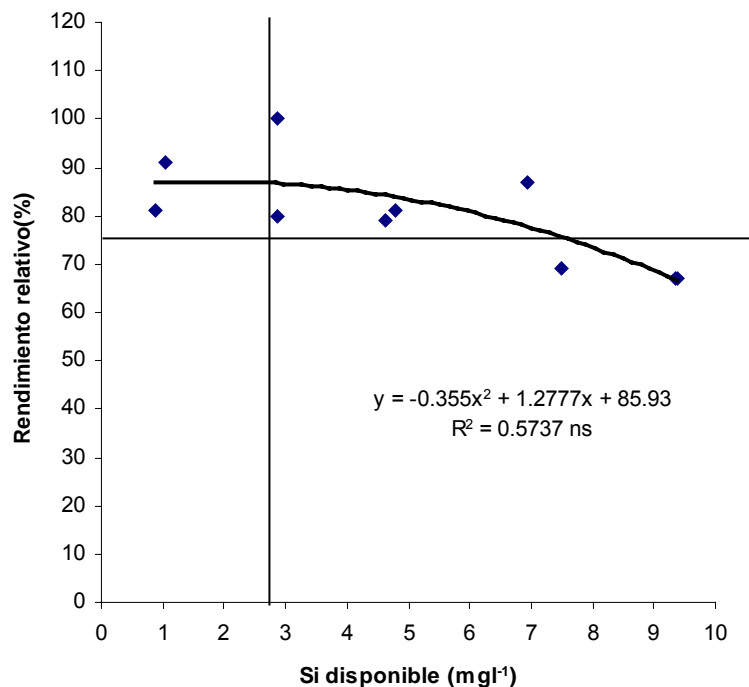
* n = 4

El Cuadro 6 muestra los promedios de Si disponible en cada tratamiento y peso de grano utilizados para el cálculo del rendimiento relativo. Se observa que los mejores promedios de rendimiento relativo fueron obtenidos al aplicar 20 y 40 kg ha⁻¹ en el suelo de Calabacito, y 0 kg ha⁻¹ en Las Guabas. En ambos suelos, se presenta una tendencia a aumentar la concentración de Si disponible hasta los 40 kg ha⁻¹. A partir de los 80 kg ha⁻¹, la tendencia de la concentración de Si en el suelo es a disminuir con relación a la dosis anterior; indicando la posibilidad de la fijación del elemento aplicado sobre este nivel.

La relación entre contenido de Si disponible en el suelo y rendimiento relativo de arroz en cada tratamiento aparece en la Figura 1. Para obtener el nivel crítico de Si en el suelo (2.8 mg l⁻¹) fue necesario definir primeramente la ecuación matemática que mejor se ajustaba al modelo, luego se estableció el modelo gráfico de acuerdo a Cate y Nelson (1965). El análisis de regresión mostró que la ecuación $y = -0.363x^2 + 1.3946x + 85.623$ fue la que presentó el mejor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.59$).

Korndörfer et al. (1999), trabajando con Ultisoles de Brasil, encontraron que un nivel de 9.8 mg l⁻¹ de Si en el suelo era suficiente para obtener una óptima producción de arroz.

Figura 1. Relación entre rendimiento relativo y concentración de Si disponible en el suelo.



Cuadro 7. Efecto de la dosis de SiO₂ en el contenido de macro y micronutrientos en el grano de arroz al momento de la cosecha.

Tratamiento de Si kg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
	%					mgKg ⁻¹				
0	0.99 b	0.17 c**	0.16 c**	0.07 ab*	0.06 bc**	1.68 e**	9.7 b**	250.0 a**	120.3 **	31.1 a
20	1.01 b	0.28 a	0.17 ab	0.07 ab	0.07 b	2.10 d	10.0 b	142.6 c	77.6 c	29.8 a
40	1.13 a	0.27 a	0.18 a	0.08 a	0.10 a	2.35 c	9.8 b	129.6 d	102.0 b	29.7 a
80	1.00 b	0.22 b	0.16 bc	0.06 b	0.06 c	2.38 b	9.8 b	112.0 e	79.3 c	29.8 a
160	1.15 a	0.13 d	0.15 c	0.07 ab	0.05 d	2.61 a	19.4 a	187.8 b	71.5 d	30.1 a
CV(%)	11.01	6.6	6.62	19.5	13.4	1.24	9.95	3.68	6.22	6.81

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

** Significativa 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

Los tratamientos mostraron una gran influencia en el contenido de Si, en el grano y en el follaje de las plantas de arroz. Como puede ser observado en los Cuadros 7 y 8. Lo que se demuestra al encontrarse un elevado coeficiente de correlación entre

Si y los cinco tratamientos ($r = 0.95$; $\alpha = 1\%$) comprobando la alta relación de dependencia entre ambas variables. A partir de los 20 kg ha^{-1} de Si, la tendencia es a aumentar la concentración de sílice tanto en el grano como en el follaje, dándose la posibilidad que esto mejore la resistencia a diferentes tipos de estrés a la cual pueda estar sometida la planta y a una mejor calidad del grano.

Cuadro 8. Efecto de la dosis de SiO_2 en el contenido de macro y micro nutrientes en el follaje de plantas de arroz al momento de la cosecha. ($n = 8$)*

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Mn	Fe	Zn
kg ha^{-1}	%						mg kg^{-1}			
0	1.12 b**	0.02 c**	0.58 a**	0.22 a**	0.12 b**	2.6 c**	20.0 ab**	1178.9 a**	932.7 b**	53.2 b**
20	1.31 a	0.07 a	0.44 b	0.22 a	0.13 b	4.3 b	21.4 ab	1093.2 ab	1692.9 a	45.5 b
40	1.09 b	0.06 ab	0.45 a	0.23 a	0.09 b	4.7 a	20.5 ab	735.1 c	1847.4 a	44.6 b
80	1.12 b	0.04 bc	0.45 b	0.22 a	0.09 b	4.7 a	15.4 b	848.6 bc	1607.2 a	49.5 b
160	1.15 b	0.02 c	0.39 c	0.22 a	0.17 a	4.8 a	22.1 a	1085.1 b	1074.7 b	75.2 a
CV(%)	11.7	23.6	8.2	7.0	27.3	6.5	29.5	24.3	26.6	20.2

* Cada valor representa el promedio de ocho lecturas.

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

** Significativa 1% de probabilidad según la prueba de Duncan

El contenido de P no guarda una relación directa con el aumento del nivel de Si aplicado. Se puede verificar que tanto en el grano como en el follaje, los mayores contenidos en la parte aérea de la planta se obtuvieron al aplicar 20 y 40 kg de SiO_2 por hectárea. También, lo demuestra el índice de correlación obtenido, siendo este negativo y no significativo entre el nivel de Si y contenido de P, ($r = -0.09$; $\alpha = 55\%$). Según Kato (1998), elevadas aplicaciones de silicato de calcio pueden provocar la elevación excesiva del pH del suelo, ocasionando la fijación de los fosfatos; y consecuentemente, una disminución de la concentración de P disponible en la solución del suelo.

Korndörfer, et al (1999), al aplicar diferentes niveles de SiO_2 en experimentos con arroz de secano, realizados en suelos ácidos de Brasil, encontraron que los mejores resultados se obtenían al aplicar dosis de SiO_2 entre 80 y 150 kg ha^{-1} .

A pesar de haberse obtenido valores elevados de Fe en el follaje, superiores a 1100 mg kg^{-1} ; las plantas no mostraron síntomas de fitotoxicidad por Fe. La humedad del suelo permaneció, por un largo período de tiempo, superior a la capacidad de campo, lo que favoreció una condición de anaerobiosis y posiblemente la reducción del Fe ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$), aumentando de esta forma la disponibilidad para las plantas.

La presencia o exceso de Fe^{2+} en la solución del suelo, puede provocar toxicidad de este elemento en el arroz y deficiencia de otros micro y macro nutrimentos esenciales en la nutrición de la planta (Ponnamperuma y Castro, 1972). Tratándose de suelos ultisoles y alfisoles ricos en óxidos de Fe era de esperarse una posible muestra de fitotoxicidad en las plantas; sin embargo, según Korndorfer et al (1999), la absorción de Si por la planta de arroz tiene un gran efecto en el transporte de O_2 hasta las raíces. El Si puede aumentar el número y el diámetro de las parénquimas de las plantas, estructuras responsables por la conducción del oxígeno de las hojas hasta la raíz. De esta forma, mientras mayor sea la cantidad de Si absorbido, mayor es el transporte de O_2 ; y en consecuencia, mayor la precipitación del Fe libre (Fe^{2+}) y menor su absorción.

Según Snyder et al. (1991), el cultivo de arroz al menos debe contener 3% de Si en la parte aérea para garantizar un desarrollo ideal y aumento en el rendimiento. En los suelos estudiados las cantidades promedio variaron entre 2.6 y 4.8% (Cuadro 7).

Según Takahashi, (1995), la cantidad de Si en la hoja de plantas de arroz está directamente relacionada con la cantidad de Si aplicada al suelo. Se cree que el Si proporciona protección contra enfermedades fungosas, debido a que este elemento crea una barrera mecánica en la epidermis de la hoja a través de la precipitación del Si. Además, también reduce la formación de amino ácidos y almidón que promueven el crecimiento de los hongos.

Cuadro 9. Efecto del tipo de suelo sobre el contenido de macro y micro nutrimentos en el follaje de plantas de arroz al momento de la cosecha. **

Suelo	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						mg kg^{-1}			
Ultisol	1.83a*	0.02b*	0.54a*	0.26a*	0.09b*	3.20b*	25.1a*	1723.4a*	597.5b*	64.2b*
Alfisol	0.48b	0.06a	0.39b	0.18b	0.15a	5.27a	14.7b	1138.6b	1378.9a	43.1b

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

*significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

Cuadro 10. Efecto del tipo de suelo sobre el contenido de macro y micro nutrimentos en el grano de arroz al momento de la cosecha.

Suelo	N	P	K	Ca	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Zn
	%						mg kg^{-1}			
Ultisol	1.06a	0.21a	1.70a	0.08a*	0.07a	2.22a	11.8a	89.4 ^a	165.4 ^a	30.6a
Alfisol	1.06a	0.22a	1.67a	0.07b	0.07a	2.24a	11.7a	90.9 ^a	163.5 ^a	29.8a

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa.

* significativa 5% de probabilidad según la prueba de Duncan

Con relación al efecto del suelo sobre el contenido de nutrimentos en la parte aérea y en el grano, se puede observar en los cuadros 9 y 10 que el suelo no mostró efecto en el contenido de nutrimentos del grano, a pesar, de la gran diferencia en su estado de fertilidad (Cuadro 1), pero sí se observaron diferencias estadísticamente significativas en el follaje.

Como se comprueba en las Figuras 2 y 3, el arroz es una gramínea que tiende a acumular Si, tanto en las hojas como en el grano. Sin embargo, cuando las dosis son muy elevadas la acumulación es menor y se incurre en la aplicación de cantidades innecesarias del nutrimento. En las hojas (Figura 2), se puede observar que la ecuación polinomial obtenida nos muestra que es innecesario aplicar más de 100 kg de $\text{SiO}_2\text{ha}^{-1}$ para aumentar el contenido de Si en la hoja de arroz. En el grano (Figura 3), después de 130 kg de $\text{SiO}_2\text{ha}^{-1}$, no se observa un aumento en la acumulación de Si en el grano, según la ecuación polinomial obtenida ($R^2 = 0.90$).

Figura 2. Relación entre dosis de SiO_2 aplicada y porcentaje de Si absorbido por la planta.

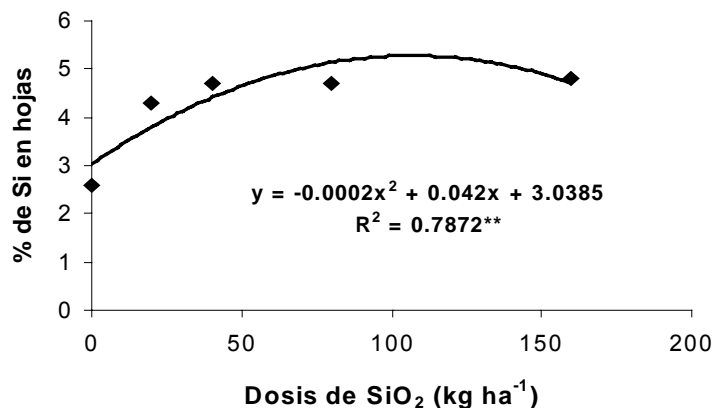
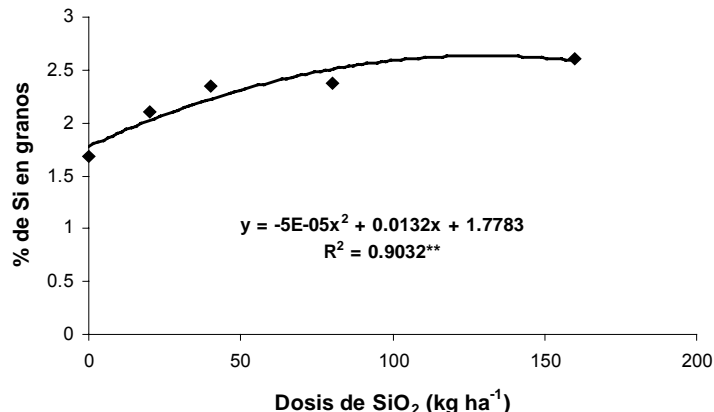


Figura 3. Relación entre dosis de SiO_2 aplicado y porcentaje de Si en el grano de arroz.



CONCLUSIONES

1. En el suelo del orden Ultisol (Calabacito) por ser un suelo con alta capacidad de fijación no se observó aumento estadísticamente significativo en el rendimiento de arroz al aplicar diferentes dosis de SiO_2 ; sin embargo, sí hubo un mayor ahijamiento al aplicar entre 20 y 40 kg ha^{-1} de SiO_2 .
2. En el suelo del orden Alfisol (Las Guabas) por ser un suelo de mediana fertilidad no se obtuvo un mayor rendimiento al aplicar dosis crecientes de SiO_2 ; sin embargo, hubo respuesta en parámetros como: altura de la planta, biomasa del cultivo y ahijamiento, principalmente, cuando se adicionó entre 20 y 40 kg ha^{-1} de SiO_2 .
3. En general, se comprobó que la fertilización de suelos intemperizados con SiO_2 mejora la capacidad fotosintética de los cultivos, altura de la planta, biomasa y número de hijos del cultivo.
4. Se observó una elevada producción relativa en el suelo de Calabacito. Especialmente en los tratamientos donde se aplicó 20 y 40 kg ha^{-1} de SiO_2 , con 90 y 87%, respectivamente.
5. Los resultados del experimento, como primera aproximación, evidencian que una concentración de 2.8 mg l^{-1} de Si disponible en el suelo es suficiente para garantizar una buena producción de arroz en suelos altamente intemperizados.
6. Se encontró que la aplicación de SiO_2 al suelo entre 20 y 40 kg ha^{-1} contribuye a aumentar la absorción de fósforo y hierro.
7. A pesar de las elevadas concentraciones de hierro en follaje, no se detectaron síntomas de toxicidad en la planta.
8. Según la ecuación de regresión para producir un aumento en el contenido de Si en follaje y grano se requieren, como máximo, 100 y 130 kg ha^{-1} de SiO_2 aplicados al suelo, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H. y MARTIN, F.G. 1991. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. *Agrom. J.*, 8: 870-874.
- CATE, R.B.Jr. y NELSON, L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *Tech. Bul. N° 1*, International soil fertility project, North Carolina State University.
- DATNOFF, L.E.; KONRDÖRFER, G.H. y SNYDER, G.H. 1997. Efeito do silicato de calcio sobre a acidez do solo e produção de matéria seca de cana de açúcar. XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Julio 20-26, Rio de Janeiro, Brasil. En CD-ROM.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H. y JONES, D.B. 1991. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Disease*, 75:729-732.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa de Solos- CNPS- 1997- Manual de Métodos de Análisis de Suelos. Rio de Janeiro. 110 p.
- ESPTEIN, E. 1991. *Proceedings of National Academic Science, U.S.A.* 91: 11-17.
- FOX, R.L.; SILVA, J; YOUNGER.; PLUCKNETT, D.L. y SHERMAN, G.G. 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Proc. Soil Sci Soc. Am.*, 31: 775-779.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Y LOURENSO, S. 1997. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils nutrient management and plant efficiency. In MONIZ, A.C. et al, eds. *Plant – soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Proceeding of the fourth international symposium on plant – soil interactions at low pH*, SBCS. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 17-24 de marzo. p. 97-104.
- KATO, N. 1998. Evaluation of silicon availability in paddy soils by an extraction using a phosphate buffer solution. *Proceedings of 16 World Congress of Soil Science, Montpellier, Francia*, 23-28 de agosto. En CD-ROM.
- KILMER, V.J. 1965. Silicon In: Black, C.A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy. p. 959-962 (Monograph 9).

- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORREA, G.F y SNYDER, G.H. 1999. Efeito do silicato de calcio no teor de silicio no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. *Revista Bras. Ci.Solo*, 23:635-642.
- NAME, B.; SMYTH, T.J. y MARQUEZ, E. 1991. Dinámica del potasio en un Ultisol de Panamá. *Ciencia Agropecuaria* 7:9-23.
- PONNAMPERUMA, F.N. y CASTRO, R.U. 1972. Varietal differences in resistance to adverse soil conditions. In *Rice breeding*, International Rice Research Institute. Los Baños, Phillippines. p. 677-684.
- SNYDER, G.H. 1991. Development of a silicon soil test for Histosols grown rice. Belle Glade, Univ. Florida. (EREC Res. Report.).
- TAKAHASHI, E. 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. Tokyo. *Sci. Rice Plant*, 2:99-122.

EVALUACIÓN AGRONOMICA DE LA ROCA FOSFORICA DE CAROLINA DEL NORTE EN UN ULTISOL, EN UNA ROTACION ARROZ - FRIJOL

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

En un suelo Typic isohipertérmico Plinthudult se evaluó el efecto de dosis, fuentes y formas de aplicación de la roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN) con el superfosfato triple (SFT) en una rotación arroz-frijol, encontrándose diferencias altamente significativas en las dosis empleadas. Se determinó como posible rango de respuestas para aplicaciones bianuales de RFCN o SFT las dosis entre 88 y 132 kg ha⁻¹ de P, para el cultivo de arroz. En el caso del frijol, como segundo cultivo, se encontró que dosis mayores de 44 kg ha⁻¹ de P no incrementan los rendimientos. Para aplicaciones anuales, las dosis óptimas en el cultivo del arroz fueron de 44 kg ha⁻¹. El nivel crítico para el arroz variedad Panamá-1048 (P-1048) en estos suelos es del orden de 2.3 mg l⁻¹ con la metodología de Cate y Nelson y el modelo Linear Plateau; mientras que el nivel crítico del frijol vigna, variedad RH-209 se encontró cerca de 4.2 con Cate y Nelson y 2.9 mg l⁻¹ con el modelo Linear Plateau.

PALABRAS CLAVES: *Oryza sativa*, arroz, fosfato mineral, rotación de cultivos, rendimiento, *Vigna unguiculata*, variedades, Panamá.

INTRODUCCIÓN

Se estima que los suelos ácidos e infértiles de Panamá ocupan una superficie que sobrepasa el 40% del Territorio Nacional (Comisión de Reforma Agraria, 1970). A nivel del trópico latinoamericano, los ultisoles se encuentran en más del 29% de la superficie (320 millones de hectáreas) y se caracterizan por ser deficientes en macro y micro elementos, y algunas veces, por toxicidad de aluminio (Sánchez y Salinas 1983). Sánchez y Cochrane (1980) estimaron que más del 96% de los suelos ácidos presentan deficiencias en fósforo (P).

Name y colaboradores (1979, 1987) encontraron respuesta al P en los ultisoles de Panamá. Yost (1977) determinó que existía una máxima capacidad de absorción por unidad de maíz con el fósforo aplicado al voleo. Otros autores indicaron que en suelos arcillosos no hubo diferencia significativa entre la aplicación de P en banda y al voleo, si se utilizan las mismas cantidades de P en la producción acumulada de 10 cosechas (Smyth y Cravo, 1990).

Para utilizar los suelos ácidos con las restricciones químicas que presentan, en la agricultura moderna se hace necesario introducir el uso de enmiendas como la cal y fertilizantes fosforados. La roca fosfórica (RF) es una fuente de fósforo barato, de baja solubilidad en agua, pero soluble en citrato de amonio, ácido cítrico y ácido fórmico (Brenes, 1992).

En Brasil, Smyth y Sánchez (1980a) señalaron que aplicaciones directas de RF a un suelo ácido (oxisol), bajo ciertas condiciones, es una alternativa para reducir los altos costos por los grandes requerimientos iniciales de fertilizantes fosforados de cosechas anuales en suelos que fijan altas cantidades de fósforo.

En Costa Rica, Ramírez (1980) demostró, bajo condiciones de casa de vegetación, la alta efectividad agronómica relativa de varias rocas fosfóricas en suelos ácidos, al compararlas con el SFT. Fenster y León (1978) consideraron que los suelos altamente ácidos y con deficiencias de P, típico de la mayoría de las tierras que han sufrido procesos de prolongada intemperización, son los más necesitados de enmiendas fosfóricas y los que presentan mejores condiciones para la solubilización de la RF, y un buen potencial para su uso agronómico en cultivos perennes.

El presente trabajo tuvo como objetivos: evaluar en un período corto (2 años) la efectividad de la roca fosfórica de Carolina del Norte como una fuente alterna de fósforo de bajo costo, que permita otra alternativa en suelos ultisoles. Además, evaluar las diferencias entre métodos de aplicación con las diferentes fuentes utilizadas y su efectividad agronómica en una rotación de cultivos arroz-frijol.

MATERIALES Y METODOS

Localización, Precipitación y Suelo

El área experimental se encuentra localizada en la Estación Experimental de Calabacito, a los 8° 15' de latitud Norte y 81° 5' de longitud Oeste, a 100 msnm, con precipitación y temperatura promedio anual de 2500 mm y 27 °C, respectivamente. El sitio experimental seleccionado no había sido cultivado en los últimos 20 años, donde predominaba una mezcla de gramíneas (*Andropogon bicornis* e *Hyparrhenia rufa*).

El suelo es Typic Plinthudult, fino, mezclado, isohipertérmico. Es profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio catiónico (14 cmol₍₊₎kg⁻¹, promedio del perfil). El contenido de bases cambiables es muy bajo, ya que en el horizonte Ap ocupa sólo el 32% de la CIC, determinada por la suma de cationes; mientras que, en los horizontes más profundos oscila entre el 1 y 6%. El resto de la CIC es ocupada mayormente por la acidez extraíble. En la fracción arcilla domina la caolinita y aparecen en pequeñas cantidades vermiculita, goetita y gibsita. Esto explica la baja CIC del suelo y el estado avanzado de intemperismo que ha sufrido (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características químicas del suelo de Calabacito.

Horizonte	Carbono Orgánico	---pH---		-----Bases Cambiables-----							
		NaF	H ₂ O	Ca	Mg	K	Suma bases	Acidez Extraíble	Al	CIC	Saturación de bases
	%			-----cmol (+)kg ⁻¹ -----							%
Ap	1.67	4.4	4.8	5.1	0.4	0.2	5.7	12.2	0.8	17.9	32
Bt 1	0.96	3.8	4.8	0.8	0.1	–	0.9	14.8	4.4	15.7	6
Bt 2	0.63	3.9	5.1	0.2	Tr	–	0.2	12.8	4.0	13.0	2
Bt 3	0.34	3.9	5.2	0.5	Tr	–	0.5	12.1	3.6	12.6	4
Br 1	0.24	3.8	5.1	0.1	Tr	–	0.1	12.5	4.3	12.6	1
Br 2	0.17	3.8	5.1	0.2	Tr	–	0.2	13.6	5.3	13.8	1

Diseño de tratamiento

El experimento constó de 19 tratamientos, utilizándose dos fuentes de P, RFCN (0-30.5-0) y SFT (0-46-0); dos métodos de aplicación, voleo y banda; cuatro dosis de P (0, 44, 88 y 132 kg ha⁻¹ de P) con rotaciones anuales de arroz-vigna (*Oriza sativa* y *Vigna unguiculata*) (Cuadro 2).

Durante el primer año los tratamientos se plantean por duplicado para cada dosis y fuente de fósforo aplicado al voleo.

Durante el segundo año, el P se aplicó una vez más en la mitad de los tratamientos al voleo y la otra mitad se utilizó para medir el valor residual de las fuentes.

El fósforo en banda se aplicó anualmente, a la primera siembra de la rotación arroz-frijol vigna, como se describe en el cuadro de tratamientos.

Se utilizó un diseño factorial dispuesto en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Se determinaron los niveles críticos para el P en arroz y frijol, según la metodología de Cate y Nelson, y por el modelo Lineal plus Plateau (Waugh y colaboradores, 1973).

Cuadro 2. Descripción de tratamientos, fuentes, formas de aplicación y dosis de fósforo en Calabacito 1992 – 1993.

Tratamiento	Fuente de Fósforo	Forma de aplicación	Primer año		Segundo año	
			Arroz ----- kg ha^{-1} -----	Frijol	Arroz ----- kg ha^{-1} -----	Frijol
1			0	0	0	0
2	RFCN	Voleo	44	0	0	0
3		Voleo	44	0	44	0
4		Voleo	88	0	0	0
5		Voleo	88	0	88	0
6		Voleo	132	0	0	0
7		Voleo	132	0	132	0
8		Banda	44	0	44	0
9		Banda	88	0	88	0
10		Banda	132	0	132	0
11	SFT	Voleo	44	0	0	0
12		Voleo	44	0	44	0
13		Voleo	88	0	0	0
14		Voleo	88	0	88	0
15		Voleo	132	0	0	0
16		Voleo	132	0	132	0
17		Banda	44	0	44	0
18		Banda	88	0	88	0
19		Banda	132	0	132	0

RFCN – Roca fosfórica de Carolina del Norte

SFT – Super Fosfato Triple

Manejo del ensayo

En la rotación anual, el arroz fue el primer cultivo utilizado. Se sembró a una densidad de 136 kg ha^{-1} de la variedad P-1048. Se utilizaron parcelas de 2.5 m de ancho por 5 m de largo (12.5 m^2).

Para el arroz se utilizaron 16 surcos de 5 metros de largo con una separación entre surcos de 30 cm. Para el frijol vigna, se sembraron 10 surcos de 5 m de largo separados por 50 cm entre surcos, con una densidad de siembra de 240,000 plantas por hectárea.

En el caso del arroz, se cosecharon 14 surcos centrales, eliminando 50 cm a cada lado de los surcos para un área útil de 6 m^2 . Para el frijol, se cosecharon los surcos centrales dejando un área útil de 7.5 m^2 .

El cultivo del arroz se fertilizó con 120 kg ha^{-1} de N, utilizando como fuente urea (46% N), con aplicaciones, 1/3 al momento de la siembra, 1/3 al inicio de la macolla (20-25 días después de germinado) y 1/3 al inicio de la floración. Igualmente, se aplicó al momento de la siembra 50 kg ha^{-1} de potasio, como óxido de potasio (K_2O). Utilizando como fuente de potasio, el sulfato de potasio y magnesio (KMgSO_4) y cloruro de potasio (KCl). De esta manera, se satisface el requerimiento de potasio, magnesio y azufre. Al momento de la primera siembra también se aplicó 8 kg ha^{-1} de zinc, como óxido de zinc; 20 kg ha^{-1} de azufre, como sulfato de potasio y magnesio; Mo a razón de 100 g ha^{-1} como molibdato de amonio y 6 kg ha^{-1} de B como bórax.

El frijol vigna se fertilizó con 20 kg ha^{-1} de N aplicado a la siembra exclusivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Precipitación

Durante todo el ciclo de los dos cultivos de arroz se presentó buena humedad en el suelo. Las Figuras 1 y 2 muestran la distribución mensual en la cual se observan precipitaciones mensuales mayores de 150 mm entre los meses de mayo y noviembre para los años de 1992 y 1993, época en que se ubicó el cultivo del arroz y que coincidió con parte del ciclo del cultivo del frijol.

Rendimiento

El análisis de los datos de 1992 para rendimiento de grano del primer cultivo de arroz indica que no existen diferencias significativas entre las fuentes de P usadas (RFCN y SFT), ni entre los métodos de aplicación, banda versus voleo. Sin embargo, el rendimiento de grano de arroz y biomasa se incrementó significativamente con el

uso de P, aumentando de 4.0 y 9.1 tonha^{-1} , sin fertilizar, a 6.2 y 12.4 tonha^{-1} , respectivamente, utilizando 44 kgha^{-1} de P (Cuadro 3).

La misma tendencia se observó con cualesquiera de las fuentes usadas o el método de aplicación empleado. La respuesta a la aplicación de fósforo parece seguir un modelo cuadrático como lo sugiere la Figura 2. Estos rendimientos son altos, inclusive para el testigo, por lo que se deduce que la precipitación y distribución de la lluvia durante el ciclo del cultivo fue adecuado (Figuras 1 y 2).

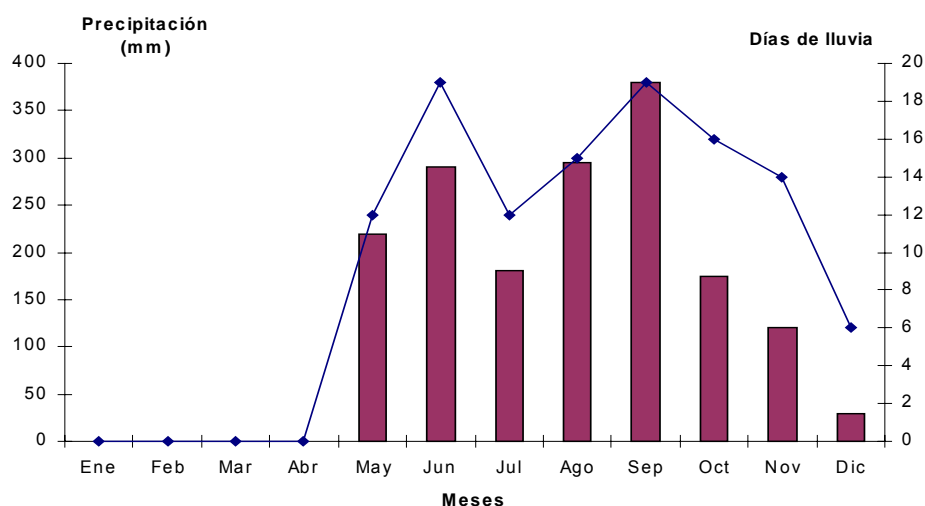


Figura 1. Precipitación mensual promedio en la Estación Experimental de Calabacito, Veraguas. 1992

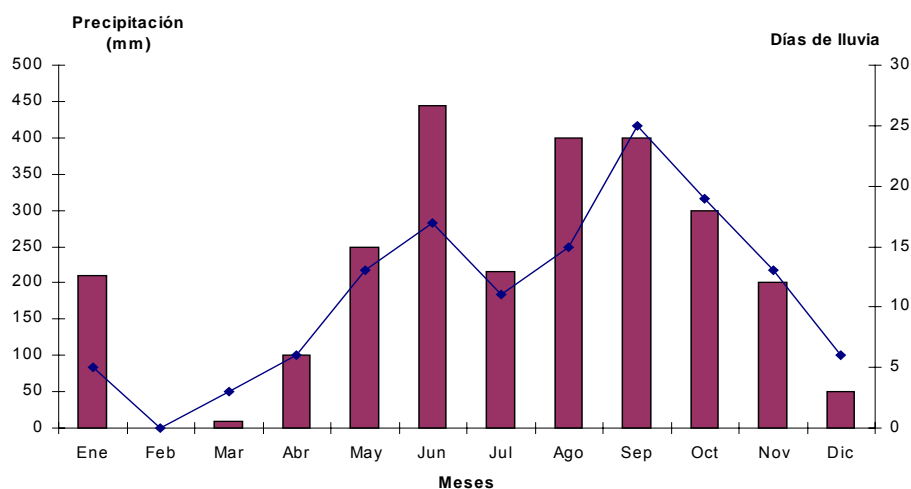


Figura 2. Precipitación mensual promedio en la Estación Experimental de Calabacito, Veraguas. 1993.

Cuadro 3. Rendimiento de grano y biomasa de arroz según fuente, dosis y métodos de aplicación de P. Calabacito, Veraguas. 1992 – 1993.

		METODO DE APLICACIÓN			
		VOLEO		BANDA	
Fuente P	Dosis P	Grano	Biomasa	Grano	Biomasa
	kg ^{ha} ⁻¹	-----ton ^{ha} ⁻¹ -----			
SFT	0	4.0 b	9.1 b	4.0 b	9.1 b
	44	6.3 a	12.8 a	6.3 a	11.8 a
	88	6.8 a	13.2 a	6.4 a	12.4 a
	132	6.6 a	13.6 a	6.8 a	13.5 a
	Media	5.9	12.2	5.9	11.7
RFCN	0	4.0 b	9.1 b	4.0 b	9.1 b
	44	6.1 a	11.9 a	6.1 a	9.9 a
	88	6.7 a	13.7 a	6.9 a	12.2 a
	132	6.7 a	13.5 a	5.9 a	10.7 a
	Media	5.9 a	12.1 a	5.8 a	10.5 a
Media de aplicación		-----Media de dosis-----			
	0	4.0 b	9.1 b	4.0 b	9.1 b
	44	6.2 a	12.4 a	6.2 a	10.9 a
	88	6.8 a	13.4 a	6.7 a	12.3 a
	132	6.6 a	13.5 a	6.4 a	12.1 a

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$)

Anova	F	Valores
	Grano	Biomasa
Fuente P (F)	0.32	1.84
Método (M)	0.17	4.39*
Dosis (D)	54.38*	12.94**
F x M	0.04	0.26
F x D	0.66	0.51
M x D	0.19	0.67
F x M x D	0.91	0.81

* Significativo al 5% de probabilidad;

** Significativo al 1% de probabilidad.

Los resultados de rendimiento de grano y biomasa del segundo cultivo, frijol Vigna, indican los mismos resultados del primer cultivo de arroz. No hubo diferencias significativas entre fuentes de P y método de aplicación, aunque el efecto de P aplicado al primer cultivo de arroz fue altamente significativo. Las dosis de 44 y 88 kg ha⁻¹ de P mostraron los rendimientos más altos 0.40 y 0.43 ton ha⁻¹, respectivamente, con respecto al testigo sin aplicación de fósforo que rindió 0.33 ton ha⁻¹ (Cuadro 4, Figura 3). Los rendimientos fueron relativamente bajos, debido a la poca precipitación observada durante el ciclo del cultivo (octubre a enero).

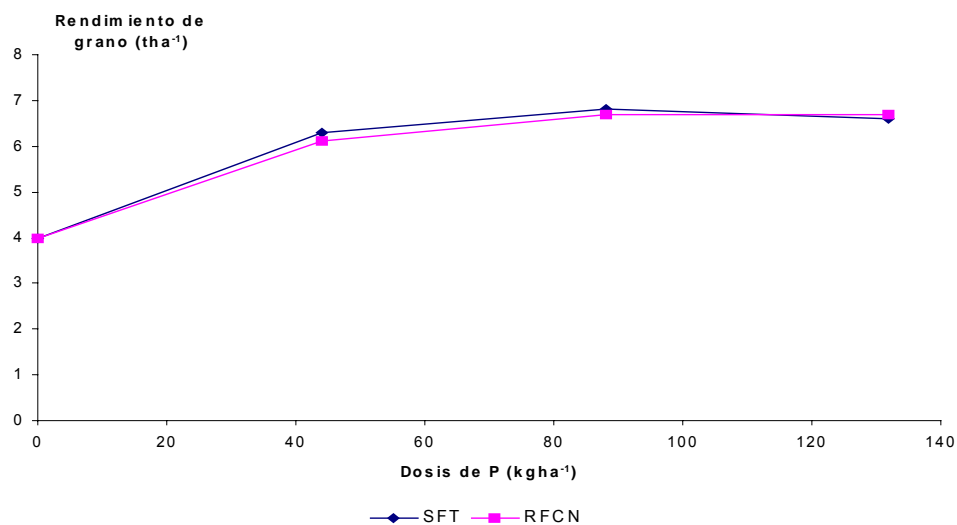


Figura 3. Rendimiento de arroz (Primer cultivo) según fuente de P utilizada. Calabacito, Veraguas. 1992.

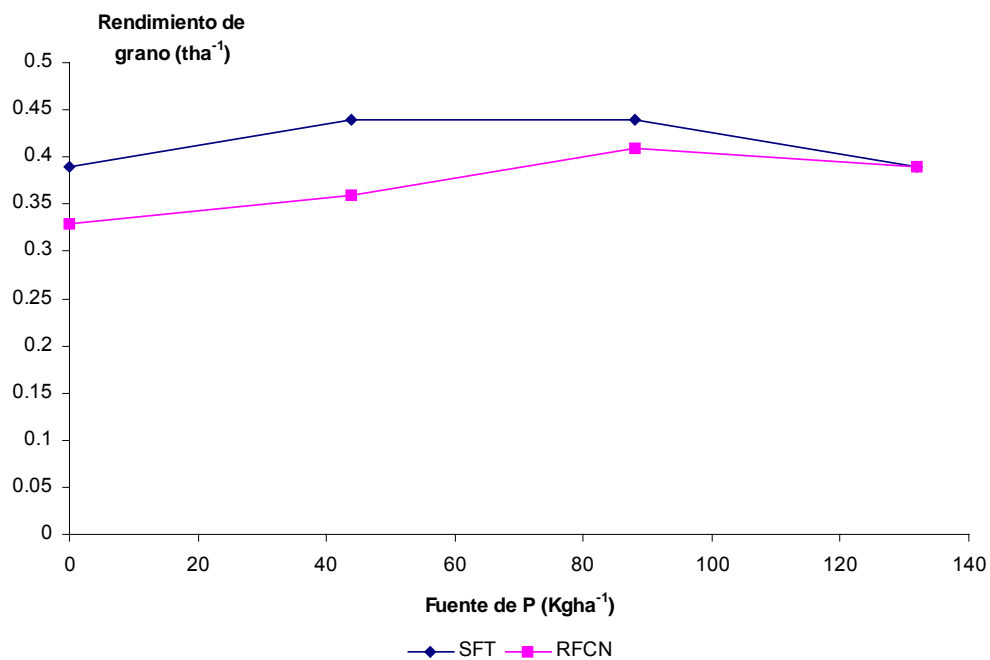


Figura 4. Rendimiento de frijol (Segundo cultivo), según fuente de P utilizada. Calabacito, Veraguas. 1992 – 1993.

Cuadro 4. Rendimiento de grano y biomasa de frijol Vigna según fuentes, dosis y métodos de aplicación de P. Calabacito, Veraguas. 1992-1993.

		METODO DE APLICACIÓN			
		VOLEO		BANDA	
Fuente P	Dosis P	Grano	Biomasa	Grano	Biomasa
	kg ha^{-1}	-----ton ha^{-1} -----			
SFT	0	0.39 b	2.8	0.33 b	2.8
	44	0.44 a	3.2	0.37 a	2.8
	88	0.44 a	2.7	0.39 a	3.3
	132	0.39 b	2.8	0.31 b	2.8
	Media	0.40	2.9	0.35	2.9
RFCN	0	0.33 b	2.8	0.33 b	2.8
	44	0.36 b	2.6	0.39 a	2.8
	88	0.41 a	3.4	0.45 a	3.5
	132	0.39 a	2.9	0.28 b	2.1
	Media	0.33	2.9	0.36	2.8
Media de aplicación		Media de dosis			
	0	0.33 b	2.8	0.33 b	2.8
	44	0.40 a	2.9	0.39 a	2.8
	88	0.43 a	3.0	0.38 a	3.4
	132	0.39 a	2.9	0.30 b	2.4

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa (P > 0.05)

Anova	F	Valores
	Grano	Biomasa
Fuente P (F)	0.03	0.01
Método (M)	2.49	0.10
Dosis (D)	3.75*	2.21***
F x M	1.02	0.27
F x D	0.18	1.33
M x D	1.19	1.12
F x M x D	1.08	1.01

* Significativo al 5% de probabilidad;

** Significativo al 1% de probabilidad.

Los resultados del tercer cultivo de arroz (junio – octubre de 1993) y del cuarto cultivo de vigna (octubre 1993 – enero 1994) se presentan en el Cuadro 5 y la Figura 5. No se encontró diferencia significativa ni para fuentes de P (RFCN vs SFT), ni entre los métodos de aplicación, sobre el rendimiento de grano del arroz y vigna (Cuadros 5 y 6).

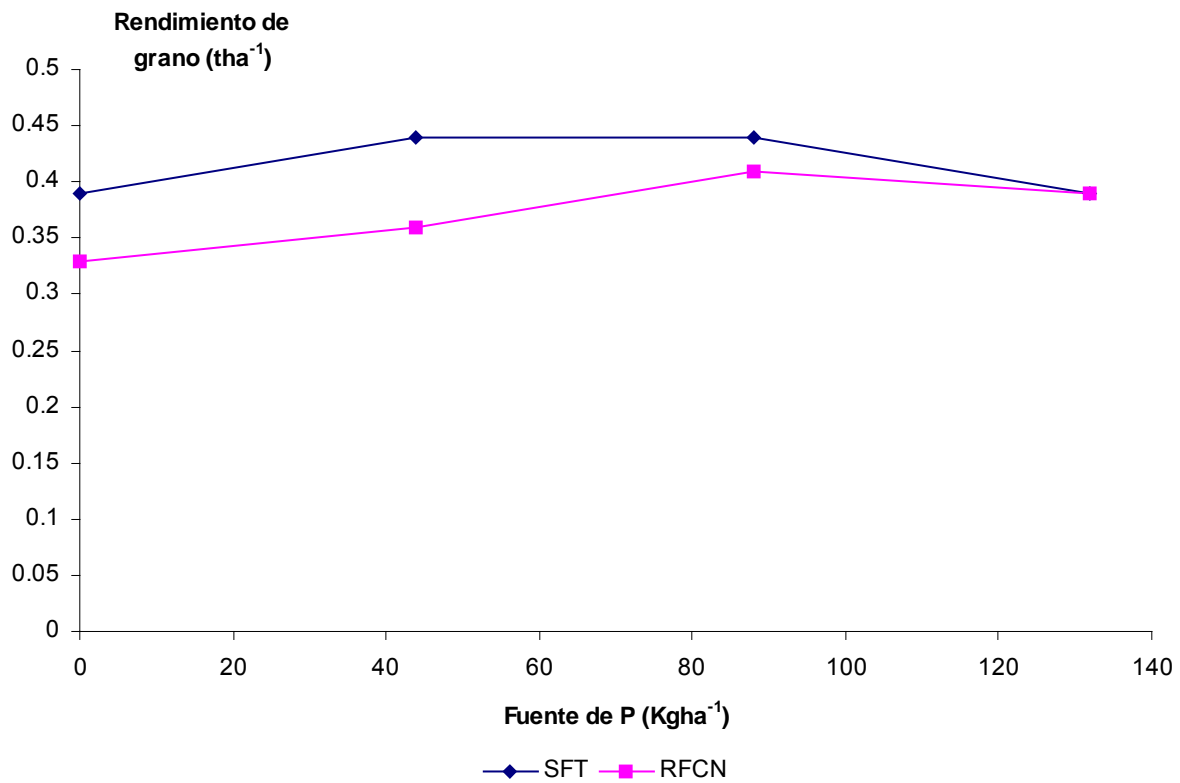


Figura 5. Efecto residual del P aplicado sobre el rendimiento de arroz (Tercer cultivo), Calabacito, Veraguas.

Cuadro 5. Rendimiento de grano de arroz y vigna según fuentes, dosis y métodos de aplicación de P. Calabacito, Veraguas. 1993.

P Aplicado	Método	Fuente P	Rendimiento	
			Arroz	Vigna
kg ha ⁻¹			-----tonha ⁻¹ -----	
0	-	-	3.96	0.71
44 - 1A	Voleo	RFCN	3.79	0.69
44 - 2A			6.52	1.18
88 - 1A			5.81	1.10
88 - 2A			6.24	1.21
132 -1A			6.30	1.18
132 -2A			6.08	1.37
Media			5.39	1.06
44 - 2A	Banda	RFCN	6.26	1.02
88 - 2A			6.91	1.14
132- 2A			5.88	0.92
Media			6.35	1.03
44 - 1A	Voleo	SFT	4.61	0.82
44 - 2A			7.65	1.34
88 - 1A			5.33	1.06
88 - 2A			6.72	1.14
132 -1A			5.96	1.02
132 -2A			6.55	1.49
Media			6.14	1.15
44 - 2A	Banda	SFT	6.40	0.91
88 - 2A			7.30	1.37
132- 2A			6.67	1.18
Media			6.79	1.15
Medias			Dosis	
0			3.96	0.71
44 - 1A			4.20	0.76
44 - 2A			6.71	1.11
88 - 1A			5.57	1.08
88 - 2A			6.79	1.22
132 -1A			6.13	1.10
132 -2A			6.30	1.24

1A = una aplicación de P al momento de la siembra del primer cultivo de arroz en junio de 1992.
 2A = Dos aplicaciones de P una a la siembra del primer cultivo de arroz en 1992 y la otra en la siembra de arroz de 1993.

Para ambos cultivos, el efecto de dosis fue altamente significativo, al comparar el testigo con los tratamientos en que se aplicó P anualmente. Los mayores rendimientos, para el cultivo de arroz, se alcanzaron con las dosis de 44 y 88 kg ha^{-1} de P aplicados anualmente (Cuadro 5 y Figura 6), 6.71 y 6.79 tonha^{-1} , respectivamente; contra 3.96 tonha^{-1} del testigo, sin aplicación de P (media de dosis). Para el frijol vigna, se obtuvo 1.11 y 1.22 tonha^{-1} con 44 y 88 kg ha^{-1} de P vs 0.71 tonha^{-1} del testigo, sin aplicación de fósforo.

Los contrastes ortogonales para comparar si hay efecto residual con respecto al número de aplicaciones de P al voleo se presentan en el Cuadro 6.

Para el caso del arroz, al evaluar el rendimiento de grano del ciclo de 1993, comparando el efecto residual de la aplicación de 44 kg ha^{-1} de P como RFCN, aplicado al primer cultivo de arroz en 1992, contra dos aplicaciones (P al voleo 1992 y 1993), los efectos fueron altamente significativos al 1% de probabilidad. Los rendimientos de una sola aplicación fueron similares al testigo, 3.79 y 3.96 tonha^{-1} . Al comparar dos aplicaciones de 44 kg ha^{-1} contra una se obtiene un rendimiento de 6.52 y 3.79 tonha^{-1} respectivamente; o sea, 72 % más alto al aplicar cada año al cultivo de arroz 44 kg ha^{-1} de P. El mismo efecto se encontró al comparar la dosis de 88 kg ha^{-1} de P aplicada una vez versus 2 aplicaciones. Sin embargo, el incremento en rendimiento, aunque significativo fue de 7 % solamente.

Cuadro 6. Valores de F para el análisis de varianza para rendimiento de grano en arroz y vigna, Calabacito, Veraguas. 1993.

ANOVA	VALORES DE F	
FUENTE DE VARIACIÓN	ARROZ	VIGNA
Fuente de Fósforo (F)	3.10 ns	1.30 ns
Método de aplicación (M)	0.05 ns	6.48 ns
Dosis de fósforo 0 vs aplicación de P	25.74 *	8.98 **
Contrastes Roca Fosfórica al Voleo		
Efecto Residual		
44 (1 aplicación) vs 44 (2 aplicaciones)	39.83 *	17.06 **
88(1 aplicación) vs 88 (2 aplicaciones)	3.93**	0.52 ns
132 (1 aplicación) vs 132 (2 aplicaciones)	1.16 ns	0.12 *
Superfosfato triple al voleo		
Efecto Residual		
44 (1 aplicación) vs 44 (2 aplicaciones)	22.13 *	7.64 *
88(1 aplicación) vs 88 (2 aplicaciones)	4.59**	0.20 ns
132 (1 aplicación) vs 132 (2 aplicaciones)	0.84 ns	6.13 *

* Significativo al 1% de probabilidad;

** Significativo al 5% de probabilidad.

ns = no significativo

Estos resultados indican que un posible rango de respuesta al hacer una sola aplicación bianual de RFCN para el cultivo de arroz puede estar entre 88 y 132 kg ha^{-1} de P. Para el cultivo de vigna, sólo se detectaron diferencias significativas entre aplicar una versus dos veces la dosis de 44 kg ha^{-1} , incrementando los rendimientos de vigna en un 71% con respecto a usar una sola aplicación. Estos resultados sugieren que dosis mayores de 88 kg ha^{-1} aplicados al voleo, no incrementan los rendimientos de vigna como segundo cultivo después de la siembra de arroz. La misma tendencia y el mismo efecto significativo fue encontrado al analizar el efecto del SFT aplicado al voleo.

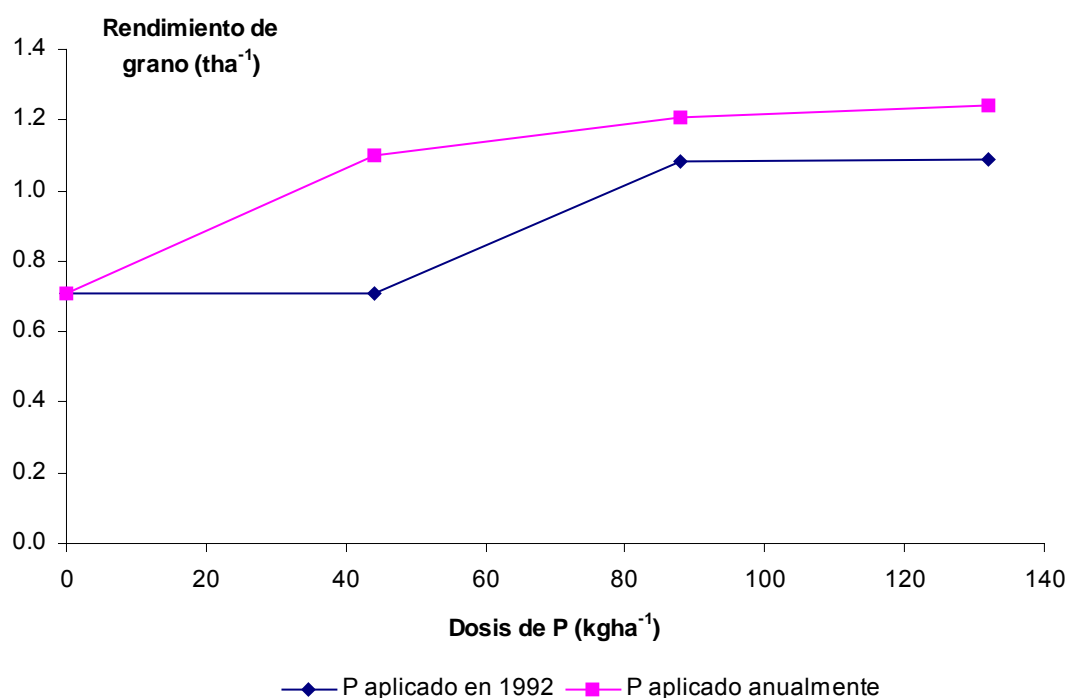


Figura 6. Efecto residual del P aplicado sobre el rendimiento de frijol Vigna (Cuarto cultivo). Calabacito, Veraguas.

Cuadro 7. Rendimiento relativo y análisis de P en el suelo a cosecha por Mehlich 1 para las parcelas de arroz y frijol. Calabacito, 1993.

P aplicado	Método	Fuente	Rendimiento Relativo -----%-----		Análisis de P mg l ⁻¹
			Arroz	Frijol	
0	Voleo	RFCN	52	48	1.8
44 - 1A			50	40	1.8
44 - 2A			85	79	3.9
88 - 1A			73	72	1.9
88 - 2A			82	81	18.4
132 - 1A			82	78	3.2
132 - 2A			80	92	42.9
	Banda	RFCN			
44 - 2A			82	68	3.9
88 - 2A			90	77	36.4
132 - 2A			77	62	20.6
	Voleo	SFT			
44 - 1A			60	55	1.7
44 - 2A			100	90	3.4
88 - 1A			70	71	1.9
88 - 2A			88	77	8.6
132 - 1A			78	68	2.8
132 - 2A			86	100	23.9
	Banda				
44 - 2A			84	61	2.1
88 - 2A			95	92	2.9
132 - 2A			87	79	15.6

1 A = 1 aplicación de P al momento de la siembra del primer cultivo de arroz en junio de 1992.

2 A = 2 aplicaciones de P, una a la siembra del primer cultivo de arroz y la otra en la siembra de 1993.

Niveles críticos y análisis de suelo

Se obtuvieron los rendimientos relativos del arroz y frijol del ciclo 1993 - 1994 y el análisis de suelos para fósforo por Mehlich -1 de las muestras de suelo a cosecha, para cada parcela, incluyendo todas las variables consideradas en el estudio (fuente, dosis, métodos de aplicación) (Cuadro 7).

El nivel crítico se determinó, utilizando el método gráfico de Cate y Nelson, y el modelo lineal plus plateau (Waugh y colaboradores, 1973). El nivel encontrado para el fósforo, en el cultivo de arroz variedad P-1048 fue de en 2.3 mgkg⁻¹ (Figuras 7 y 9), corroborando el nivel obtenido en 1992 que fue de 2.3 mgkg⁻¹. Para el frijol, el nivel crítico determinado fue de 4.2 mgkg⁻¹ (método gráfico) y 2.9 (modelo lineal plateau) para lograr el 80% del rendimiento máximo (Figuras 8 y 10).

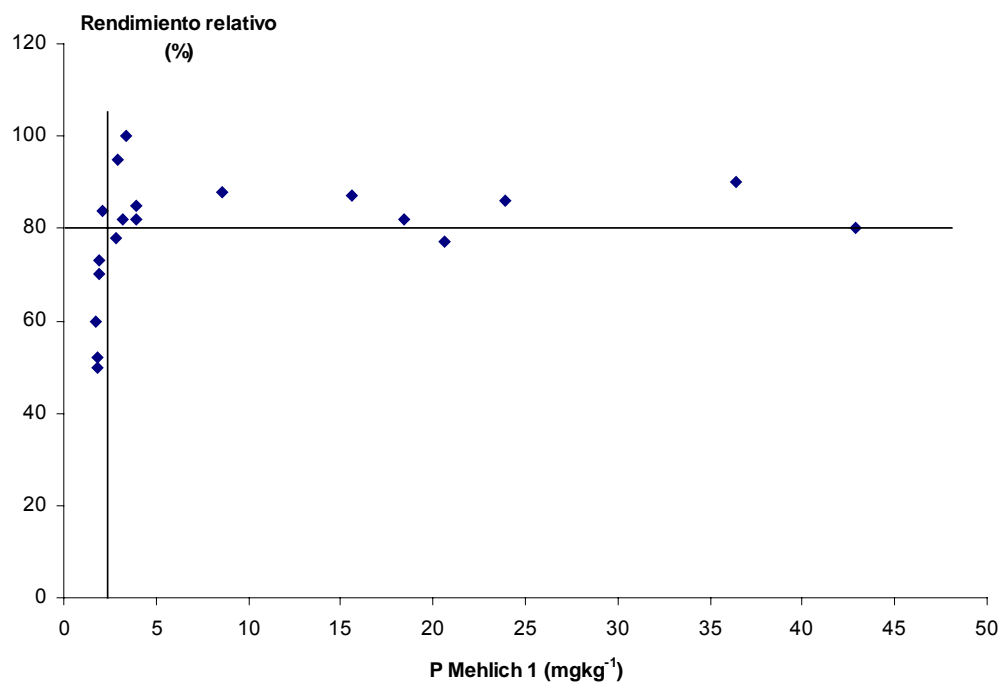


Figura 7. Nivel crítico de P para el cultivo de arroz variedad P-1048

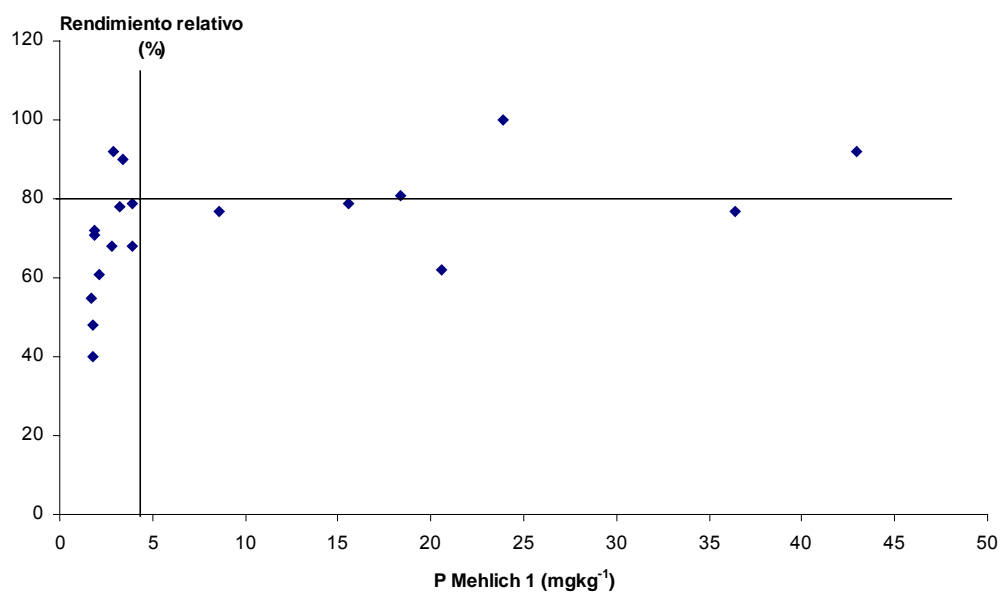


Figura 8. Nivel crítico de P para el cultivo de frijol vigna variedad RH – 209

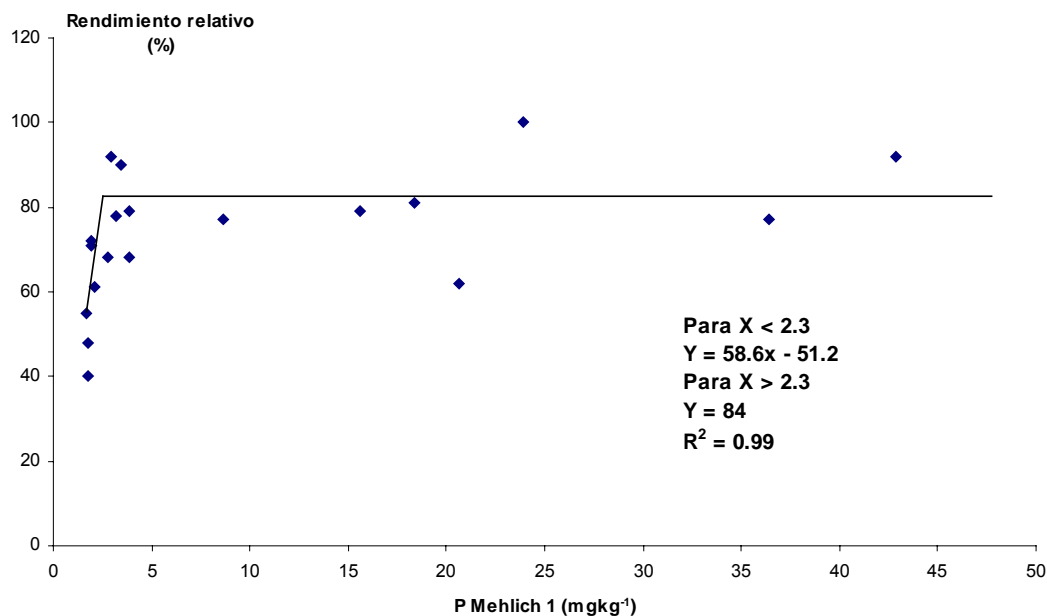


Figura 9. Nivel crítico de P para el cultivo de arroz variedad P-1048. Modelo lineal plus plateau.

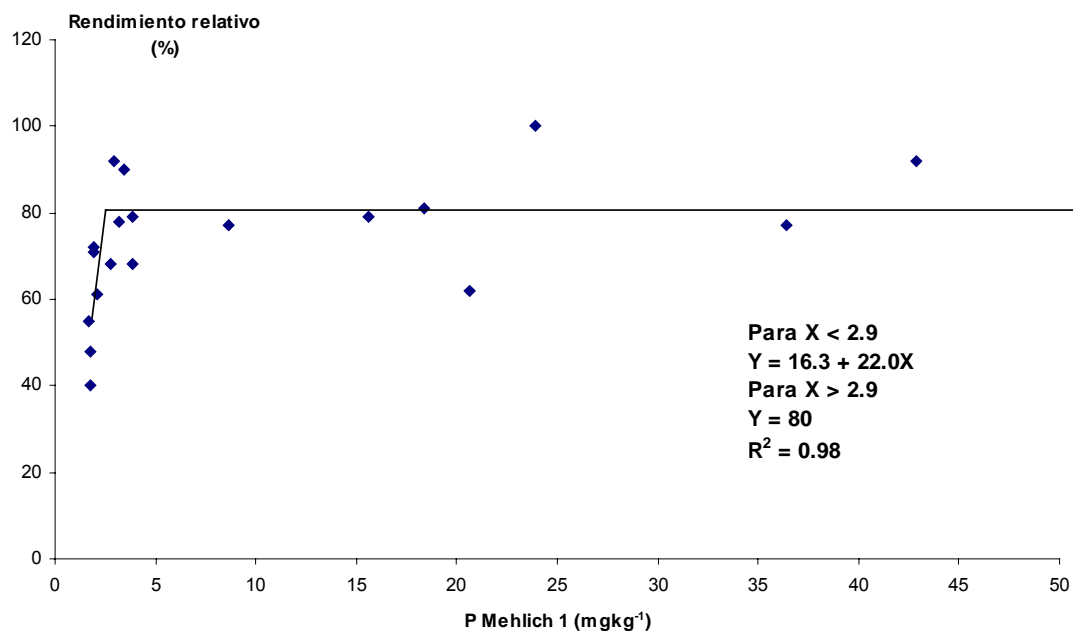


Figura 10. Nivel crítico de P para el cultivo de frijol Vigna variedad RH – 209. Modelo lineal plus plateau.

Análisis económico

El análisis económico realizado por optimización de derivadas parciales del modelo cuadrático presentó como el óptimo físico la aplicación anual de 45.88 kg ha⁻¹, según la siguiente ecuación:

$$Y = 4118.19 + 35.9269P - 0.3915P^2$$

$$dY/dP = 0 + 35.9269 - 2(0.3915)P = 0$$

$$P = 35.9269/2(0.3915)$$

$P = 45.88 \text{ kg ha}^{-1}$

El óptimo económico se determinó con el mismo método utilizando el precio de venta del arroz en B/.0.275 por kg y de B/.0.619 por kg de P aplicado, y se encontró en 43 kg ha⁻¹ de P. Para esto se utilizó la siguiente ecuación:

$$dY/dp = \text{Precio P/Precio de arroz}$$

$$= 0.619/0.275 = 2.2509$$

$$2.2509 = 35.9269 - 2(0.3915)P$$

$$33.676 = 0.783P$$

$P = 33.676/0.783 = 43 \text{ kg ha}^{-1}$

(Dosis óptima económica)

CONCLUSIONES

- ♦ No se encontraron diferencias en el rendimiento entre las fuentes de fósforo utilizadas, SFT y RFCN.
- ♦ No se encontraron diferencias en los métodos de aplicación voleo vs banda.
- ♦ Hubo efecto significativo de las dosis en el rendimiento para los cultivos, en los dos años del ensayo.
- ♦ Para el arroz, al comparar los contrastes ortogonales, para determinar el efecto residual de las aplicaciones anuales, se encontró que sólo a partir de 132 kg ha^{-1} de P no se detectaron diferencias significativas, indicando que un posible rango de respuestas para la RFCN debe estar entre 88 y 132 kg ha^{-1} , de P para una sola aplicación bianual.
- ♦ El nivel crítico determinado para el arroz variedad P-1048, en suelos ultisoles de Calabacito, es del orden de 2.3 mg l^{-1} .
- ♦ Con las aplicaciones anuales de 46 kg ha^{-1} de P se logró el rendimiento óptimo físico, y con 43 kg ha^{-1} de P, el rendimiento óptimo económico en el cultivo del arroz.
- ♦ Las características ortogonales en el caso de Vigna, son significativas solamente al comparar una aplicación vs dos aplicaciones de 44 kg ha^{-1} de P, sugiriendo que dosis mayores no incrementan los rendimientos del frijol como segundo cultivo; por lo que, tienen efecto residual las dosis mayores.
- ♦ El nivel crítico determinado para el frijol Vigna, variedad R-H 209, en suelos ultisoles de Calabacito, es del orden de 2.9 mg l^{-1} .

BIBLIOGRAFIA

- BRENES, L.E. 1992. Solubilización inicial de la roca fosfórica en ultisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 1(1): 1 – 11.
- COMISION DE REFORMA AGRARIA. 1970. Informe de Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. Panamá. Vol. I, II, y III. 300 p.
- FENSTER, W.; LEON, L. 1978. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. In: Seminar on phosphate rock for direct application. Haifa, Israel, IFDC, March 20 – 23. pp 174 – 211.

- NAME, B.; BATISTA, D. 1979. Encalamiento en suelos ácidos de Panamá con alto contenido de aluminio intercambiable. Finca Experimental de Calabacito. Ciencia Agropecuria (Panamá) 2: 1 – 14.
- NAME B, A. CORDERO; BERNAL, J. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácido en Panamá. Compendio de los Resultados de Investigaciones presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central. 23 p.
- RAMIREZ, G. 1980. Uso de rocas fosfóricas como fuente de fósforo en algunos suelos ácidos de Costa Rica. Agronomía Costarricense 4(1): 33 – 39.
- SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. 1980. En: Priorities for alleviating soil – related contrains to food production in the tropics. IRRI, Los baños, Philippines. pp. 107 – 140.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, G. 1983. Suelos Acidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. (Ed.) Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia. 93 p.
- SMYTH; T.J.; SANCHEZ, P.A. 1980a. Soil Science Society of America Journal 44: 500 – 505.
- SMYTH T.J.; CRAVO; M.S. 1990. Phosphorus management for continuos corn – cowpea production in a brazilian amazon oxisol. Agronomy Journal 82: 305-309.
- SMYTH T.J.; CRAVO; M.S. 1990. Critical phosphorus levels in an amazon oxisol. Agronomy Journal 82: 309-312.
- YOST, R.S. 1977. Effect of rate and placement on availability and residual value of P in an oxisol of Central Brazil. Ph.D. Dis. North Carolina State University. Raleigh. NC.
- WAUGH, D.L.; CATE B.R.; NELSON A. L. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelos y las respuestas a los fertilizantes. Tech. Bull. 7. International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program. North Carolina State University. Raleigh. NC.

DINAMICA DE FOSFORO EN UN ULTISOL DE PANAMA RESPUESTA AL CULTIVO DE MAIZ

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Se estableció un ensayo de campo en un suelo ultisol con el objetivo de generar conocimientos en el manejo del P, para el mejoramiento de la recomendaciones de fertilizantes fósforados por medio del análisis de suelo. A pesar de las condiciones climáticas adversas en el año 1991, se lograron obtener resultados que nos permitirán manejar adecuadamente la fertilización fosfórica. El diseño de campo utilizado fue de parcelas subdivididas con aplicaciones de P al voleo y en banda. Encontrándose que hay respuesta al P a dosis menores de 50 kg ha⁻¹, aplicado al voleo. Para el P, en banda, la respuesta encontrada se limitó a no más de 25 kg ha⁻¹.

PALABRAS CLAVES: Suelos, acrisoles, abonos fosfatados, rendimiento, condiciones atmosféricas, Panamá.

INTRODUCCION

En Panamá se estima que los suelos ácidos e infértiles ocupan una superficie que sobrepasa el 40% del territorio nacional (Comisión de Reforma Agraria, 1970). A nivel del trópico se estima que estos suelos cubren un área de 1582×10^6 ha, representando esta cifra el 43% de la superficie. Estos suelos se caracterizan por ser deficientes en macro y micro nutrientes y algunas veces, por toxicidad de aluminio (Sánchez y Salinas, 1981).

Los niveles de fósforo de estos suelos, altamente intemperizados, son generalmente deficientes. Se considera que es una consecuencia natural de la presencia de óxidos de hierro y aluminio producto de la meteorización intensiva. Esto ha sido documentado ampliamente por Sánchez y Uehara (1980); Sánchez y Salinas (1981).

Sánchez y Salinas (1981), opinan que en el 82% de los casos, unas 1217×10^6 ha se encuentran deficientes en fósforo y el 53% de la totalidad de los suelos tiene problemas de alta fijación del elemento.

La recomendación de fertilizantes fosforados para estos suelos requiere consideraciones económicas juiciosas. Estas recomendaciones dependen: 1) del nivel existente de fósforo disponible en el suelo; 2) del nivel óptimo del fósforo del suelo para el cultivo y 3) del nivel de fertilizante que debe agregarse para elevar el fósforo disponible del suelo a un nivel óptimo (Kamprath y Watson, 1980).

Name y colaboradores (1979, 1987) encontraron respuesta al fósforo trabajando con ultisoles de Panamá. Smyth y Cravo (1990) encontraron que en un suelo arcilloso no hay diferencia significativa entre la aplicación de fósforo en banda y al voleo si se utilizan las mismas cantidades de fósforo en la producción acumulada de 10 cosechas.

Actualmente, las recomendaciones de fertilizantes, generalizadas para los suelos de Panamá, se basan en la solución extractora de Mehlich 1 (1:10 suelo/solución) con niveles críticos para fósforo de 18 mgkg^{-1} (Name y col. 1987). Por lo que, se requiere información para determinar si estos valores se ajustan a diferentes cultivos, para obtener rendimientos máximos en los suelos ácidos e infértiles del área.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- 1- Generar conocimiento en el manejo de fósforo en suelos ácidos para obtener rendimientos sostenidos a través de los años

- 2- Establecer niveles críticos de fósforo en suelos ultisoles para el cultivo de maíz
- 3- Evaluar la respuesta al fósforo de variedades de maíz tolerantes a alta saturación de aluminio.

MATERIALES Y METODOS

Localización, clima y suelo

El área experimental está ubicada en la Estación Experimental de Calabacito, la cual se encuentra localizada entre los 8°15' de latitud Norte y 81°5' de longitud Oeste, a una elevación de 100 msnm con una precipitación y temperatura promedio anual de 2500 mm y 27°C, respectivamente. En el sitio experimental se seleccionó un área que no había sido cultivada en los últimos 20 años. Predominaba en el mismo una mezcla de gramíneas nativas (*Andropogon bicornis* y *Hiparrhenia rufa*).

El suelo es un *Typic Plinthudult*, fino, mezclado isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares, de baja capacidad de intercambio catiónico (14 cmol(+)kg⁻¹ promedio del perfil). El pH del perfil es ácido y su contenido de bases cambiables es muy bajo. En el horizonte Ap ocupa sólo el 32% de la CIC; mientras que, en los horizontes más profundos oscila entre 1 y 6%. En cuanto a las características mineralógicas, en la fracción arcilla domina la caolinita y aparecen en pequeñas cantidades vermiculita, goetita y gibbsite. Esto explica la baja CIC del suelo y el estado avanzado de intemperismo que ha sufrido (Cuadro 1). El área seleccionada para el experimento se encuentra a 90 msnm.

Cuadro 1. Características químicas del suelo de Calabacito.

Horizonte	Profundidad	C. orgánico	pH		Ca	Mg	K	Suma de bases	Al	CIC
			NaF	H ₂ O						
	cm	%						cmol(+)kg ⁻¹		
Ap	0 – 15	1.7	4.4	4.8	5.1	0.4	0.2	5.7	0.8	17.9
Bt1	15 – 26	1.0	3.8	4.8	0.8	0.1	tr	0.9	4.4	15.7
Bt2	26 – 43	0.6	3.9	5.1	0.2	tr	tr	0.2	4.0	13.0
Bt3	43 – 60	0.3	3.9	5.2	0.5	tr	tr	0.5	3.6	12.6
Br1	60 – 85	0.2	3.8	5.1	0.1	tr	tr	0.1	4.3	12.6
Br2	85 – 114	0.2	3.8	5.1	0.2	tr	tr	0.2	5.3	13.8

Manejo del ensayo

El presente trabajo se inició en agosto de 1991 cuando se seleccionó el área experimental. Se aplicaron fertilizantes y enmiendas de acuerdo al análisis de suelo y se aplicó el fósforo al voleo, elemento éste que es el objetivo del estudio.

El segundo ciclo de cultivo se inició en agosto de 1992. A todo el ensayo se le dio un manejo riguroso en lo referente al control de malezas, plagas y enfermedades. Se utilizó la variedad de maíz Guararé 3125, variedad mejorada con muy buena adaptabilidad a estos suelos, siempre y cuando se reduzcan los niveles de aluminio intercambiable.

En el primer ciclo a las parcelas experimentales se le tomaron muestras de suelo en momentos claves del ensayo: previo a la siembra, 30 y 60 días después de aplicado el fertilizante y las enmiendas, y posterior a la cosecha. En el segundo ciclo, el muestreo se realizó antes de la siembra y después de la cosecha con el objetivo de determinar la dinámica del fósforo. La toma de muestras se realizó en los primeros 15 centímetros del perfil. Las submuestras se ubicaron en la parte central de cada subparcela, para evitar la posibilidad de contaminación.

Para la cosecha se tomaron las cuatro hileras centrales y se le eliminaron 50 centímetros de borde en cada extremo, quedando un área efectiva de 16 m². Se midieron datos de rendimiento de grano, capullo y tusa, número de plantas y mazorcas cosechadas.

Se llevó un registro de la precipitación durante todo el ciclo del cultivo.

Los análisis de fósforo efectuados a las muestras de suelo, se realizaron con la solución extractora de Mehlich 1.

Diseño de tratamientos

Se utilizó el modelo estadístico de bloques al azar con un diseño de tratamientos de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. La parcela principal se compone de fósforo aplicado al voleo, al inicio del ensayo (1991), en dosis de 0; 50; 100; 150 y 200 kg ha⁻¹. Las subparcelas se componen de dosis de fósforo en banda a niveles de 0; 25; 50 y 75 kg ha⁻¹, aplicado a cada cultivo. El fósforo se aplicó a 2.5 cm de distancia de la semilla y a 2.5 cm de profundidad. El tamaño de la parcela utilizada fue de 144 m² y el de la subparcela de 36 m².

De acuerdo a los análisis de suelo y de ensayos experimentales previos, se aplicaron los siguientes fertilizantes y enmiendas, de manera que el P fuera el único factor limitante en el estudio.

ZnO — 8 kg ha^{-1} de Zn al voleo previo a la siembra
 S — 20 kg ha^{-1} de S al voleo previo a la siembra
 Mo — 0.1 kg ha^{-1} de Mo al voleo previo a la siembra
 B — 6.0 kg ha^{-1} de Bórax a la siembra
 CaCO₃ — 5 ton ha^{-1} de cal previo a la siembra
 K — 50 kg ha^{-1} de K localizado a chuzo
 N — 100 kg ha^{-1} localizado en banda

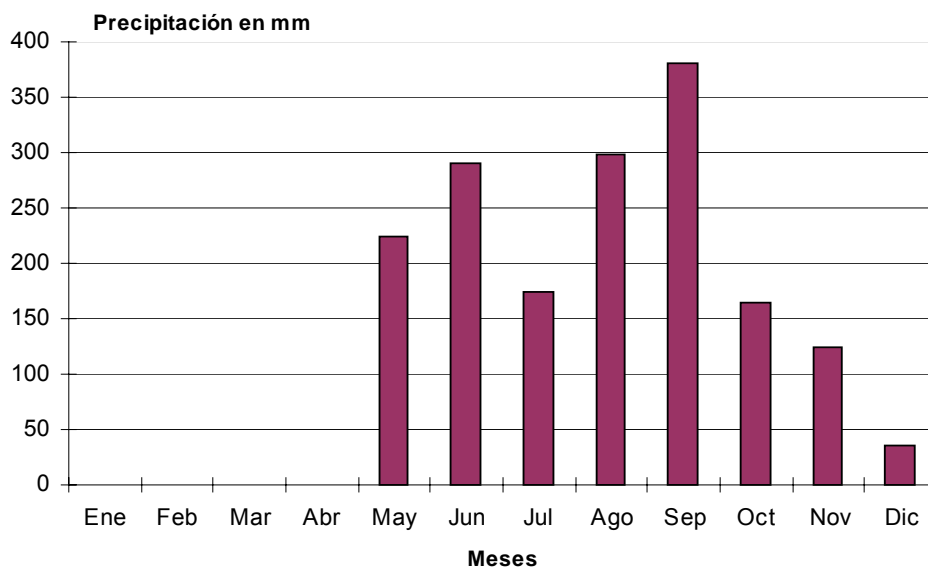
RESULTADOS Y DISCUSION

La precipitación durante el período del ensayo en 1991, se caracterizó por su gran irregularidad e intensidad. Inmediatamente después de la siembra se registraron 280 mm de precipitación en un período de 75 horas produciendo daños a la semilla y erosionando las parcelas.

En la época de floración y llenado del grano se presentó una fuerte sequía, factor determinante en los bajos rendimientos obtenidos en el área.

En 1992 la precipitación total, durante el período agrícola, fue de 1682 mm. La buena distribución de las lluvias fue un factor determinante para la obtención de buenos resultados y altos rendimientos (Figura 1).

Figura 1. Precipitación en milímetros en la Estación Experimental de Calabacito, año 1992.



En el Cuadro 1, se presentan los cambios detectados por el análisis y época de muestreo, en las propiedades químicas del suelo, producto de la aplicación del fertilizante y enmiendas. Se aprecia un aumento en el contenido de Ca, Mg, K

intercambiables, en la CIC efectiva y el P disponible. Estos datos coinciden con los encontrados por Name y Batista (1979) para estos mismos suelos en estudios realizados en casa de vegetación. La saturación de aluminio se redujo de 42 a 1%, nivel tolerable para el cultivo del maíz.

Cuadro 1. Comparación de propiedades químicas del suelo antes y 30 días después de la aplicación de fertilizante fosforado y enmiendas.

Epoca de muestreo	pH	Ca	Mg	K	Al	CIC Efectiva	P disponible	Sat. de Al	C orgánico
	1:2.5	cmol kg ⁻¹					mg kg ⁻¹	%	
Antes	5.0	1.8	1.1	0.11	2.2	5.18	3.7	42	1.85
30 días	5.8	7.9	6.7	0.13	0.1	14.85	56.8	1	2.19

Los valores son promedios de análisis de suelos de muestras tomadas en las parcelas principales y subparcelas antes y 30 días después de aplicado los fertilizantes y enmiendas. Calabacito, Veraguas - Panamá.

Los resultados del análisis para las 3 épocas de muestreo se presentan en la Figura 2. A los 30 y 60 días después de aplicado el fósforo se muestra variable y tiende a estabilizarse para el muestreo en época de cosecha.

El resultado de los análisis de fósforo al voleo, en el muestreo a la cosecha, es prácticamente lineal en el rango de 0 a 200 kg de P ha⁻¹, cuyo comportamiento es muy parecido al encontrado por Name y colaboradores (1987) en la curva de fijación de P para dicho suelo, en donde la fijación era del orden de 80%

Figura 2. Relación entre el P aplicado al voleo y análisis de P por Mehlich 1 a diferentes épocas de muestreo. Estación Experimental de Calabacito, 1991.

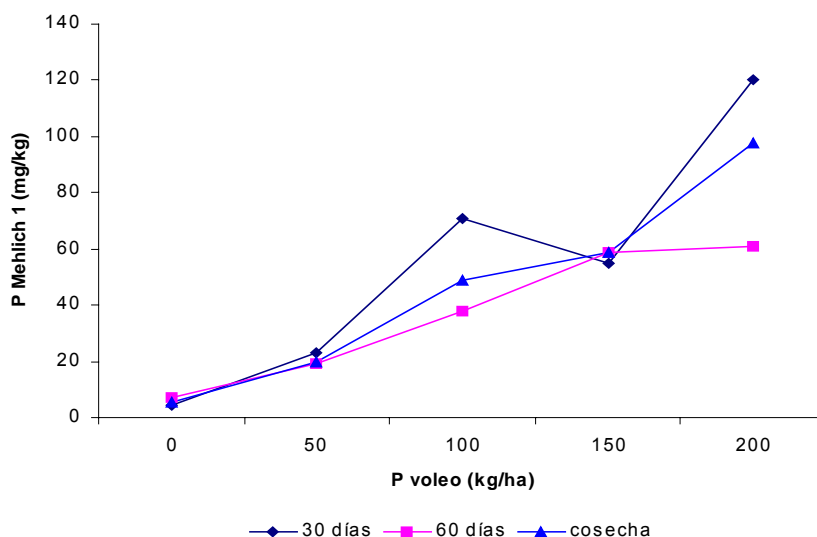
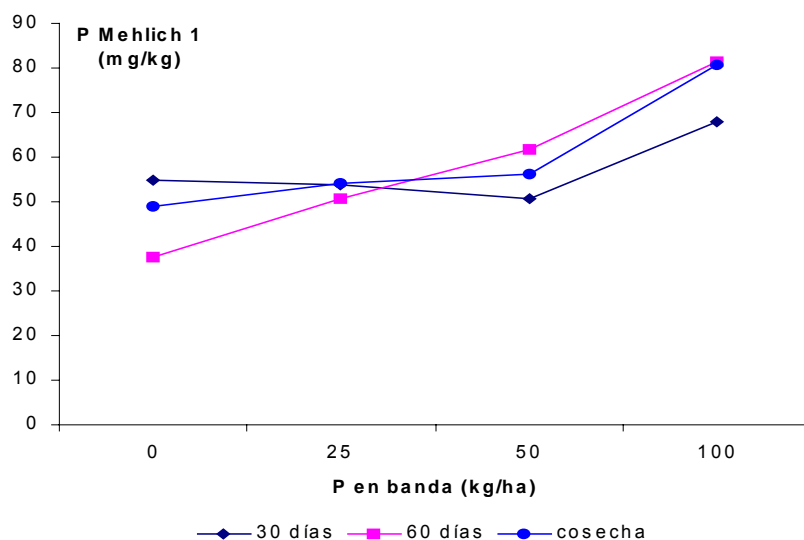


Figura 3. Relación entre el P aplicado en banda y el análisis de P por Mehlich 1 a diferentes épocas de muestreo. Estación Experimental de Calabacito, 1991.



En la Figura 3, se presentan los resultados de análisis para 3 épocas de muestreo. El realizado a los 60 días después de la siembra (dds) presenta un comportamiento más lineal, especialmente en el rango de 0 a 50 kg ha⁻¹ de P, que las otras. Indicando que en la medida que aumentan las dosis se incrementa el P disponible en la solución el suelo. Los muestreos 30 dds y a cosecha, presentan más variabilidad pero mantienen las mismas tendencias.

En el Cuadro 2, se presentan los cambios en las propiedades químicas, detectados por el análisis de suelo en dos épocas de muestreo, antes de la siembra y después de la cosecha para el ciclo experimental de 1992. Dichos análisis son el promedio de 80 muestras tomadas en toda el área experimental. La saturación de aluminio se mantiene en niveles tolerables para el maíz. La CIC efectiva aumentó de 7 a 20 cmol₍₊₎kg⁻¹ de suelo, el Ca intercambiable aumentó de 4 a 17 cmol₍₊₎kg⁻¹ de suelo, producto del encalado efectuado en el año 1991. El fósforo disminuyó de 15 a 9 mgkg⁻¹ de suelo; por lo que, se asume que esta reducción en el nivel de fósforo disponible sea una consecuencia de la elevada capacidad de fijación del elemento que tiene el suelo.

Cuadro 2. Comparación de propiedades químicas del suelo*. Estación Experimental de Calabacito, 1992.

poca de muestreo	pH	P	K	Ca	Mg	Al	CICE	Sat. de aluminio	Mat. Org.
	1:10	mg/kg	cmol(+)/kg					%	
Antes de siembra	4.78	14.97	0.09	4.1	1.16	1.76	7.11	25.0	2.55
Después de cosecha	4.87	9.29	0.07	17.2	1.08	1.99	20.34	10.0	1.79

* Valores promedios de análisis de suelo de las muestras tomadas en las parcelas principales y subparcelas. Antes de la siembra y después de la cosecha, ciclo 1992.

El Cuadro 3 muestra la dinámica del fósforo a través de los dos ciclos de cultivo. Inicialmente el fósforo aumentó hasta 60 mgkg⁻¹ en el primer año y luego bajó hasta 9 mgkg⁻¹ al término del segundo ciclo. Estos datos son promedio de 80 muestras por época de muestreo.

Cuadro 3. Dinámica de fósforo por época de muestreo

Ciclo	Epoca de muestreo	P disponible mg kg ⁻¹
1991	Antes de la aplicación de F y E*	3.7
	30 dd aplicación de F y E	56.8
	Después de la cosecha	60.0
1992	Antes de la siembra	15.0
	Después de la cosecha	9.3

* Fertilizantes y enmiendas

La alta capacidad fijadora del suelo tiende a bajar los niveles de fósforo disponible, al término del segundo ciclo del cultivo.

Las Figuras 4 y 5 presentan la relación entre el fósforo determinado por Mehlich 1 en diferentes épocas de muestreo y el fósforo aplicado al voleo y en banda, respectivamente. Estos datos se obtienen de los promedios de voleo y banda de los análisis de fósforo por Mehlich 1 en las dos épocas de muestreo. Existe una tendencia clara a la reducción del fósforo disponible a medida que la época de muestreo se alarga en el tiempo, posiblemente, debido a la gran cantidad de fósforo que es fijado por el suelo. Igual que en el primer ciclo, el P aplicado al voleo tiende a estabilizarse después de cosecha.

Figura 4. Relación entre el P aplicado al voleo y el análisis de P por Mehlich 1 a diferentes épocas de muestreo. Estación Experimental de Calabacito, 1992.

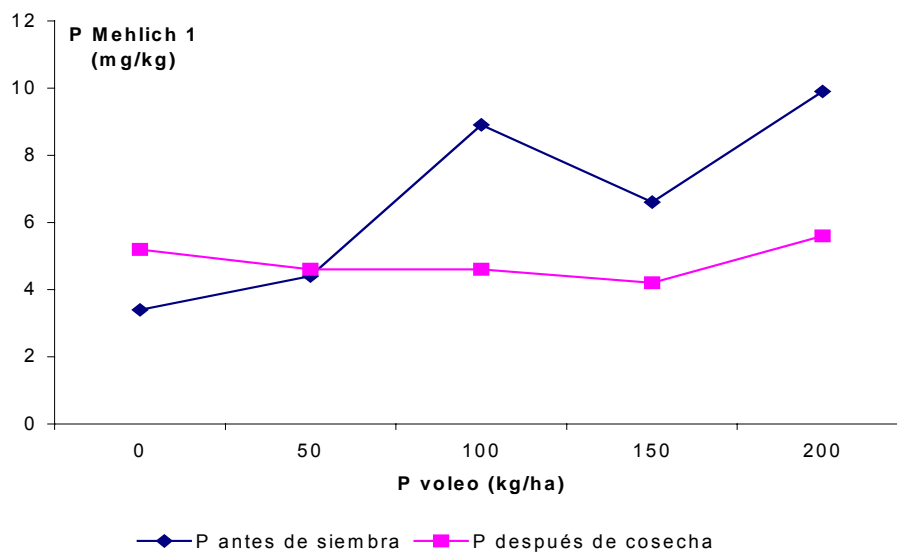
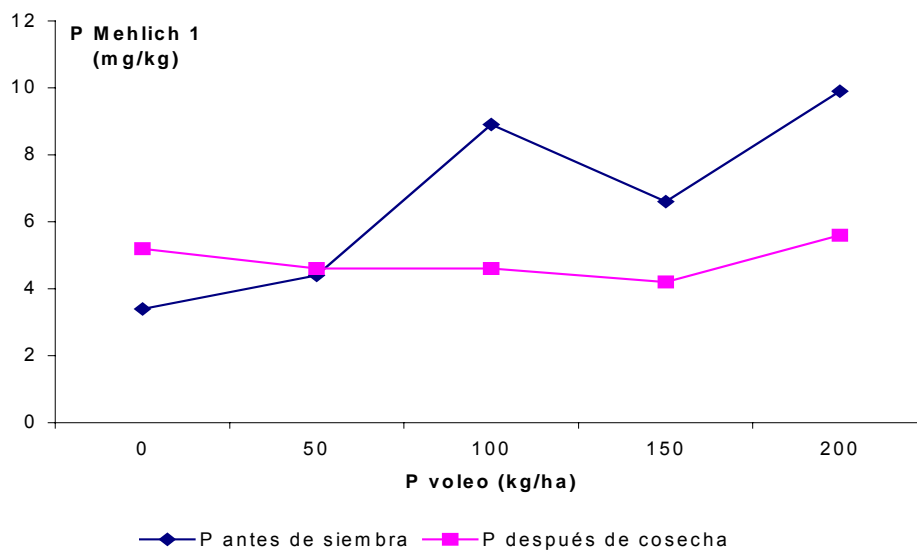


Figura 5. Relación entre el P aplicado en banda y el análisis de P por Mehlich 1 a diferentes épocas de muestreo. Estación Experimental de Calabacito, 1992.



Cuadro 4. Rendimiento de grano y análisis de fósforo para el cultivo de maíz en Calabacito* 1991.

Forma de aplicación de P		Rendimiento			Plantas			P Mehlich 1		
voleo	banda	grano	tusa	Capullo	tallos	mazorca	altura	30 d	60 d	cosecha
		kg ha ⁻¹			n° 24 m ⁻¹		m	mg kg ⁻¹		
0	0	428	142	146	76.0	49.6	1.22	4.4	7.0	5.6
	25	876	219	261	79.3	67.7	1.69	14.3	31.0	23.9
	50	959	216	254	81.7	63.0	1.80	9.5	31.4	17.7
	75	1574	354	368	82.7	74.6	2.11	32.3	25.3	53.1
Promedio		959	233	257	79.9	63.8	1.70	15.1	23.7	25.1
50	0	883	201	222	74.7	61.3	1.79	22.8	19.0	20.4
	25	1126	278	316	87.3	73.0	1.93	34.7	64.2	31.2
	50	1001	250	274	89.3	74.3	1.92	31.0	53.2	32.2
	75	991	267	285	84.3	65.3	1.96	39.8	63.0	52.3
Promedio		1000	249	275	83.9	68.5	1.90	32.1	49.9	34.0
100	0	743	202	229	82.3	62.3	1.59	71.4	38.3	48.8
	25	1095	278	299	85.3	70.7	1.90	40.3	30.8	56.8
	50	1334	323	369	93.0	80.0	1.90	41.7	77.2	42.2
	75	1101	268	309	86.3	68.3	1.96	67.8	90.7	86.8
Promedio		1069	268	302	86.8	70.3	1.84	55.3	59.3	58.7
150	0	1070	268	289	89.0	68.3	1.75	54.7	63.0	71.3
	25	1307	313	347	90.0	74.0	1.99	72.0	41.0	55.2
	50	983	253	281	84.0	64.7	1.80	60.7	51.1	69.2
	75	1077	268	285	82.7	68.3	2.10	79.7	107.7	91.0
Promedio		1110	275	301	86.4	68.8	1.91	66.8	65.7	71.7
200	0	890	229	212	76.0	62.3	1.71	120.0	60.8	97.5
	25	1303	302	361	95.0	81.0	1.84	107.8	86.0	103.7
	50	1314	351	372	88.7	76.0	1.87	111.2	96.3	120.0
	75	1161	295	358	84.3	76.0	1.89	120.0	120.0	120.0
Promedio		1167	294	326	86.0	73.8	1.83	114.7	90.8	110.3
Promedio de banda										
	0	802	209	220	79.6	60.8	1.61	54.7	37.6	48.8
	25	1141	278	317	87.4	73.3	1.87	53.8	50.6	54.1
	50	1118	279	310	87.3	71.6	1.86	50.8	61.8	56.3
	75	1180	291	321	84.1	70.5	2.00	67.9	81.3	80.7
DMS 0.05										
voleo		ns	ns	ns	ns	ns	ns	21.0	14.5	28.0
Banda		171	40	38	ns	7.8	0.11	ns	22.1	21.1
Voleo x banda		383	ns	84	ns	ns	0.24	ns	ns	ns

ns – no significativo

* Promedio de 4 réplicas

En el Cuadro 4 se presentan los datos de análisis de suelo y rendimiento de maíz. Se aprecia en el análisis estadístico que hay respuesta significativa a las dosis de P en banda, cuando se promedian los rendimientos de las aplicaciones en banda (subparcelas) a través de las aplicaciones de fósforo al voleo (parcela principal). Para las aplicaciones de P en banda el L. S. D. al 0.05 para el rendimiento de grano fue de 171 kg, lo que indica que sólo hubo diferencia significativa con el primer incremento de 25 kg de P ha⁻¹. Igual tendencia se encontró con los otros parámetros utilizados.

Aunque no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos de P al voleo, cuando se determina el promedio de los rendimientos a través de los tratamientos de P en banda, una interacción significativa voleo x banda indica que la magnitud de la respuesta al P aplicado en banda fue influenciada por la dosis de P al voleo. Esto puede ser observado en el Cuadro 4 al comparar el rendimiento y la magnitud de la diferencia en kgha⁻¹ entre las dosis de P en banda de 0 a 25 kgha⁻¹ con las dosis crecientes de P al voleo.

Observando los tratamientos al voleo sin P en banda, encontramos que no hay respuesta en el rendimiento sobre la dosis de 50 kgha⁻¹ de P al voleo.

El Cuadro 5 presenta los datos de rendimiento de grano y análisis de fósforo disponible en el suelo, para el año 1992. Se aprecia en el análisis estadístico, por el método de la diferencia mínima significativa, que hay respuesta significativa al nivel de fósforo en banda, para el fósforo determinado antes de la siembra y respuesta a los niveles de fósforo al voleo y banda para el fósforo determinado después de la cosecha. Así mismo, muestra que el fósforo extraído por Mehlich 1 para los tratamientos de fósforo al voleo sin fósforo aplicado en banda, disminuyeron casi a niveles idénticos al realizar el último muestreo de la segunda cosecha. Esto sugiere una gran fijación del fósforo aplicado.

La respuesta al fósforo aplicado en banda se limitó al primer incremento de fósforo aplicado (25 kg de P ha⁻¹). Se encontraron resultados semejantes a los observados durante el primer año del cultivo.

Cuadro 5. Rendimiento de grano y análisis de fósforo para el cultivo de maíz en Calabacito* 1992.

Forma de aplicación de P		Rendimiento			Plantas		P Mehlich 1	
voleo	banda	grano	capullo	tusa	tallos	mazorca	P as	P dc
kg ha ⁻¹						n° ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	
0	0	2144.5	695.3	691.4	38750.0	39219.0	3.4	5.2
	25	3859.4	1035.2	684.4	47656.0	47812.0	10.6	5.3
	50	3740.6	1082.0	968.8	46562.0	50156.0	11.3	6.2
	75	3974.6	1230.5	1043.0	46406.0	47187.0	27.6	15.6
Promedio		3429.8	1010.7	921.9	44843.0	46093.0	13.2	8.1
50	0	3604.9	1082.0	953.1	45625.0	45625.0	4.4	4.6
	25	3670.8	1078.1	953.1	42500.0	44062.0	11.8	5.9
	50	3817.5	1136.7	953.1	45568.0	45937.0	14.3	12.1
	75	4006.1	1277.1	1046.9	49006.2	49687.0	23.5	12.3
Promedio		3773.8	1143.6	976.6	45674.8	46328.0	13.5	8.7
100	0	3527.6	1046.9	914.1	44531.0	45156.0	8.9	4.6
	25	3726.6	1105.5	980.5	47343.0	47812.0	21.8	6.2
	50	4044.5	1218.8	1019.5	47343.0	48125.0	17.9	9.4
	75	3883.8	1250.0	1085.0	45781.0	46250.0	19.4	15.9
Promedio		3795.4	1155.3	1000.0	46250.0	46835.0	17.0	9.0
150	0	3401.8	1043.0	992.2	47187.0	50156.0	6.6	4.2
	25	3890.0	1183.6	1000.0	46718.0	46875.0	11.9	8.1
	50	4292.5	1183.6	1046.9	46093.0	46875.0	14.3	7.5
	75	4072.4	1246.1	1054.7	48125.0	48906.0	21.8	14.5
Promedio		3914.1	1161.1	1023.4	47031.0	48203.0	13.6	8.6
200	0	4114.3	1265.6	1113.3	48437.0	48906.0	9.9	5.6
	25	4156.3	1191.4	1050.8	47812.0	48125.0	17.8	9.5
	50	3677.8	1121.1	914.1	47656.0	48125.0	21.3	14.2
	75	3803.5	1187.5	1031.3	46250.0	47187.0	21.5	18.8
Promedio		3937.9	1191.4	1027.3	47539.0	48085.0	17.6	12.0
			Promedio de banda					
	0	3357.8	1926.6	932.8	44906.0	45812.0	6.6	4.8
	25	3860.8	1118.8	993.8	46406.0	46937.0	14.8	7.0
	50	3914.6	1149.4	980.5	46625.0	47843.0	15.9	10.0
	75	3948.1	1238.3	1052.3	47125.0	47843.0	22.8	15.4
DMS 0.05								
voleo		ns	ns	ns	1946.3	ns	ns	3.7
Banda		281.8	74.7	67.1	ns	ns	3.3	3.3
Voleo x banda		567.5	150.3	136.1	3505.4	ns	ns	ns

P as- fósforo antes de la siembra

P dc- fósforo después de cosecha

ns – no significativo

* Promedio de 4 réplicas

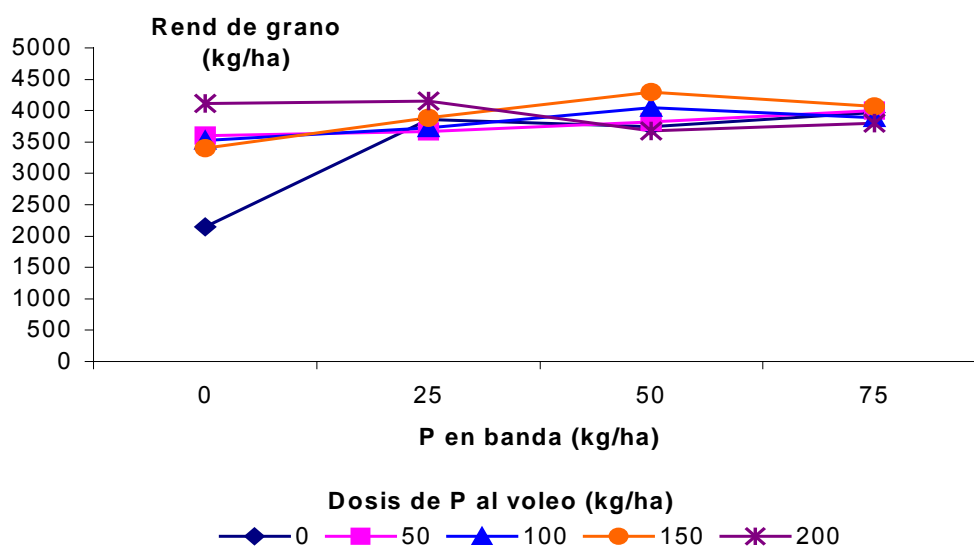


Figura 5. Relación entre el rendimiento de grano y el P aplicado en banda a través de dosis crecientes de P al voleo. Estación Experimental de Calabacito, 1991.

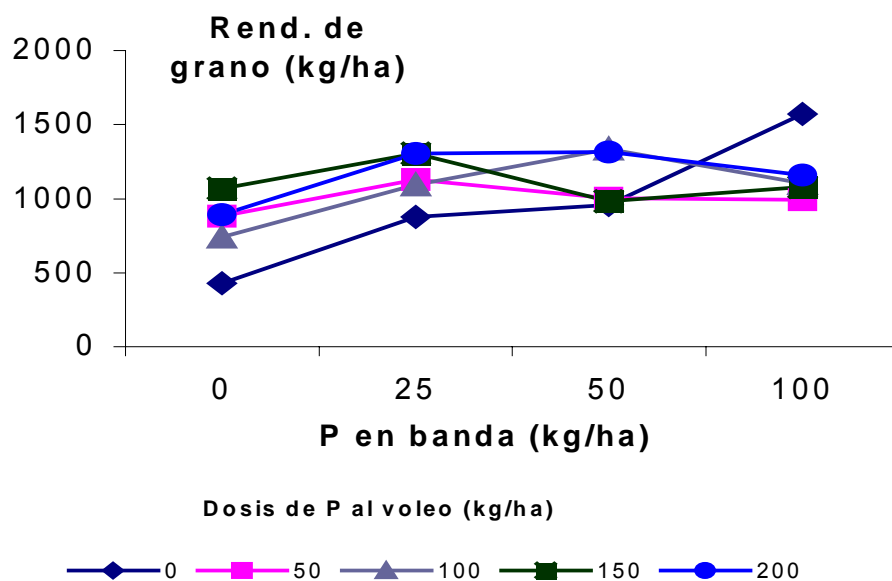


Figura 6. Relación entre el rendimiento de grano y el P aplicado a través de dosis crecientes de P al voleo. Estación Experimental de Calabacito, 1992.

Para el rendimiento de grano se encontró un efecto significativo a las aplicaciones de P en banda y a la interacción voleo x banda. Encontrándose que la interacción voleo x banda es altamente significativa a 1% de probabilidad para rendimiento de grano. Este efecto es el más importante, indicando que la respuesta de P está relacionada con dosis de P aplicado al voleo combinadas con aplicaciones en banda (Figuras 5 y 6).

Entre los tratamientos al voleo sin fósforo aplicado en banda se encontró que no hay respuesta en rendimiento sobre la dosis de 50 kg ha^{-1} de P al voleo. Durante el ciclo de cultivo del año 1991 se determinó un nivel crítico tentativo de $20 \text{ mg de P kg}^{-1}$ de suelo. Para el ciclo del año 1992 se seleccionó como nivel crítico, utilizando la solución extractora de Mehlich 1, el nivel de $11 \text{ mg de P kg}^{-1}$ de suelo

Para la variable tusa y capullo, el comportamiento fue parecido al rendimiento de grano. Se encontró un efecto de banda y la interacción voleo x banda. La variable número de plantas cosechadas fue afectada por el fósforo aplicado al voleo y por la interacción voleo x banda. En cambio, el análisis estadístico no mostró efecto del fósforo aplicado para el número de mazorcas cosechadas.

Los resultados del análisis económico por el método del presupuesto parcial indican que para 1991 el mejor tratamiento fue el de 0 fósforo aplicado al voleo y 75 kg ha^{-1} de P en banda. Para el año 1992, se encontró que el mejor tratamiento era el de 0 fósforo al voleo y 25 kg ha^{-1} de P en banda.

CONCLUSIONES

- 1) La respuesta en banda fue influenciada por la dosis de P al voleo al nivel de 25 kg ha^{-1} .
- 2) La respuesta encontrada con el P al voleo se ubicó a dosis menores de 50 kg ha^{-1} .
- 3) Se encontró un efecto significativo en la interacción voleo x banda.
- 4) Se selecciona como nivel crítico tentativo 11 mg kg^{-1} de P en el suelo.
- 5) Para el análisis económico, se seleccionó el resultado del segundo año con el mejor tratamiento de 0 de P al voleo y 25 kg ha^{-1} de P en banda.

BIBLIOGRAFIA

- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO. COMISIÓN DE REFORMA AGRARIA. 1970. Reporte final sobre el catastro rural de tierras y aguas de Panamá. International Resources and Geotechnics Inc./International Engineering Company Inc./The Jacobs Company. Vol 1, 504 p.
- HUNTER, A.H. 1975. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrimentos con miras a determinar las enmiendas del suelo requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas. North Carolina State University, Raleigh. 15 p.
- JARAMILLO, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Boletín Técnico N° 38. IDIAP.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, F. 1980. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Agronomy J. 59: 25 – 29.
- NAME, B.; BATISTA, D. 1979. Encalado en suelos ácidos de Panamá con alto contenido de aluminio intercambiable. Finca Experimental de Calabacito. Ciencia Agropecuaria 2: 1– 14.
- NAME, B.; CORDERO, A.; BERNAL, J. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. En: Compendio de los resultados de investigación. IDIAP. Región Central.
- SMYTH, J.T.; CRAVO, M. 1990. Critical phosphorus levels in an amazon oxisol. Agronomy J. 82: 309 – 312.
- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, B. 1980. In: Phosphorus in agriculture. KHASWANCH, F.E.; SAMPLERAND, E.; KAMPRATH, E.J.; eds. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. 471 – 514.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.C. 1981. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- THE COUNCIL ON SOIL TESTING AND PLANT ANALYSIS. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. Revised ed. Athens, Georgia. 130 p.

DINAMICA DE POTASIO EN UN ULTISOL DE PANAMA RESPUESTA AL CULTIVO DE MAIZ

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Se determinó la dinámica del potasio en un ultisol, a base de altas dosis de potasio aplicado. Utilizando la respuesta en rendimiento del maíz, muestreo, análisis de suelos, se evaluaron los niveles críticos del potasio y el efecto del residuo en la dinámica de este elemento. Los resultados sobresalientes indican que la incorporación de residuos de cosecha de maíz es vital para mejorar la fertilización potásica. El nivel crítico para potasio utilizando las soluciones extractoras de Mehlich 1 y acetato de amonio es de $0.1 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo. Sobre este valor, el rendimiento permanece estable a 80 % del máximo. Se concluye que para aumentar la eficiencia de la fertilización potásica, las aplicaciones anuales son más efectivas que dosis altas para varios años.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*, maíz, acrisoles, potasio, residuos de cosecha, rendimiento, Panamá.

INTRODUCCION

Se estima que en Panamá los suelos ultisoles ocupan una superficie que sobrepasa el 40% del territorio nacional (Comisión de Reforma Agraria, 1979). A nivel del trópico latinoamericano se encuentran en más del 20% de la superficie, es decir, más de 320 millones de hectáreas. Estos suelos se caracterizan por ser deficientes en macro y micro elementos, y algunas veces por contener altos niveles de aluminio (Sánchez y Salinas, 1983). Sánchez y Cochrane (1980) indicaron que el 54% de las áreas dominadas por suelos ácidos de la América Tropical (800 millones de hectáreas) son deficientes en potasio. Estas conclusiones coinciden con los resultados de investigaciones en ultisoles de Panamá, los cuales han mostrado respuesta a la aplicación de potasio (Name y Batista, 1979).

El potasio(K) extraíble es generalmente la principal fuente de K para los cultivos en los suelos tropicales ácidos. En un latosol cultivado con maíz se encontraron niveles críticos de $0.13 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo, extraído con la solución doble ácida de Carolina del Norte. En cambio, para un Typic Paleudult del Perú el nivel crítico fue de $0.20 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ de suelo utilizando la solución de Olsen – EDTA modificado. Además, en éstos suelos por lo general, no hay fijación y la lixiviación ocurre con aplicaciones mayores de 280 kg ha^{-1} de K aplicado en la forma de KCl (Ritchey, 1979).

Se estima que el efecto residual en estos suelos es relativamente corto debido a la poca capacidad de retención del K en el perfil (Sousa y col. 1979, citado por Silva y Ritchey, 1982). El efecto residual del K está asociado al manejo del abonamiento potásico, principalmente, en lo que se refiere a la incorporación de los residuos del cultivo (Silva y Ritchey, 1982). Con una aplicación inicial de 120 kg ha^{-1} de K_2O , los residuos del cultivo de maíz retornan al suelo un equivalente de 41.5 kg ha^{-1} de K_2O (Silva y Ritchey, 1981). Los mismos autores con aplicaciones de 150 kg ha^{-1} de K_2O , y con la incorporación anual de residuos obtuvieron resultados semejantes a la aplicación de 600 kg ha^{-1} de K_2O aplicado al voleo antes del primer cultivo.

Debido a que en los ultisoles del trópico húmedo ha sido poco estudiado el potasio como factor limitante, al igual que su dinámica en este tipo de suelo y el manejo de residuos, se estableció este estudio con la finalidad de:

- ◆ Evaluar la respuesta del cultivo de maíz a altas dosis de fertilización potásica en un ultisol.
- ◆ Medir el efecto de los residuos de cosecha en la dinámica del potasio.
- ◆ Evaluar el efecto residual del potasio aplicado.
- ◆ Determinar el nivel crítico de K en estos suelos para el cultivo de maíz.

MATERIALES Y METODOS

Localización, Suelo y Clima

El área experimental está ubicada en la Estación Experimental de Calabacito, la cual está localizada entre los 8°5' de latitud Norte y 81°5' de longitud Oeste, a una elevación de 100 msnm, con una precipitación promedio anual de 2500 mm y una temperatura media de 27°C. El período de lluvia está comprendido entre los meses de mayo a diciembre. En la Figura 1, se presenta el balance hídrico mensual para la estación meteorológica más cercana al área experimental.

El área experimental se seleccionó en un sitio que había estado bajo pastoreo en los últimos 20 años, donde predominaba la mezcla *Andropogon bicornis* e *Hiparrhenia rufa*.

El suelo es un *Plinthudult* típico, fino, mezclado, isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio catiónico (14 cmol₍₊₎kg⁻¹ de suelo, promedio del perfil). El contenido de bases cambiables es muy bajo, ya que el Ap ocupa sólo el 32% de la CIC; mientras que, en los horizontes más profundos oscila entre 1 y 6%. Las características físicas, químicas y mineralógicas se observan en los Cuadros 1, 2 y 3. En la fracción arcilla domina la caolinita con pequeñas cantidades de goetita y gibsitita, lo cual explica la baja CIC del suelo y el estado avanzado de intemperismo que ha sufrido. En el Cuadro 4 se presentan los resultados de análisis preliminares de una muestra de suelo compuesta del área experimental.

Cuadro 1. Características Físicas del Suelo de Calabacito, Veraguas-Panamá. 1987.

Horizonte	Profundidad (cm)	Granulometría (%)			Densidad Aparente (gcm ⁻³)	Retención de Humedad (%)	
		Arcilla	Limo	Arena		1/3 bar	15 bares
1	0-15	44.5	39.0	16.5	1.44	25.1	17.7
2	15-26	61.7	27.6	10.7	1.33	30.1	22.4
3	26-43	57.0	32.1	10.9	1.35	29.0	22.8
4	43-60	45.5	38.1	16.4	1.34	27.5	20.6
5	60-85	40.6	36.7	22.7	1.44	25.5	19.1
6	85-114	41.2	34.9	23.9	1.45	26.0	20.1

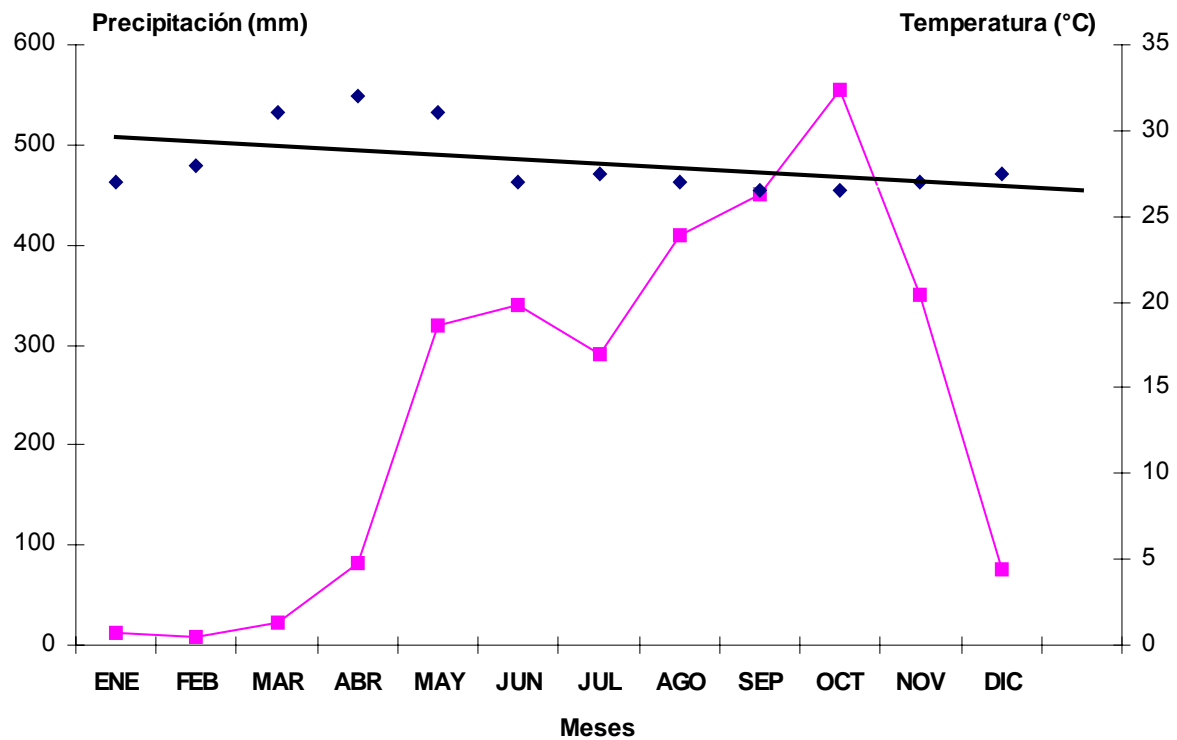


Figura 1. Promedio Mensual de Precipitación y Temperatura en Calabacito, Veraguas- Panamá. 1971 – 1980.

Cuadro 2. Características Químicas del Suelo de Calabacito, Veraguas-Panamá. 1987.

Horizonte	C Org.	pH			Bases Cambiables					Acidez	Al ext.	CIC Suma	CIC NH ₄ OAc	Sat de Bases Suma
		NaF	CaCl ₂	H ₂ O	Ca	Mg	Na	K	Σ					
			1:2	1:1	-----cmol(+)kg ⁻¹ -----									%
1	1.67	4.4	4.8	4.8	5.1	0.4	tr	0.2	5.7	12.2	0.8	17.9	1.4	32
2	0.96	3.8	5.0	4.8	0.8	0.1	tr	tr	0.9	14.8	4.4	15.7	0.8	6
3	0.63	3.9	5.3	5.1	0.2	tr	tr	tr	0.2	12.8	4.0	13.0	9.4	2
4	0.34	3.9	5.6	5.2	0.5	tr	tr	tr	0.5	12.1	3.6	12.6	8.9	4
5	0.24	3.8	5.7	5.1	0.1	tr	tr	tr	0.1	12.5	4.3	12.6	8.8	1
6	0.17	3.8	5.5	5.1	0.2	tr	tr	tr	0.2	13.6	5.3	13.8	9.7	1

Cuadro 3. Características Mineralógicas del Suelo de Calabacito, Veraguas-Panamá. 1987.

Horizonte	Minerales (%) Fracción Arena		Mineralogía (%) Fracción Arcilla			
	Resistentes	Intemperisables	Caolinita	Vermiculita	Goetita	Gibbsite
1	11	89	3	2	1	1
2			3	2	2	1
3			-	-	-	-
4			3	-	1	-
5	13	87				
6						

Cantidades Relativas:

- 1- Trazas 2- Pequeñas 3- Moderadas
4- Abundante 5- Dominante 6- Indeterminada

Cuadro 4. Análisis Preliminar del Suelo del Experimento. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1987.

Textura ⁴	pH ⁵	P ²	K ²	Ca ¹	Mg ¹	Al ¹	MO ³	Cu ²	Fe ²	Mn ²	Zn ²	Saturación de Al
%		mg l ⁻¹		cmol(+)kg ⁻¹			%	mg l ⁻¹				%
Franco	4.5	2.4	0.16	1.9	0.32	5.1	1.1	1.0	35.0	11.0	0	68

1) IN KCl; 2) Mehlich 1; 3) Walkley-Black; 4) Bouyoucos; 5) H₂O relación 1:2.5

Se elaboró la curva de “Sorción” de P desarrollada por el procedimiento de Fox y Kamprath (1970). El método contempla el uso de cantidades variables de P en 30 ml de CaCl_2 0.01 M, equilibradas con 3 g de suelo durante seis días y una hora de agitación diaria. También, se determinó la curva de “Sorción” para K desarrollada por el método de Uribe y Cox (1988).

Manejo del Experimento

El ensayo se realizó bajo el concepto de altos insumos, donde se utilizó la mejor tecnología disponible en el área. La preparación del suelo para cada ciclo de cultivo se realizó con equipo agrícola y la siembra de forma manual, para controlar de manera adecuada la densidad. Los requerimientos de nutrimentos en el suelo para el cultivo se optimizaron de acuerdo al análisis de suelo, tal como lo muestra el Cuadro 5.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos del ensayo de dinámica de potasio.

Tratamientos	Dosis de K	Cal	S	Mo	Zn	B	Manejo del Residuo
	kg ha^{-1}	ton ha^{-1}	-----kg ha^{-1} -----				
1	0	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
2	42	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
3	84	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
4	126	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
5	168	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
6	210	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado
7	0	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
8	126	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
9	42	3.7	20	0.1	4	6	Sin Residuo
10	42 ¹	3.7	20	0.1	4	6	Incorporado

1) K aplicado a cada ciclo del cultivo

El ensayo se inició en 1987 y los resultados provienen de tres ciclos de cultivos de maíz, correspondientes a los años 1987, 1988 y 1989. El experimento constó de 10 tratamientos en los cuales varió el potasio y el manejo del residuo (Cuadro 5). Los tratamientos se dispusieron en el campo siguiendo un modelo estadístico de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela fue 9 m de ancho x 10 m de largo, con separación entre sí de 1m y entre repetición de 1.5 m, haciendo un total de 4347 m². La parcela útil estuvo formada por los cinco surcos centrales con un área efectiva de 32 m².

según dosis estipuladas al inicio del ensayo en 1987, a excepción del tratamiento 10 que se aplicó a cada ciclo del cultivo. En 1987 y 1988 el K se aplicó, para el tra La fuente de potasio utilizada fue el KCl, con 60% de K₂O, y se aplicó tamiento 10, en banda; en 1989 localizado a 6.3 cm de la semilla y 5 cm de profundidad. En

todos los tratamientos se aplicó el P a razón de 66, 33 y 66 kg ha⁻¹ para los años 1987, 1988 y 1989, respectivamente.

Se realizaron dos aplicaciones de calcio (Ca), una en 1987 previa al cultivo, a razón de 3.7 ton ha⁻¹ de CaCO₃ y la segunda en 1989 a razón de 2.0 ton ha⁻¹ de Ca(OH)₂. El azufre (S) se aplicó al voleo a razón de 20 kg ha⁻¹ de S elemental, antes del primer cultivo. El manganeso (Mn) y Zinc (Zn) se aplicaron en 1987, a razón de 0.1 y 4 kg ha⁻¹, respectivamente, en la forma de molibdato de amonio y óxido de zinc. El boro (B) se aplicó a razón de 6.0 kg ha⁻¹ de bórax (Na₂B₄O₇ · 10 H₂O). El nitrógeno (N) se fraccionó para cada cultivo a razón de 1/3 a la siembra y 2/3, 30 días después de la siembra, totalizando 150 kg ha⁻¹ de N.

Durante el primer ciclo de cultivo se realizaron muestreos de suelos a la siembra, 20 días después de la siembra y a la floración. En los años 1988 y 1989, las muestras se tomaron antes y después de cada ciclo de cultivo, para evaluar la dinámica del K y observar la evolución de la fertilidad del suelo. Los análisis se realizaron utilizando la solución extractora de Mehlich 1, para P, K y elementos menores y KCl 1N para Ca, Mg y Al.

El residuo de cosecha en las parcelas que no lo llevan fue totalmente extraído; en las otras fue incorporado con pases de arado y rastra. Durante los años 1987 y 1988 se utilizó la variedad de maíz Across 7728, y en 1989 Guararé 8128, a razón de 50,000 plantas/ha.

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza. Se determinó la curva de rendimiento máximo estable para K, según el modelo Lineal Plus Plateau (Waugh y col. 1973).

En la Figura 2, se observa la capacidad de fijación de P por el suelo; se muestra que más del 95% del P añadido se fijó en el mismo. Estas curvas permiten calcular la capacidad de adsorción máxima del suelo para retener fosfatos; así como también suministran información sobre la cantidad de fosfatos requeridos para mantener un equilibrio en la solución del suelo a determinada concentración de P (Fox y Kamprath, 1970).

RESULTADOS Y DISCUSION

Curvas de “Sorción”

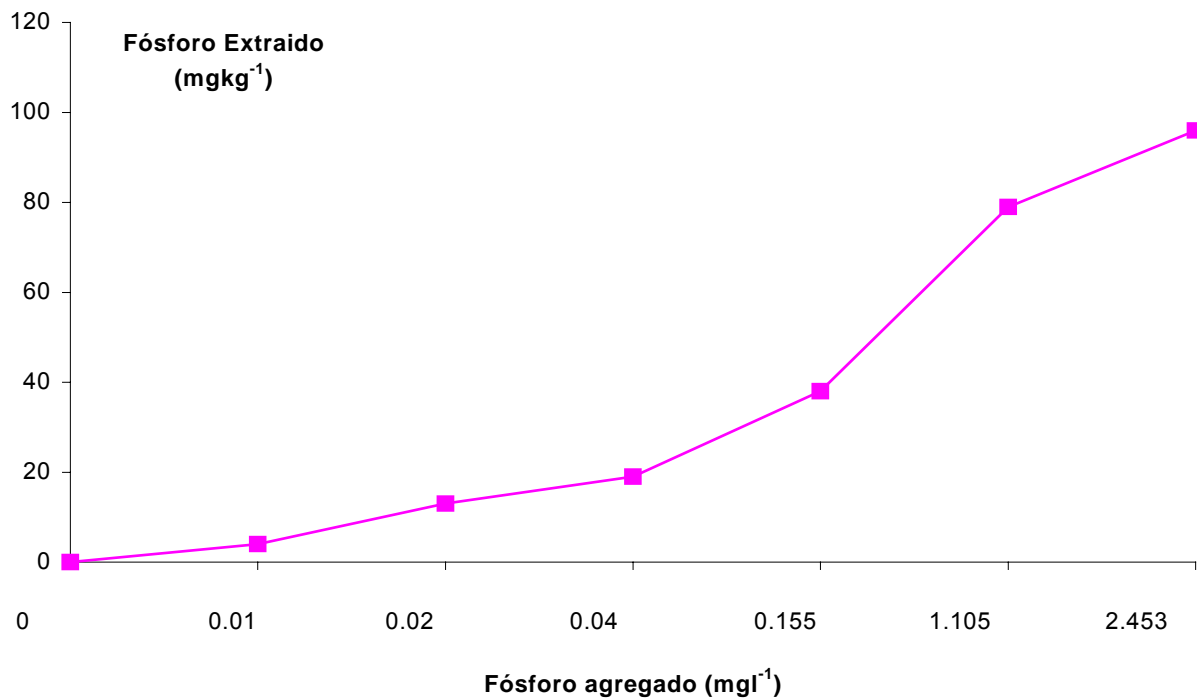


Figura 2. Curva de Fijación para Fósforo en el Suelo de Calabacito, Veraguas-Panamá.

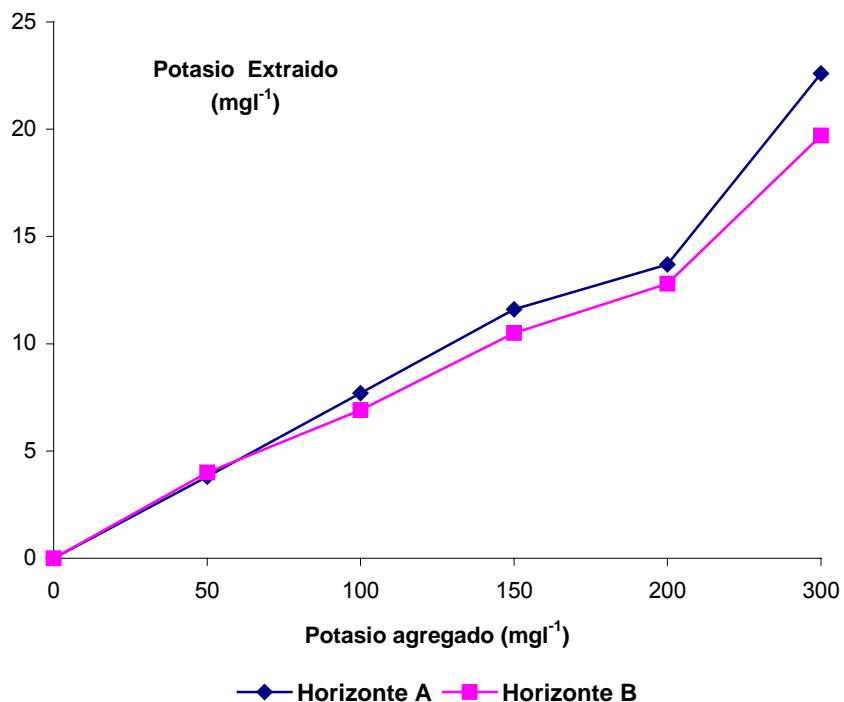


Figura 3. Curva de Fijación para Potasio en el Suelo de Calabacito. Horizontes A y B.

La Figura 3, la curva de "sorci3n" de K indica que para un mismo nivel de K a~adido, la muestra del horizonte B presenta menos K en soluci3n que la muestra del horizonte A. Esto significa que hay una capacidad amortiguadora para potasio mayor en el subsuelo, lo que implica que hay menos potasio en soluci3n por unidad de potasio a~adido. Para los efectos de manejo, esta informaci3n sugiere que debe haber mayor retenci3n del potasio a~adido en el horizonte B.

Respuesta del K en 1987

En 1987 no hubo efecto significativo del K sobre los rendimientos, aunque la tendencia fue mejorar el mismo. El coeficiente de variabilidad para el rendimiento se considera alto y se atribuye, principalmente, a la acidez y no al K del suelo ni a los tratamientos.

Respuesta del K en 1988

En 1988 se observó una respuesta significativa a la fertilización con K que se reflejó en el rendimiento de grano de maíz y en la producción de capullos (Cuadro 6). No se encontraron diferencias en los rendimientos de grano entre ninguno de los tratamientos a los que se le incorporó el residuo. Se aprecia que en los tratamientos 210, 42 y 126 kg ha^{-1} de K más residuo, los rendimientos superaron a aquellos en los cuales se les extrajo el residuo de cosecha. Sin embargo, el tratamiento 42 kg ha^{-1} de K aplicado anualmente no fue superado por los otros en rendimiento. La variable capullo mostró el mismo comportamiento en todos los tratamientos evaluados.

Cuadro 6. Rendimiento de Maíz en Función de Dosis de Potasio, Manejo del Residuo y Niveles de Potasio en el Suelo. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1988.

Potasio Aplicado kg ha^{-1}	Manejo del Residuo	Rendimiento			Rendimiento Relativo	Potasio Mehlich 1 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$
		Grano	Tuza	Capullo		
0	Incorporado	1201	254	372	73	0.12
42	Incorporado	1587	396	435	97	0.12
84	Incorporado	1441	318	498	88	0.14
126	Incorporado	1377	308	420	84	0.17
168	Incorporado	1509	342	454	92	0.16
210	Incorporado	1636	308	430	100	0.21
0	Sin Residuo	752	214	293	46	0.08
126	Sin Residuo	928	235	264	57	0.11
42	Sin Residuo	903	234	298	55	0.09
42 ¹	Incorporado	1358	308	410	83	0.10
LSD 0.05		549	NS	107		0.04
CV (%)		30	29	19		23

¹ K aplicado a cada ciclo del cultivo

La Figura 4, muestra la relación entre el rendimiento relativo y el potasio extraíble por Mehlich 1. La ecuación generada establece una respuesta lineal al potasio hasta el nivel de $0.11 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ de suelo; ya que por encima de este nivel, no hay respuesta en rendimiento de grano a la aplicación de potasio.

Respuesta del K en 1989

En 1989, el tratamiento con dosis de 42 kg ha^{-1} de K aplicado en cada ciclo de cultivo, reflejó rendimientos superiores a los tratamientos de 0, 42 y 126 kg ha^{-1} sin residuo y a los tratamientos 0, 42 y 84 kg ha^{-1} con residuo. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos 126, 168 y 210 kg ha^{-1} con residuo, a pesar de que tiene 400 kg más de rendimiento por hectárea, lo que refleja el efecto residual de estos últimos tratamientos (Cuadro 7).

Se encontraron diferencias significativas en los rendimientos, entre los tratamientos con residuos incorporados y aquellos que no tenían residuo, lo que permite apreciar que la incorporación de los residuos representa un importante aporte de K al suelo, reflejado en los rendimientos. Entre aquellos tratamientos que tenían residuo y el potasio aplicado al inicio del experimento, no se encontró diferencias significativas, pero se verificó un aumento en los rendimientos a medida que las dosis aumentaban. Esta respuesta se mantuvo constante, a partir de la dosis 126 kg ha^{-1} hasta los 210 kg ha^{-1} de K que representa la porción de la curva con rendimientos máximos estables. Esto sugiere que en los suelos utilizados en el estudio existe una respuesta positiva a las dosis mayores de K al tercer año de iniciada su aplicación.

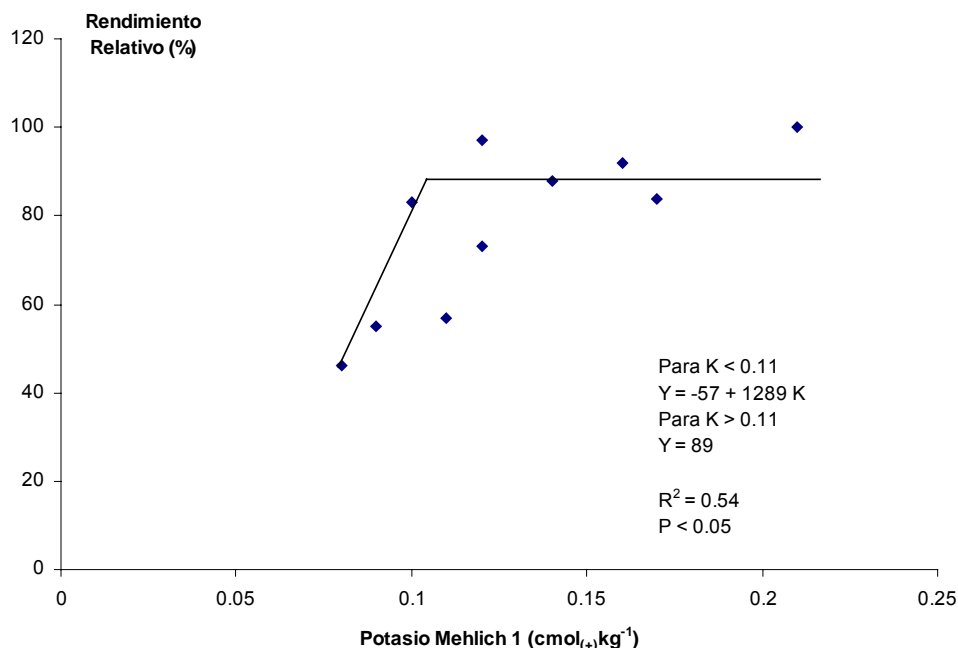


Figura 4. Curva de Rendimiento Relativo Máximo Estable con la Solución Mehlich -1. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1988.

Cuadro 7. Rendimiento de maíz y densidad de planta en función de dosis de potasio y manejo de residuo. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1989.

Dosis de Potasio kg ha ⁻¹	Manejo de Residuo	Rendimiento kg ha ⁻¹			Densidad de Planta Plantas/m ²
		Grano	Tuza	Capullo	
0	Incorporado	1840	459	525	3.6
42	Incorporado	2143	472	604	3.8
84	Incorporado	2017	462	549	3.8
126	Incorporado	2674	573	632	4.0
168	Incorporado	2653	577	646	3.9
210	Incorporado	2598	545	618	3.9
0	Sin Residuo	278	101	132	1.1
126	Sin Residuo	889	250	278	2.0
42	Sin Residuo	472	146	184	1.4
42 ¹	Incorporado	3059	622	656	4.0
LSD 0.05		864	155	168	0.9
CV (%)		32	24	19	19

Curva de Rendimiento Máximo Estable (1988 y 1989)

La curva de rendimiento máximo estable para el año 1988 y 1989 establece que debajo de 0.1 cmol(+)kg⁻¹ de suelo por Mehlich 1, hay una respuesta lineal a las dosis de K. El modelo matemático se expresa con la fórmula: $Y = -200 + 2784 K$. Adicionalmente, esta curva indica que con más de 0.1 cmol(+)kg⁻¹ de suelo, el rendimiento relativo permanece estable en un 80% (Figura 5). El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.49 con $P < 0.05$ lo que indica que la variable K explica en alto porcentaje la variabilidad de los rendimientos y el resto es atribuible, principalmente, al factor acidez del suelo.

Debido a que el coeficiente de determinación, obtenido usando la solución de acetato de amonio (NH₄OAc) fue de 0.54, se considera que esta solución extractora explica mejor la variabilidad de los rendimientos con relación a la variable K. Esto implica que la solución NH₄OAc puede usarse como solución extractora de K en estos suelos, con alta confiabilidad (Figura 6).

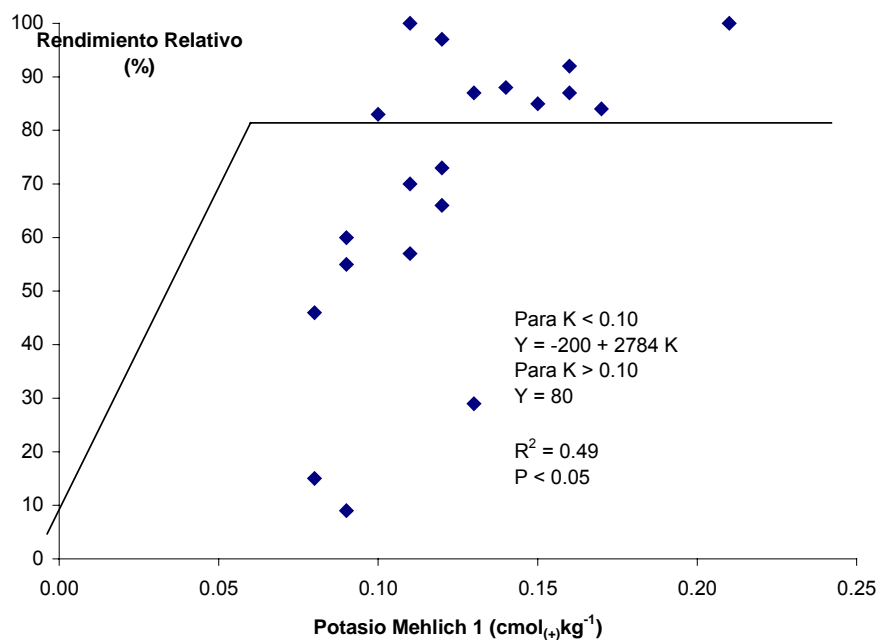


Figura 5. Curva de Rendimiento Máximo Estable con la Solución Mehlich-1. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1988 y 1989.

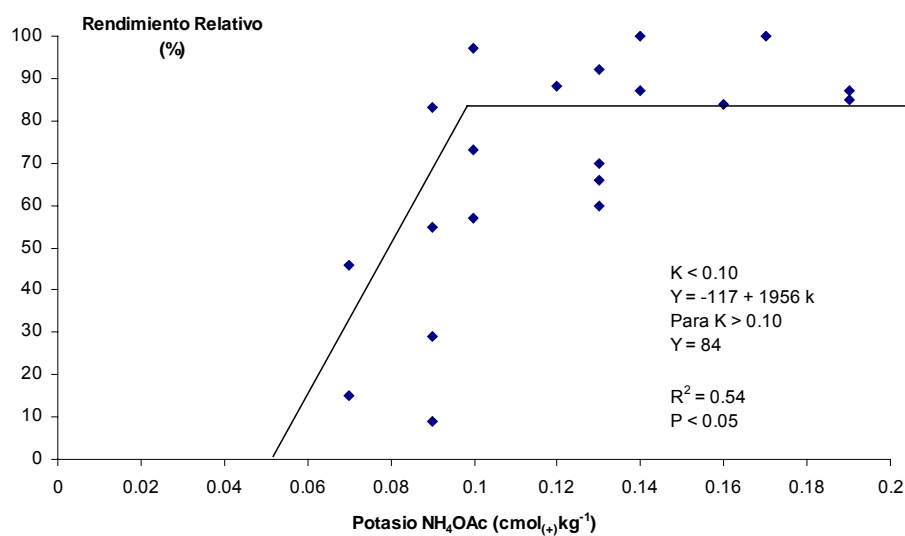


Figura 6. Curva de Rendimiento Máximo Estable con Acetato de Amonio. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1988 y 1989.

La disminución del CV en los análisis de varianza a partir del primer año del ensayo, puede atribuirse a la reducción de la variabilidad de la acidez por el encalado y fertilización del suelo y por el perfeccionamiento del manejo del ensayo.

En la Figura 7 se muestra que el menor rendimiento del año 1988 puede explicarse basándose en la reducción de los niveles de P aplicados (33 kg ha^{-1}) y al efecto de la acidez. En 1989, la curva de rendimiento sobrepasa a los años 1987 – 1988 por efecto del encalado y la aplicación de P en dosis de 66 kg ha^{-1} . Esto indica que el efecto residual del K y la respuesta a dosis crecientes del mismo se mantuvo durante estos tres años. La reducción de la variabilidad del suelo por encalado y fertilización se manifiesta mediante el aumento de los rendimientos.

En la Figura 8 se aprecia, que en los tratamientos sin incorporación de residuos ocurre una disminución constante de los rendimientos a través de los años. La extracción del residuo se inició a partir de la primera cosecha. Práctica esta que incidió en la producción de biomasa en las próximas cosechas, en los tratamientos sin residuo incorporado. Esto permite considerar que en estos suelos la incorporación del residuo debe ser parte integral del manejo de los mismos y que el aporte de K por los residuos es significativo, ya que a las dosis mayores, sin residuo, no se encontró efecto residual del K en la producción de maíz.

El Cuadro 8 muestra diferencias significativas en la concentración de K por efecto del muestreo en el tiempo. La concentración de K extraído del suelo disminuye significativamente en el muestreo posterior a la cosecha a la profundidad de 0 – 15 cm comparado con la concentración detectada antes de la siembra.

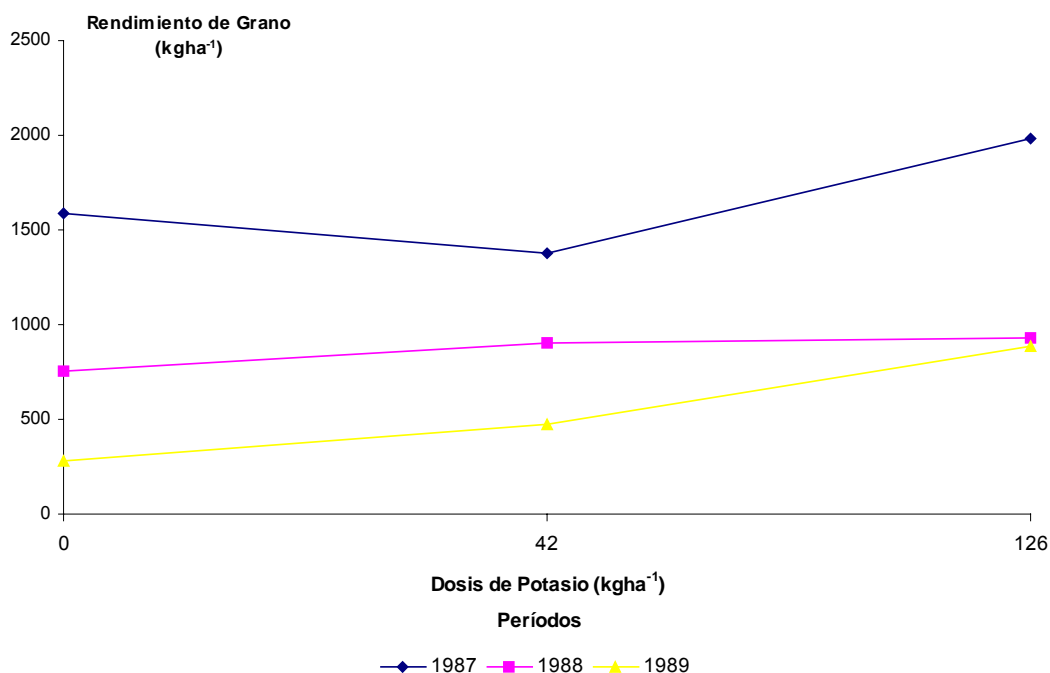


Figura 8. Respuesta a Diferentes Dosis de Potasio sin Manejo de Residuo de Cosecha. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1988 y 1989.

No se detectaron diferencias en las concentraciones de K antes de la siembra y después de cosecha a la profundidad de 15 – 30 cm. Se puede asumir que no ocurrió lixiviación de K entre la profundidad de 0 - 15 y 15 – 30 cm en el año 1988. En general, se puede inferir que no hay efecto de la aplicación del K y cal en las concentraciones detectadas en la profundidad dos, lo que indica que no hubo lixiviación de ningún elemento en 1988.

Para 1989, el análisis muestra diferencias significativas en la concentración de K, antes de la siembra y después de la cosecha, lo cual puede implicar que del año 1988 a 1989 hubo una pequeña lixiviación, aunque ésto podría estar afectado por los procedimientos analíticos. El Cuadro 9 presenta un resumen de los rendimientos y análisis de suelos obtenidos en los tres cultivos de maíz realizados en el experimento.

Cuadro 9. Resumen del rendimiento del maíz en grano para tres cosechas en función del análisis de suelo en un ultisol. Calabacito, Veraguas-Panamá. 1987 – 1988.

Potasio Aplicado	Residuo	Rendimiento			Potasio Mehlich 1			Potasio NH ₄ OAc	
		1987	1988	1989	1987	1988	1989	1988	1989
kg ha ⁻¹		-----kg ha ⁻¹ -----			-----cmol(+)kg ⁻¹ -----				
0	Incorporado	1405	1201	1840	0.08	0.12	0.09	0.10	0.13
42	Incorporado	1789	1587	2143	0.09	0.12	0.11	0.10	0.13
84	Incorporado	1485	1441	2017	0.09	0.14	0.12	0.12	0.13
126	Incorporado	2163	1377	2674	0.10	0.17	0.13	0.16	0.14
168	Incorporado	2184	1509	2653	0.09	0.16	0.16	0.13	0.19
210	Incorporado	2693	1636	2598	0.18	0.21	0.15	0.17	0.19
0	Sin Residuo	1591	752	278	0.06	0.08	0.09	0.07	0.09
126	Sin Residuo	1981	928	889	0.11	0.11	0.13	0.10	0.09
42	Sin Residuo	1376	903	472	0.10	0.09	0.08	0.09	0.07
42 ¹	Incorporado	2419	1358	3059	0.10	0.10	0.11	0.09	0.14
LSD 0.05		ns	549	864	nd	0.04	0.05	0.06	0.04
CV (%)		50	30	32		23	28		

CONCLUSIONES

- ♦ El principal medio de aumentar la eficiencia de la fertilización con potasio incluye las aplicaciones anuales o divididas en dosis de 42 kg ha⁻¹.
- ♦ La incorporación de los residuos de cosecha del maíz es vital para mejorar la fertilización potásica.
- ♦ La extracción de K por parte del cultivo es lo suficientemente grande como para que no exista efecto residual donde no se incorpora el residuo, aún a dosis de 126 kg ha⁻¹ de K.
- ♦ El cultivo de maíz responde linealmente, siempre y cuando el análisis de suelo para K extraído con Mehlich – 1 sea menor de 0.1 cmol(+)kg⁻¹ de suelo. Sobre este valor, el rendimiento permanece estable a 80% del máximo.
- ♦ Con las dosis de K empleadas no se detectó pérdida por lixiviación del horizonte A al B en 1988. En 1989 sólo hubo una pequeña lixiviación que incluso puede atribuirse a métodos analíticos.
- ♦ Se encontró buena correlación entre las soluciones extractoras de Mehlich-1 y NH₄OAc, para potasio en estos suelos.
- ♦ El efecto residual del potasio en las parcelas con residuos se manifiesta al tercer ciclo del cultivo en todos los tratamientos.

BIBLIOGRAFIA

- FOX, R.L. ; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society of America Proceedings (EE.UU.) 34: 902 – 907.
- MINISTERIO DE DESARROLLO AGROPECUARIO. COMISIÓN DE REFORMA AGRARIA. 1970. Reporte final sobre el catastro rural de tierras y aguas de Panamá. International Resources and Geotechnics Inc./International Engineering Company Inc./The Jacobs Company. Vol 1, 504 p.
- NAME, B.; BATISTA, D. 1979. Encalado en suelos ácidos de Panamá con alto contenido de aluminio intercambiable. I. Finca Experimental de Calabacito. Ciencia Agropecuaria (Panamá) 2: 1 –13.
- RITCHEY, K.D. 1979. Potassium fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics. Cornell International Agriculture. Bulletin 37.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. 1983. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Colombia, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- SANCHEZ, P.A.; COCHRANE, T.T. 1980. Priorities for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics. IRRI, Los baños, Philippines. pp. 107 – 140.
- SILVA, J.E. da; RITCHEY, K.D. 1981. Acumulacao diferencial de potasio em um solo sob cerrado durante cultivos anuais. In: Congresso Brasileiro da Ciencia do Solo. Salvador. Programa e Resumos, Brasil, Salvador, SBPC. p. 91.
- SILVA, J.E. da; RITCHEY, K.D. 1982. Adubacao potassica em solos de cerrado. In: Potassio na agricultura brasileira. Brasil, Instituto da Potassa & Fosfato.
- URIBE, E.; COX, F. 1988. Soil properties affecting the availability of potassium in highly wathered soils. Soil Science Society of America (EE.UU.) 52: 148 – 152.

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACION EN TRES ESTACIONES EXPERIMENTALES UBICADAS EN EL BOSQUE TROPICAL HUMEDO Y BOSQUE TROPICAL SECO DE PANAMA

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Se realizó un análisis de la precipitación y de días de lluvia de tres estaciones experimentales del IDIAP, encontrándose diferencias en los niveles de precipitación y en los días de lluvia. La zona de influencia de la Estación de Guarumal presenta mayor cantidad de precipitación y de días de lluvia que Calabacito, y ésta a su vez registra mayor cantidad que Río Hato. Las curvas de precipitación y de días de lluvia siguen las mismas tendencia en todo el litoral pacífico. Este tipo de diferenciación climática deberá usarse para la selección de cultivos, la ubicación de las épocas de siembra y en el uso del seguro agropecuario. Los datos fueron captados manualmente y tabulados para determinar lluvia total diaria, mensual y anual, días de lluvia, probabilidad de lluvia y de días de lluvia en el mes. Para la determinación de las probabilidades de lluvia y de días de lluvia en el mes se establecieron rangos que permitieron agrupar, en base a porcentaje, diferentes clases de probabilidades de ocurrencia de días de lluvia o de milímetros de precipitación en el mes. Luego de establecidos los rangos se sumaron los años dentro de cada rango y se dividieron dentro del total de años analizados multiplicado por cien, para determinar la probabilidad de ocurrencia del evento. La desviación estándar (D.S.) y el coeficiente de variación (C.V.) fueron determinados por el programa de computadora STATS de Decision Analyst, Inc., con el fin de determinar cuanto se alejan los datos de la media y la variabilidad de los datos con respecto a esta, respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Precipitación atmosférica, lluvia, estación lluviosa, estación húmeda, Panamá.

INTRODUCCIÓN

La meteorología es la ciencia que se ocupa del estudio de la atmósfera, del estado atmosférico y del clima, por medio del examen de las condiciones atmosféricas y de sus variaciones, en el espacio y en el tiempo. Investiga así mismo las leyes que se ponen de manifiesto en dichos fenómenos, explorando sus respectivas causas y examinando sus efectos recíprocos sobre el mundo animado e inanimado de la Tierra (Bacsó, 1967).

El tiempo es el estado atmosférico instantáneo, o sea un elemento momentáneo de una alteración de estado de carácter permanente. Constituye un fenómeno complicado y complejo, que no se puede medir con un solo instrumento, ni expresar con un solo número, ni caracterizar con una sola palabra (Fuentes, 1996).

Para determinar el tiempo actual, se requieren numerosos indicadores del estado del aire, junto y paralelamente con muchos otros factores simultáneos de la atmósfera; y para caracterizarlos, es indispensable el conjunto de dichos valores, medidos por separado el uno del otro.

Estos indicadores o elementos de la atmósfera son en primer término, las condiciones físicas del aire, tales como su temperatura, presión, humedad relativa, el grado de limpieza y de transparencia, su contenido eléctrico, dirección, fuerza y velocidad de su movimiento. Tienen la misma importancia otros fenómenos observados en la atmósfera como la energía y duración de la radiación solar, la radiación calórica, las nubes y niebla, evaporación y las precipitaciones. Igualmente se deben tomar en cuenta las condiciones características del suelo como son la temperatura y humedad del terreno.

Para nuestro caso, la precipitación es el término general que define al agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie del globo terrestre generalmente en forma de lluvia.

La precipitación atmosférica es el resultado final del movimiento ascendente del aire húmedo, el cual es enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua (Bacsó, 1967).

En latitudes tropicales, generalmente la actividad convectiva es la causa principal del ascenso del aire; por lo que, se le considera sola o en combinación con otros factores, responsable por la ocurrencia de gran parte de las lluvias tropicales. Otros factores importantes en la producción de altas cantidades de lluvia en los trópicos son: la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y el relieve con elevaciones montañosas (Fuentes, 1996).

En los trópicos, la precipitación atmosférica consiste casi en su totalidad de lluvia y constituye el elemento climático más variable de todos. El total anual, su indicador cuantitativo más conocido, muestra variaciones considerables entre un lugar y otro en estas áreas. Otras características como su distribución estacional, intensidad, duración y frecuencia de días con lluvia presentan también diferencias importantes en su distribución espacial (OMM, 1984).

La migración estacional de las masas de aire tropical del Pacífico y sub-tropical del Atlántico que acompañan al sol en su curso anual constituye el control dominante sobre los patrones de precipitación en Panamá. Estas migraciones en combinación con la orografía local, establecen regímenes de precipitación bien definidos (Centella, 2001).

En la vertiente del Pacífico hay una estación lluviosa extendida y única que empieza de fines de abril a principios de mayo y persiste de fines de noviembre a mediados de diciembre. Este período se caracteriza por los máximos de precipitación coincidentes con el paso de ZCIT sobre Panamá en dirección norte (junio) y en dirección sur (octubre) en su desplazamiento siguiendo al sol en su curso anual (Centella, 2001).

Entre diciembre y finales de abril se establece en esta vertiente la estación seca con ausencia casi total de lluvia. Algunas veces, en este período ocurren temporales y lluvias copiosas, causadas por incursiones de frentes fríos intensos que logran alcanzar nuestras latitudes y que son empujados por avances vigorosos de masas enormes de aire polar, procedentes de las regiones árticas heladas.

El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento de las precipitaciones y días de lluvia en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Río Hato durante los últimos 9, 16 y 22 años de registros que se poseen de las estaciones, respectivamente.

Se espera crear conciencia de las necesidades urgentes del establecimiento de estaciones meteorológicas en las áreas de investigación y de producción de manera que se correlacionen rendimientos con precipitación, especialmente en este momento en que el cambio climático es algo inminente. El análisis de la información climática de las diversas zonas apoyará en la toma de decisiones para el diseño y establecimiento de los ensayos de campo, al igual, que a los productores de las áreas, en la selección de épocas de siembras más óptimas de acuerdo a las probabilidades matemáticas, lo que contribuirá a mitigar las pérdidas potenciales de los cultivos.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de las áreas

La Estación Experimental de Calabacito del IDIAP se encuentra ubicada geográficamente en la vertiente del pacífico del Istmo de Panamá en las coordenadas 8°14'50" de latitud Norte y 81° 04' 57" de longitud Oeste a una elevación de 100 metros sobre el nivel del mar. Los suelos se clasifican como fino mezclado, isohipertérmico, typic plintudult ubicados en una terraza aluvial antigua (Jaramillo, 1991).

Políticamente se encuentra ubicada en el corregimiento de Remance, distrito de San Francisco, en la cuenca del Río Santa María.

El régimen pluviométrico de esta región se caracteriza por abundantes lluvias, de intensidad entre moderada a fuerte, acompañadas de actividad eléctrica que ocurren especialmente en horas de la tarde. La época de lluvia se inicia en firme en el mes de mayo y dura hasta noviembre, siendo los meses de septiembre y octubre los más lluviosos. Dentro de la época de lluvia se presenta frecuentemente un período seco entre junio y agosto conocido popularmente como veranito o caniculares.

La Estación Experimental de Guarumal del IDIAP se encuentra ubicada al sur de la provincia de Veraguas, en la vertiente del pacífico sobre las coordenadas 7° 46'50" de latitud norte y 81°10' 50" de longitud oeste, a una elevación de 10 metros sobre el nivel del mar. Políticamente se encuentra ubicada en el corregimiento de Guarumal, Distrito de Soná en la cuenca del Río San Pablo. Los suelos representativos de la zona se clasifican como franco fino, mezclado, isohipertérmico *ultic tropudalf*, que se encuentran sobre sedimentos ígneos básicamente granodiorita (Jaramillo, 1991).

La Estación Experimental de Río Hato se encuentra al sur este de la provincia de Coclé, en la vertiente del pacífico sobre las coordenadas 8° 21' 00" de latitud Norte y 80° 10' 00" de longitud Oeste a una elevación de 5 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra políticamente ubicada en el corregimiento de Río Hato, distrito de Antón. Los suelos representativos de la estación se clasifican como fino haloisítico isohipertérmico *aeric tropaqualf*, que se encuentran sobre sedimentos aluviales antiguos altamente meteorizados (Jaramillo, 1991).

El registro de la precipitación se realizó continuamente por un período de 9, 20 y 22 años, para el caso de Calabacito, Guarumal y de la estación experimental de Río Hato, respectivamente, utilizando pluviómetros calibrados. Los datos de Calabacito

y Guarumal fueron registrados por el personal del IDIAP, y los de Río Hato por el personal de la Facultad de Agronomía en la estación experimental en el área. Según el diagrama para la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1967), Calabacito y Guarumal se ubican en el Bosque húmedo tropical y Río Hato en el Bosque seco tropical transición muy seco.

Los datos fueron captados manualmente y tabulados para determinar lluvia total diaria, mensual y anual, días de lluvia, probabilidad de lluvia y de días de lluvia en el mes.

Para la determinación de las probabilidades de lluvia y de días de lluvia en el mes se establecieron rangos que permitieron agrupar, a base de porcentajes, diferentes clases de probabilidades de ocurrencia de días de lluvia o de milímetros de precipitación en el mes. Luego de establecido los rangos se sumaron los años dentro de cada rango y se dividieron dentro del total de años analizados multiplicados por cien, para determinar la probabilidad de ocurrencia del evento. La desviación estándar (D.S.) y el coeficiente de variación (C.V.) fueron determinados por el programa de computadora STATS de Decision Analyst, Inc., con el fin de determinar cuánto se alejan los datos del promedio y la variabilidad que estos presentan entre sí, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1, se presenta el registro de los días de lluvia mensuales ocurridos en los últimos nueve años en la Estación Experimental de Calabacito. Los meses con la menor ocurrencia de días de lluvia son los de enero, febrero, marzo y abril con un rango de 0.2 a 2.3 días de lluvia en el mes. A partir de mayo se nota un aumento apreciable en los días efectivos de lluvia, coincidiendo esto con el inicio de la época lluviosa o húmeda de la vertiente del pacífico. Se destacan los meses de septiembre y octubre con el 18.3 y 18 días de lluvia efectiva, promedio de nueve años respectivamente. En los días de lluvia total anual destaca el año 1997 con la menor cantidad de días de lluvia, coincidiendo éste dato con la ocurrencia del Fenómeno del Niño para esa época.

Cuadro 1. Lluvia mensual y anual - Estación de Calabacito, Veraguas, Panamá.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1992	0	0	0	0	12	19	12	15	19	16	14	6	113
1993	5	0	3	6	13	17	11	15	25	19	13	6	133
1994	0	0	0	2	13	13	11	9	19	23	14	2	106
1995	0	0	5	7	21	21	18	20	13	23	20	8	156
1996	4	0	1	2	12	12	18	12	21	20	14	8	124
1997	5	0	0	2	5	17	6	6	14	9	16	1	82
1998	0	0	2	2	10	12	9	14	14	22	14	12	112
1999	3	2	0	0	11	22	10	17	21	13	16	11	126
2000	0	0	0	0	9	20	12	18	19	17	14	5	114
Pro-medio Mensual	1.9	0.2	1.2	2.3	11.8	17	11.9	14	18.3	18	15	6.5	118
D.S. ±	2.32	0.67	1.79	2.55	4.26	3.87	3.92	4.42	3.97	4.77	2.12	3.68	20.41
C.V. %	122	335	149.2	110.9	36.1	22.8	32.9	31.6	21.7	26.5	14.1	24.5	17.3

En el Cuadro 2, se presenta la probabilidad de ocurrencia de días de lluvia mensual en la Estación Experimental de Calabacito. Se destaca que de enero a abril existe una alta probabilidad de que ocurran 5 ó menos días de lluvia en el mes. Sin embargo, a partir de mayo aumentan las probabilidades de mayor cantidad de días de lluvia.

Los meses con la mayor probabilidad de días de lluvia en el rango de 21 a 25 días son septiembre y octubre con el 34 y 33 %, respectivamente. A pesar de que mayo presenta un 11 % de probabilidad de que se obtengan 21 a 25 días de lluvias; la probabilidad de que dicha cantidad sea menor de 15 días, es alta con el 89 %.

Para la agricultura comercial, y en base a estos datos, los meses de junio a noviembre son los de mayor probabilidad de éxito en los cultivos. La época de floración de cultivos como las gramíneas deberán coincidir con los meses de septiembre y octubre para asegurar buenos rendimientos.

Cuadro 2. Porcentaje de probabilidad de días de lluvia mensual en Calabacito

Rango	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
días de lluvia	% _____											
0-5	100	100	100	78	11	0	0	0	0	0	0	33
6-10	0	0	0	22	22	0	33	22	0	11	0	45
11-15	0	0	0	0	56	33	45	45	33	11	67	22
16-20	0	0	0	0	0	45	22	33	33	45	33	0
21-25	0	0	0	0	11	22	0	0	34	33	0	0
26-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En los Cuadros 3 y 4, se presenta la precipitación y el porcentaje de probabilidad de lluvia mensual en Calabacito. Se encuentra muy claramente demarcada la época seca entre enero y abril, y la húmeda entre mayo y noviembre. La precipitación total anual del año 1997 fue la de menor cantidad coincidiendo el comportamiento con el de los días de lluvia por efecto del Fenómeno de El Niño. Los meses con mayor precipitación son octubre, septiembre, junio y agosto, en promedio de nueve años. Aunque el período de meses con menor variabilidad en la precipitación se encuentra ubicado entre agosto y noviembre.

Cuadro3. Precipitación mensual y anual en mm, Estación de Calabacito.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1992	0	0	0	0	220	290	180	295	380	175	120	30	1690
1993	210	0	10	100	250	445	215	400	400	300	200	50	2580
1994	0	0	0	150	223	225	134	93	351	624	309	80	2189
1995	0	0	152	244	575	412	375	247	382	626	204	112	3329
1996	48	0	19	111	386	233	348	317	485	476	222	67	2712
1997	59	0	0	104	69	492	92	43	161	275	229	4	1528
1998	0	0	38	75	135	239	180	569	345	507	834	219	3142
1999	36	19	0	0	269	466	203	474	463	351	215	200	2696
2000	0	0	0	0	212	386	214	252	465	296	341	68	2234
Prome- dio Men- sual	39.2	2.1	24.3	87.1	259.9	354.2	215.7	298.9	381.3	403.3	297.1	92.2	2456
D.S ± mm.	68.3	6.3	49.6	81.0	146.9	107.7	91.9	168.4	97.2	161.2	211.2	73.2	606
C.V %	174.3	301.4	204.1	93.0	56.5	30.4	42.6	56.4	25.5	40.0	71.1	79.4	24.7

En el Cuadro 4, se aprecia que la probabilidad de precipitación de menos de 50 mm de lluvia es alta en los meses de enero, febrero y marzo oscilando la misma de 78 a 100 %. En los meses de abril y diciembre dicha probabilidad se encuentra en 33 %, indicando la entrada y la salida de la época húmeda respectivamente. En los meses de septiembre y octubre las probabilidades matemáticas de obtener menos de 150 mm son nulas. La probabilidad acumulada de obtener entre 201 y 600 mm de precipitación para los meses de agosto a noviembre oscila entre 78, 89, 89 y 78, respectivamente.

Cuadro 4. Porcentaje de probabilidad de lluvia mensual en Calabacito.

Rango	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC
Lluvia en mm	%											
0-50	78	100	89	33	0	0	0	11	0	0	0	33
51-100	11	0	11	22	11	0	11	11	0	0	0	34
101-150	0	0	0	34	11	0	11	0	0	0	11	11
151-200	0	0	0	11	0	0	22	0	11	11	11	11
201-300	11	0	0	0	56	44	34	34	0	33	45	11
301-400	0	0	0	0	11	11	22	11	44	11	22	0
401-500	0	0	0	0	0	45	0	22	45	11	0	0
501-600	0	0	0	0	11	0	0	11	0	11	0	0
601-700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	11	0
+												

En los Cuadros 5 y 6, se presentan los registros de días de lluvia y la probabilidad de días de lluvia en cada mes en Guarumal entre 1985 y el 2000. A pesar de seguir el mismo patrón de comportamiento que en Calabacito, el promedio total anual fue de 25 días más que en Calabacito con 143 en el año. La época húmeda se encuentra bien delimitada a partir de mayo con 14.8 días de lluvia, hasta noviembre con 17.2 en promedio en 16 años.

Cuadro 5. Días de lluvia mensual y anual- Estación de Guarumal, Veraguas, Panamá.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1985	1	0	1	7	11	19	16	17	20	22	16	10	140
1986	0	2	4	4	16	20	19	18	17	23	15	6	144
1987	0	0	1	5	10	21	18	21	16	22	12	7	133
1988	1	1	1	3	13	22	22	19	19	25	23	10	159
1989	4	0	1	1	10	11	13	13	16	21	17	10	117
1990	3	1	1	4	14	18	17	18	17	27	19	9	148
1991	2	0	5	11	20	17	19	22	21	20	12	4	154
1992	0	1	0	2	15	14	12	18	19	23	18	7	130
1993	9	0	4	6	19	20	14	17	23	18	19	2	151
1994	1	0	2	5	20	13	21	19	20	19	23	2	145
1995	0	0	0	8	10	16	11	15	15	23	14	6	118
1996	5	1	4	4	14	11	15	12	18	23	11	7	125
1997	5	5	0	4	14	15	14	11	15	19	21	4	127
1998	0	1	0	6	12	15	15	22	23	21	20	20	155
1999	7	4	3	11	20	24	19	21	22	27	23	14	195
2000	5	0	0	6	18	15	19	18	25	22	12	7	147
Promedio Mensual	2.7	1.0	1.7	5.4	14.8	16.9	16.5	17.6	19.1	22.2	17.2	7.8	143
D.S ±													19.1
Días	2.8	1.5	1.7	2.8	3.7	3.9	3.2	3.4	3.1	2.6	4.2	4.5	
C.V. %	105.2	151	102.4	51.8	25.1	22.8	19.7	19.2	16.1	11.8	24.5	58.2	13.4

La probabilidad de que se logren menos de 5 días de lluvia en los meses de enero, febrero, marzo y abril es alta con el 88, 100, 100 y 56 %, respectivamente. El mes más lluvioso es octubre con 22.2 días de lluvia. En 1997, año en que ocurre el Fenómeno del Niño, parece no haber afectado significativamente este parámetro en este sector del país. Los meses con probabilidad de 16 días de lluvia o más se ubicaron entre mayo y diciembre con 37 % para mayo, 56 % para junio, 56 % para julio, 75 % para agosto, 87 % para septiembre, 100 % para octubre, 63 % para noviembre y 6 % para diciembre.

Cuadro 6. Porcentaje de Probabilidad de días de lluvia mensual en Guarumal, Panamá.

Rango	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Días de lluvia	%											
0-5	88	100	100	56	0	0	0	0	0	0	0	25
6-10	12	0	0	31	19	0	0	0	0	0	0	63
11-15	0	0	0	13	44	44	44	25	13	0	37	6
16-20	0	0	0	0	37	37	44	50	56	25	38	6
21-25	0	0	0	0	0	19	12	25	31	62	25	0
26-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0

Los promedios mensuales delimitan claramente las épocas seca (enero a abril) y húmeda (mayo a diciembre). En este sector pareciera que el realizar dos cosechas tiene altas probabilidades de éxito, ya que a partir de mayo se logran más de 300 mm de precipitación mensual hasta noviembre, lográndose una humedad residual generalmente hasta fines de diciembre. El promedio anual de precipitación es del orden de 2924.5 mm (Cuadro 7).

El Cuadro 8, muestra que las probabilidades de obtener más de 200 mm de precipitación a partir de mayo son altas con 94 % para los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, 100 % para octubre y 87 % para noviembre. Permitiendo esto el desarrollo de cultivos exigentes en humedad.

Cuadro 7. Precipitación mensual y anual en mm Guarumal, Veraguas, Panamá.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1985	10	0	8	74	204	281	187	364	310	469	180	117	2204
1986	0	35	56	109	437	494	299	382	216	767	206	46	3047
1987	0	0	10	49	321	591	334	331	348	477	299	139	2899
1988	10	14	40	65	189	382	505	374	419	684	452.5	149	3283
1989	24	0	60	18	303	296	348	214	268	507	331	254	2623
1990	38	15	16	96	580	499	253	384	379	660	314	220	3454
1991	23	0	49	162	549	231	422	319	323	290	188	112	2668
1992	0	8	0	68	355	397	285	395	530	406	254	85	2783
1993	105	0	69	81	356	350	227	524	475	429	401	100	3118
1994	5	0	53	151	699	170	341	360	434	371	559	25	3168
1995	0	0	0	148	287	280	252	527	186	510	399	105	2694
1996	72	20	120	66	452	410	336	466	401	439	256	108	3146
1997	107	61	0	58	237	218	289	239	268	284	440	69	2270
1998	0	40	0	138	221	266	284	444	456	360	407	323	2939
1999	113	52	16	179	244	603	255	424	482	559	428	200	3554
2000	41	0	0	160	475	498	518	195	697	450	204	103	3341
Pro- medio Men- sual 16 años	33.0	15.3	31.1	101.4	369.3	372.9	320.9	371.4	387.0	478.9	332.4	134.7	2924.5
D.S ± mm.	41.7	20.6	34.6	48.7	149.9	133.9	92.8	97.7	129.4	135.6	112.9	78.6	392.2
C.V %	126.4	134.8	111.2	48.1	40.6	35.9	28.9	26.3	33.4	28.3	34	58.4	13.4

Cuadro 8. Porcentaje de Probabilidad de lluvia mensual en Guarumal.

Rango	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
Lluvia en mm	%											
0-50	75	88	69	12	0	0	0	0	0	0	0	12
51-100	6	12	25	44	0	0	0	0	0	0	0	19
101-150	19	0	6	19	0	0	0	0	0	0	0	44
151 – 200	0	0	0	25	6	6	6	6	6	0	13	6
201 – 300	0	0	0	0	31	38	50	12	19	12	31	13
301- 400	0	0	0	0	25	19	25	50	25	12	19	6
401 – 500	0	0	0	0	19	25	6	19	38	38	31	0
501- 600	0	0	0	0	13	6	13	13	6	19	6	0
601–700 +	0	0	0	0	6	6	0	0	6	19	0	0

El comportamiento de los días de lluvia y de la precipitación siguen la misma tendencia en la Estación de Río Hato, pero es marcada la diferencia en las cantidades menores que se dan en promedio en la zona.

El promedio de días de lluvia mensuales en la época seca van desde 1.8 mm en enero, pasando por 0.3, 0.4, y 2 mm en febrero, marzo y abril, respectivamente (Cuadro 9). La época de lluvia que se origina en mayo tiene 8 días de lluvia para ese mes y luego su máximo en junio y octubre con el 10.1 y 10.7 mm, respectivamente. El total de días de lluvia se vio fuertemente afectado por el año Niño de 1982 con 49 días de lluvia y de 1997 con 46 días de lluvia.

El total anual de días de lluvia fue del orden de 72, muy por debajo de los 118 y 143 días logrados anualmente en promedio en las zonas de Calabacito de San Francisco y Guarumal de Soná, respectivamente.

Cuadro 9. Días de lluvia mensual y anual en mm, Estación de Río Hato, Coclé, Panamá.

Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1977	0	0	0	0	6	17	10	14	9	11	6	2	76
1978	0	0	0	9	16	12	9	8	10	8	11	6	89
1979	0	0	0	0	5	10	10	12	10	13	14	5	79
1982	0	0	0	4	5	7	7	7	4	13	6	1	49
1983	0	0	0	3	10	11	7	7	12	8	7	10	76
1984	0	0	0	0	7	11	14	8	10	13	8	1	72
1985	0	1	0	0	4	10	8	11	7	13	9	9	72
1986	0	0	0	8	7	11	3	9	10	18	8	1	76
1987	0	0	0	1	6	8	9	9	12	9	7	2	64
1988	0	0	0	0	9	12	8	9	10	13	9	5	76
1989	5	0	0	0	4	15	6	11	9	9	9	6	74
1990	4	0	0	2	5	8	6	14	8	10	11	6	74
1991	3	0	1	0	13	9	10	6	9	13	10	6	80
1992	3	0	0	2	4	9	7	5	8	9	8	2	56
1993	5	0	0	3	8	4	9	8	8	4	11	2	62
1994	1	0	4	3	10	12	7	11	9	19	14	2	92
1995	1	0	0	3	11	9	11	4	11	13	16	6	85
1996	5	3	0	0	15	11	9	7	8	12	8	7	85
1997	0	0	0	0	3	10	5	3	8	8	9	0	46
1998	0	0	0	1	7	10	8	9	9	9	12	12	77
1999	5	1	3	4	10	8	6	9	13	6	8	4	77
2000	7	1	1	1	9	8	5	10	7	5	6	4	64
Promedio Mensual 22 años	1.8	0.3	0.4	2	7.96	10.1	7.9	8.7	9.1	10.7	9.4	4.5	72.8
D.S ± días	1.7	0.4	0.6	2.4	2.2	1.4	1.5	3.6	3	2.1	2.1	1	10.8
C.V %	94.4	116.7	137.5	118.5	27.9	13.7	19.5	41.5	33.2	19.7	22.1	23.1	14.8

Los meses más secos con probabilidades de que se obtengan menos de 5 días de lluvia son enero, febrero, marzo y abril con el 96, 100, 100. y 91 %, respectivamente. Diciembre presenta un 59 % de probabilidad de que se obtengan menos de 5 días de lluvia.

Los meses con la mayor probabilidad de días de lluvia son octubre con 50%, y noviembre con 32 % de probabilidad de que se tengan más de 11 días.

Cuadro 10. Porcentaje de Probabilidad de días de lluvia mensual en Río Hato.

Rango	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Días de lluvia	%											
0 -5	96	100	100	91	32	4	14	14	5	9	0	59
6-10	4	0	0	9	50	55	77	59	77	41	68	36
11-15	0	0	0	0	14	36	9	27	18	41	27	5
16-20	0	0	0	0	4	5	0	0	0	9	5	0
21- 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26-30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En el Cuadro 11, se presenta el registro de la precipitación promedio de los últimos 22 años. Se observa la misma tendencia de las otras zonas bajo estudio con la diferencia de que en la época seca y la húmeda de esta zona es más marcada la deficiencia hídrica. En 1982, el efecto del año Niño acentuó la deficiencia hídrica con sólo 790 mm de precipitación anual, y nuevamente el mismo fenómeno en 1997 con 706 mm. El mes de más precipitación es octubre con 173 mm en promedio. Seguido de junio con 149. La época húmeda se extiende desde mayo con 127 mm a noviembre con 137 mm. El promedio anual es del orden de 1066 mm de precipitación.

Cuadro11. Precipitación mensual y anual en mm – Estación de Río Hato.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total Anual
1977	0	0	0	0	25	198	127	350	104	113	67	63	1047
1978	0	0	0	66	173	88	50	56	170	227	225	71	1126
1979	0	0	0	0	63	177	58	50	70	242	205	76	941
1982	0	0	0	56	120	178	106	72	32	153	63	4	790
1983	0	0	0	7	148	182	90	121	160	185	166	93	1152
1984	0	0	0	0	136	141	136	83	278	171	154	29	1128
1985	0	15	0	0	43	137	56	159	97	160	77	91	835
1986	0	0	0	90	116	154	40	195	219	329	240	51	1434
1987	0	0	0	3	79	119	119	139	173	115	67	123	937
1988	0	0	0	0	101	244	81	70	107	234	89	55	981
1989	32	0	0	0	29	76	204	175	111	138	122	100	987
1990	49	0	0	23	86	241	70	164	63	125	91	43	955
1991	15	0	36	0	191	100	93	61	220	139	103	120	1078
1992	20	0	0	18	43	92	74	137	104	318	139	19	964
1993	48	0	0	83	130	108	122	165	95	67	259	25	1102
1994	6	0	27	81	246	139	57	187	95	255	171	30	1294
1995	6	0	0	15	192	161	266	66	85	131	210	47	1179
1996	107	44	0	0	329	121	219	77	184	212	140	78	1511
1997	0	0	0	0	38	143	157	13	99	156	100	0	706
1998	0	0	0	9	171	181	146	80	70	70	161	228	1116
1999	35	5	22	13	233	229	61	77	218	216	111	52	1272
2000	87	20	10	16	111	76	82	296	91	50	49	35	923
Promedio Mensual 22 años	18.4	3.8	4.3	21.8	127.4	149.3	109.7	127	129.3	173	136.8	69.7	1066
D.S ± mm.	31.9	10.4	9.1	10.5	17.3	77.7	38	115.2	76.3	95.1	52.6	32	222.4
C.V %	173.3	274.2	212.6	48.2	13.6	52	34.6	90.7	59	55	38.5	45.8	20.9

En el Cuadro 12, se presenta la probabilidad de lluvia mensual encontrándose que en enero, febrero, marzo y abril la probabilidad de lograr menos de 50mm es de 91, 100, 100 y 77 % para estos meses, respectivamente. El mes de diciembre, el inicio de la época seca tiene 41% de probabilidad de obtener menos de 50 mm de pp. En la época húmeda, que corre de mayo a noviembre, la probabilidad de obtener más de 100 mm de precipitación es de 63 % en mayo, 78% en junio, 45% en julio, 50% en agosto, 54% en septiembre, 86% en octubre y 64% en noviembre. Lo que nos indica la necesidad sentida de seleccionar cultivos de temporada con una baja exigencia de humedad. Igualmente que la zona se adecua perfectamente a cultivos que se manejen bajo sistemas de riego.

Cuadro 12. Porcentaje de probabilidad de lluvia mensual en Río Hato.

Rango	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
Lluvia en mm	%											
0-50	91	100	100	77	23	0	9	9	5	5	4	41
51-100	5	0	0	23	14	22	46	41	41	9	32	46
101-150	4	0	0	0	32	32	27	14	18	27	23	9
151 – 200	0	0	0	0	18	32	4	27	18	23	18	0
201 – 300	0	0	0	0	9	14	14	5	18	27	23	4
301- 400	0	0	0	0	4	0	0	4	0	9	0	0
401 – 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
501- 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
601-700 +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En relación a la D.S., dentro de cada área, desvíos grandes indican evidentemente que el conjunto de datos en estudio es heterogéneo, tienen una gran dispersión en sus elementos. Desvíos pequeños al contrario indican homogeneidad, una dispersión pequeña. Al comparar los días de lluvia y los mm de precipitación se encuentra más uniformidad en la época seca indicando que la variabilidad en esta época es menor que en la húmeda. Las épocas secas tienden a ser siempre secas, esto es, mantienen las características de poca precipitación y pocos días de lluvia.

El C.V. es otro parámetro que nos da la D.S. en porcentaje de la media indicando ésta, que entre más pequeña, más uniformidad de los días de lluvia y de los mm de precipitación a través de los meses y de los años. Generalmente, los C.V. obtenidos son más pequeños; por lo tanto, indican más uniformidad en la época húmeda, tanto para los días de lluvia como para los mm de precipitación. Esto permite concluir que en la época húmeda tanto los días de lluvia como los mm de precipitación tienden a mantenerse dentro de los márgenes tabulados para cada mes a través de los años. Es más probable encontrar en un año, un coeficiente de variación alta en la época seca que en la de lluvia.

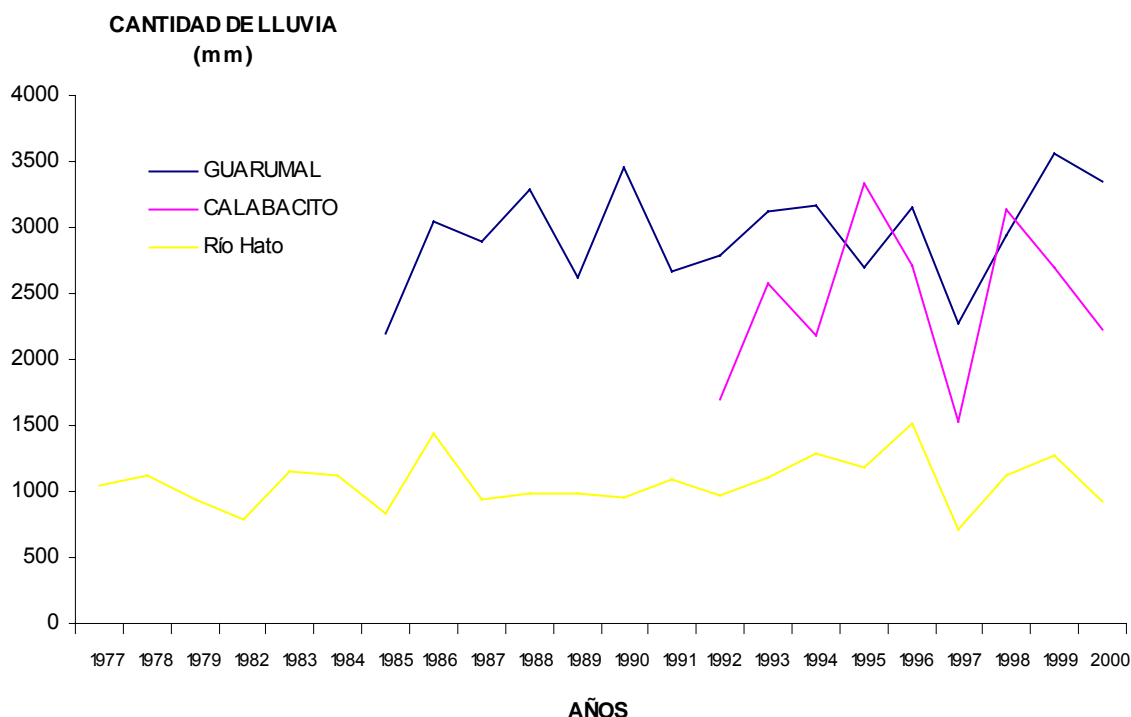


Figura 1. Precipitación anual en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

En la Figura 1, se compara la precipitación anual total en las estaciones experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato. Se observa claramente que la cantidad de lluvia anual es muy superior en Guarumal seguido de Calabacito y Río Hato. Los años niños de 1982 y 1997 se manifiestan más fuertemente en Río Hato coincidiendo con la disminución en la precipitación, aunque en las otras zonas se nota el mismo comportamiento. Sin embargo, aún en años en que se presenta El Niño, se observa suficiente cantidad de lluvia como para desarrollar cultivos o pasturas.

En la Figura 2, se compara la cantidad anual de días de lluvia en las tres áreas estudiadas. Se puede verificar que al igual que la precipitación total, la frecuencia de lluvias fue muy afectada por los años en que se presentó El Niño. Igualmente en 1999, cuando se presentó el fenómeno de La Niña, se observa un aumento en la frecuencia de estas. En todos los años, la frecuencia de lluvias es menor en la estación de Río Hato.

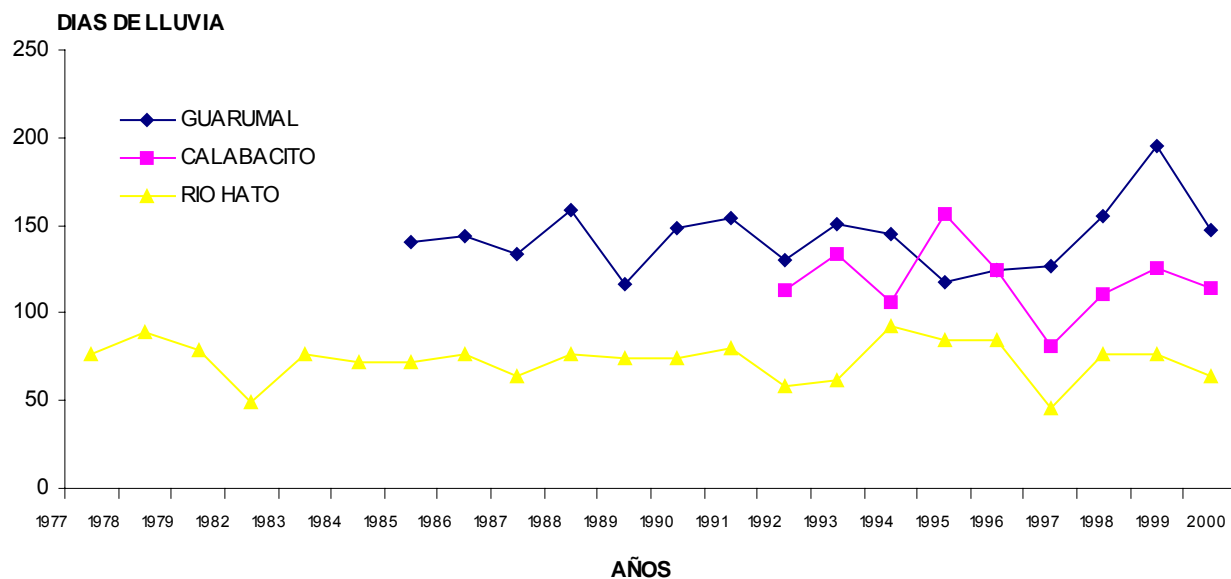


Figura 2. Días de lluvia anual en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

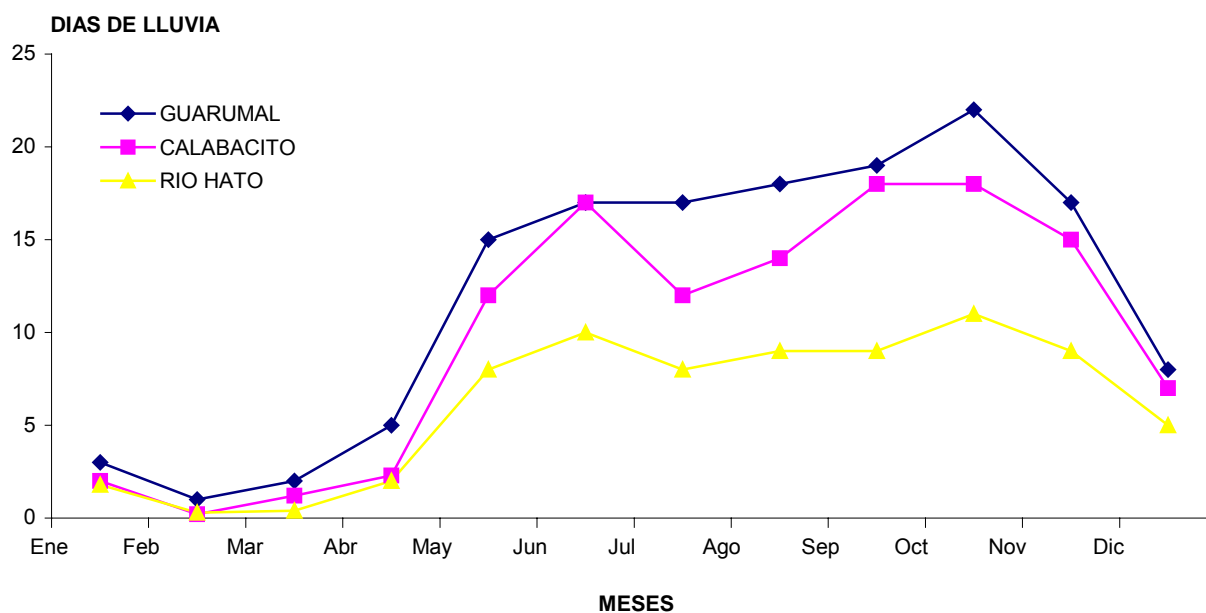


Figura 3. Días de lluvia mensual en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

Las Figuras 3 y 4 indican que los meses que presentan la mayor frecuencia de lluvias y precipitación son junio, septiembre y octubre, lo que se puede observar que se repite en todas las zonas del estudio.

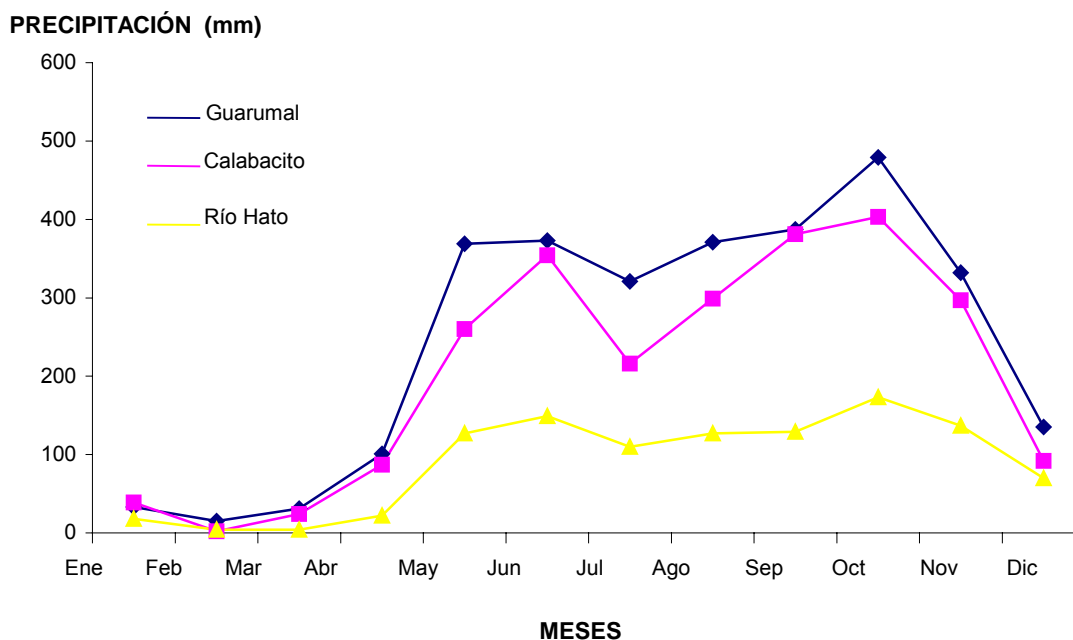


Figura 4. Precipitación mensual promedio en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

La Figura 5 indica que en la estación de Guarumal, desde junio hasta noviembre se tiene el 100% de probabilidad de tener más de 10 días de lluvia; igualmente, en la estación de Calabacito en los meses de junio, septiembre y noviembre. En la estación de Río Hato; sin embargo, se encuentra apenas un 40% de probabilidades de obtener la misma frecuencia de lluvias.

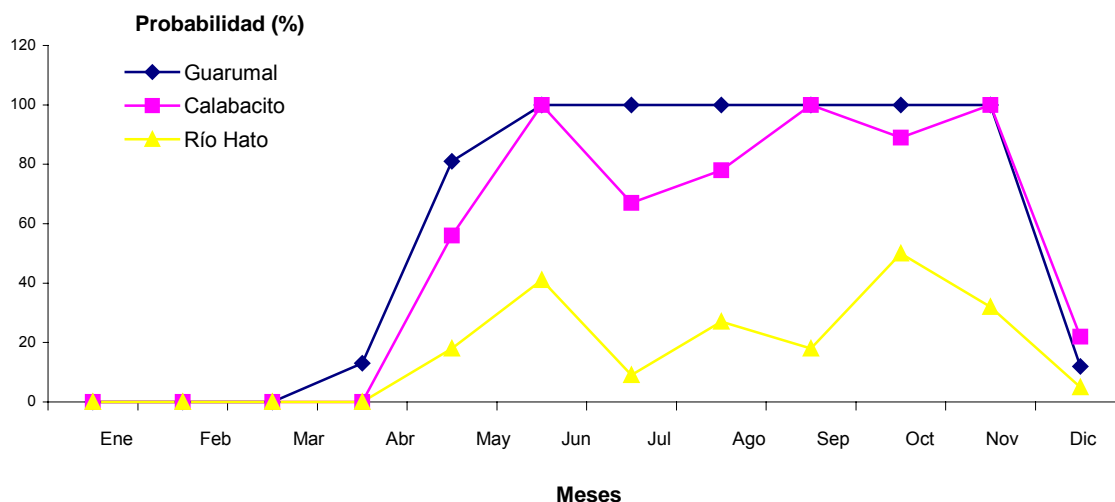


Figura 5. Probabilidad de obtener más de 10 días de lluvia en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

La Figura 6 deja claro que en la Estación de Guarumal, entre mayo y noviembre, podemos esperar que haya más de 100 mm de precipitación en la zona. Igualmente en la estación de Calabacito se puede esperar una probabilidad de obtener igual precipitación entre junio y noviembre. Indica esto que en estas dos zonas no debe existir problemas de déficit de humedad para los cultivos. En Río Hato, por el contrario, solamente en el mes de octubre se acerca a 80% la probabilidad de obtener esta cantidad de lluvia. Esta zona presenta serio riesgo para algunos cultivos más exigentes como el arroz.

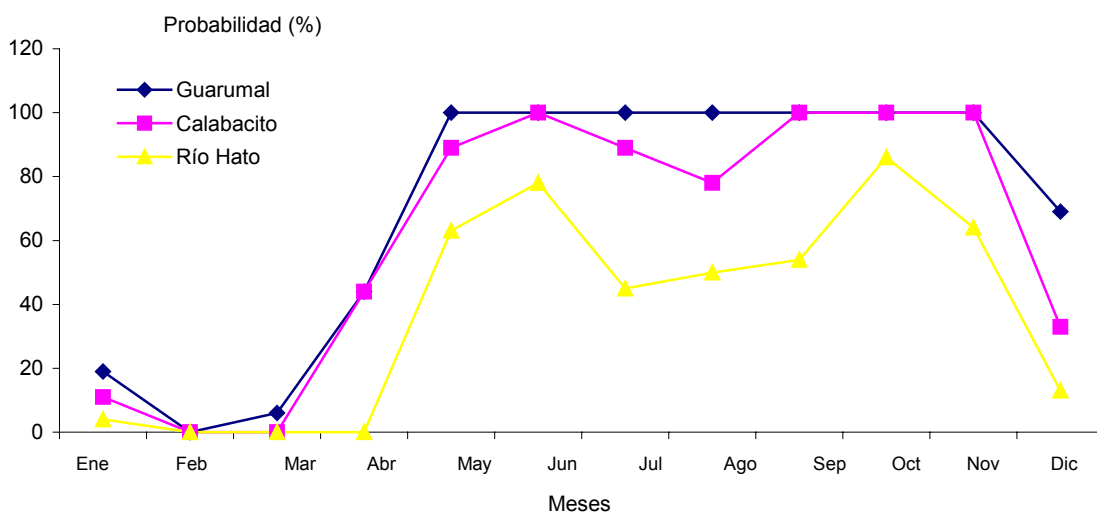


Figura 6. Probabilidad de obtener más de 100 mm de lluvia mensual en las Estaciones Experimentales de Guarumal, Calabacito y Río Hato.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El estudio climático permite diferenciar zonas con comportamientos diferentes en días y milímetros de precipitación.
- Para la recomendación de cultivos y épocas de siembras se requiere de este tipo de estudio que permite diferenciar el comportamiento histórico de las condiciones de clima por zonas.
- De las zonas estudiadas Guarumal, históricamente, ha presentado mayor cantidad de días de lluvia y de milímetros de precipitación que Calabacito, y este a su vez más que Río Hato.
- En las tres zonas estudiadas, los meses de febrero y marzo registran el menor número de días de lluvia.
- El efecto de los años Niños en Guarumal presenta menor severidad que en Calabacito y Río Hato.
- A pesar de mantener las mismas tendencias en el comportamiento de las épocas secas y de humedad, las diferencias marcadas en cantidad de días de lluvias y de cantidad de agua en mm de lluvia obligan a diferenciar zonas para la selección de épocas de siembras, selección de cultivos y el uso del seguro agropecuario.
- Se recomienda el establecimiento de estaciones meteorológicas completas, para el análisis climático a largo plazo en todas las estaciones experimentales del IDIAP.
- Se recomienda realizar el análisis de datos climáticos históricos del IRHE – ETESA, para el resto del país para buscar tendencias y comparar zonas.
- Se recomienda asociar el análisis de datos climáticos a tipo de suelo y rendimiento de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá en Río Hato, quienes a través de 22 años consecutivos tomaron las lecturas de precipitación y que gentilmente proporcionaron los datos. Igualmente al personal de campo del IDIAP en las estaciones de Calabacito y Guarumal.

LITERATURA CONSULTADA

- ARCE, C.; Alfaro, R.; Caicedo, A. 1992. Análisis y Utilización de la Información de lluvia en el Centro de Investigación Nataima. Revista ICA. Vol. 27, Octubre – Diciembre 1992.
- BACSÓ, N. 1967. Introducción a la Agrometeorología. Instituto del Libro, La Habana, Cuba. 322 pp.
- BATISTA, G.L.; TEIXEIRA, M.; FERREIRA, E. 2000. Tendencias Climáticas para os tabuleiros costeiros da regiao de Cruz das Almas, Bahia. Bahia Agric. 4 (1): 1-3.
- CENTELLA, C. 2001. Descripción General del Clima en Panamá. Gerencia de Hidrometeorología y Estudios, ETESA. Boletín Técnico.
- COMISIÓN INTERINSTITUCIONAL DEL FENOMENO LA NIÑA. 1998. Efecto del Fenómeno Sobre Los Diferentes Sectores y Las Acciones para su recuperación. Panamá. Seminario Taller ETESA.
- FRAGA, R. de C.; ALMEIDA, C.F.; VIJAGRAN, M.; MOREIRA, N. M. 1996. Analise da frequencia hidrológica dos dados de precipitação pluvial de algumas estações agroclimatológicas da regiao sul do Rio Grande Do Sul. Ciencia Rural, Santa María 26(3): 351-355.
- FUENTES YAGÜE, J. L. 1996. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa. Madrid, España. 225 pp.
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center (Revised edition), San José, Costa Rica.
- JARAMILLO, S. 1991. Pedones de Campo y Estaciones Experimentales del IDIAP. Boletín Técnico N° 38. IDIAP
- KWIECINSKI, B. 1999. Las Manifestaciones de “El Niño” y “La Niña” en Panamá. Red de Investigación Biológica sobre eventos El Niño (RIBEN). Seminario Taller, Universidad de Panamá. Memorias –99-109.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 1984. La Climatología Urbana y sus Aplicaciones, con Especial Referencia a las Regiones Tropicales. OMM. Boletín Técnico N° 652.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C.F.; LUCIO, P.B. 1998. Metodología de la Investigación. Segunda edición. McGRAW-HILL Companies, México. 501 pp

ZÚÑIGA, E. 1993. Evaluación de un modelo predictivo de lluvias en Costa Rica. Agronomía Costarricense 17(1): 49-54.

WOOD MAN, R. 1999. Modelo Estadístico de Pronóstico de Las Precipitaciones en la Costa Norte del Perú. Publicado en: El Fenómeno de El Niño, Investigación para una prognosis, Ier. Encuentro de Universidades del Pacífico Sur; Piura – Perú. Memorias 91 – 108.

**DINÁMICA DEL SUELO EN
PLANTACIONES DE *Acacia mangium*
(*Wild*) ASOCIADAS CON *Brachiaria*
humidicola (CIAT 679) EN UN
ULTISOL DE PANAMÁ***

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

* Trabajo presentado en el “International Symposium on Silvopastoral Systems and Second Congress on Agroforestry and livestock Production in Latin America” San José, Costa Rica, 2 – 8 abril, 2001.

RESUMEN

En plantaciones de ***Acacia mangium* (Wild)** sembradas entre 1990 y 1996 se determinaron diferentes parámetros para evaluar los cambios inducidos en el suelo por la asociación ***Acacia mangium* (Wild)-*Brachiaria humidicola*** (CIAT 679). Entre las evaluaciones se consideraron parámetros físicos, químicos y biológicos de suelos en ultisoles de Calabacito, Veraguas, Panamá. Entre los resultados relevantes encontrados se determinó que a mayor edad de la asociación, mayor era el contenido de organismos del suelo. Hubo un incremento del 59% en la lámina de infiltración acumulada de agua y un aumento en la velocidad de infiltración. Hidrológicamente, se estima que la asociación tiene un impacto en el aprovechamiento de la lluvia efectiva y en el rendimiento hídrico de la cuenca. Bajo el sistema de la asociación, la densidad aparente tiende a disminuir, ligado a este parámetro se encontró un aumento significativo en el contenido de la materia orgánica del suelo. Se encontró más abundancia y presencia de raíces a mayor profundidad en la asociación estudiada, implicando un aumento en la fertilidad y mayor acumulación de carbono en el perfil del suelo.

PALABRAS CLAVES: ***Acacia mangium* (Wild)**, suelo, ***Brachiaria humidicola*** (CIAT 679), cultivo mixto, acrisoles, organismos del suelo, Panamá.

INTRODUCCIÓN

La ***Acacia mangium* (Wild.)**, (Am), es un árbol leguminoso, robusto de fácil establecimiento en plantaciones. En suelos fértiles tiene una alta capacidad de sobrevivir y buen crecimiento inicial, aunque inferior a otras especies de crecimiento rápido. Sin embargo, en suelos degradados, compactados, ácidos (pH menores de 5.5) y con contenidos altos de aluminio ha superado a otras especies (CATIE, 1986).

La misma alcanza, generalmente, entre 15 y 30 m de altura, con un fuste recto y libre de ramas en más de la mitad de la altura total; en rodales naturales ha alcanzado diámetros de hasta 90 cm. Potencialmente, puede usarse como leña para la ebanistería, construcción, láminas y chapas, entre otros. De las podas y el raleo se obtienen postes para cercas y varas para construcciones rurales, que tratadas pueden aumentar su durabilidad natural. Adicionalmente, esta especie puede ser usada como rompeviento, ornamental y para el control de la erosión. Las "hojas" (foliolos) pueden ser usadas como forrajes. La habilidad de fijar nitrógeno y el aporte de hojarasca en forma abundante, colocan a la especie como de alto potencial para la recuperación de suelos degradados (CATIE, 1986).

En 1979 se introdujo en América Central, en parcelas experimentales en Costa Rica, y a partir del año 1984 se siembra en Panamá. En la Finca Experimental de Calabacito, IDIAP, Panamá, se siembra a partir de 1985. Como la experiencia con esta especie en Panamá es reciente, no existe suficiente información sobre el manejo de las plantaciones, ni de su comportamiento en sistemas agroforestales.

Datos experimentales del IDIAP, en Ultisoles ácidos, la catalogan como la de mejor comportamiento, al compararla con otras especies nativas y exóticas, tales como la ***Tectona grandis***, ***Eucalipto camandulensis***, ***Genipa americana*** y otras (Name y Col., 1987). Los resultados preliminares de experiencias en plantaciones comerciales con 5 y 10 años indican que la especie es promisoría y con un alto potencial económico en la industria de la madera.

El pasto ***Brachiaria humidicola*** (CIAT 679) (Bh) fue introducido y seleccionado como uno de los de mejor adaptabilidad bajo condiciones de suelos ácidos, deficientes en macro y micronutrimientos (Urriola y Col. 1985).

Se caracteriza por cobertura inicial lenta, crecimiento estolonífero y una cobertura total del suelo. Su follaje es áspero y de baja calidad proteica. Su adaptabilidad a sistemas silvopastoriles, no ha sido evaluada en Panamá a la fecha.

Para evaluar el grado de sostenibilidad de los sistemas de uso de la tierra se deben entender cuantitativamente los procesos que determinan la producción, los efectos de dichos procesos en las características del suelo y sus interacciones. Igualmente, la medida en que son afectados por las condiciones ambientales y las prácticas de

manejo. El determinar qué ocurre en la asociación, nos permitirá detectar el impacto ecológico de la asociación y los potenciales beneficios positivos o negativos.

El objetivo del presente trabajo, fue determinar el efecto de la asociación Am - Bh en un ultisol ácido de Panamá mediante la cuantificación de la variabilidad y comportamiento en el suelo de parámetros como: materia orgánica, fertilidad natural, raíces, número de organismos, infiltración, densidad, y contenido foliar de elementos de las plantas en los subsistemas bajo evaluación.

MATERIALES Y METODOS

El área experimental se encuentra en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP) en Calabacito, en el distrito de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá. Ubicada a los 8° 15' de latitud Norte y 81° 5' de longitud Oeste, a una elevación de 100 msnm, con una precipitación y temperatura media anual de 2500 mm y de 27 °C, respectivamente. El período de lluvia se ubica generalmente entre los meses de mayo a diciembre.

El suelo es un *Typic Plinthudult*, fino, mezclado, isohipertérmico, profundo, ácido, de estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), (14cmol(+)/kg, promedio del perfil). El contenido de bases cambiables es bajo, ya que en el horizonte la Ap ocupa sólo el 32% de la CIC; mientras que, en los horizontes más profundos oscila entre el 1 y el 6 %. En cuanto a las características mineralógicas, en la fracción arcilla domina la caolinita y aparecen en pequeñas cantidades vermiculita, goetita y gibsita (Jaramillo, 1987).

Para medir los diferentes parámetros se seleccionaron parcelas sembradas secuencialmente en diferentes años (1990-1996) con Am asociadas con gramíneas naturales o Bh en diferentes condiciones de manejo, a las cuales se les sometió a muestreos detallados.

En 1992 y 1993 se establecieron parcelas agroforestales de Am asociadas al cultivo de arroz con niveles de roca fosfórica (RF) y cal, de las cuales se seleccionaron los niveles de 600 kg de RF y de 3 ton de cal por hectárea.

Los muestreos de suelo para determinar organismos se realizaron a 10cm de profundidad. Se seleccionaron parcelas por año de siembra, desde 1992 hasta 1995 y la asociación natural. Por cada año de siembra y tipo de manejo se tomaron cuatro muestras de suelo, a 20 cm de profundidad, para análisis y conteo de organismos. Para el caso de la fertilidad del suelo se agruparon todos los análisis de la asociación A. mangium - B. humidicola (16 muestras) y se compararon los promedios con los de la asociación natural compuesta de *Curatella americana* y pasturas naturales en donde predomina el *Andropogon bicornis*.

Para la determinación de raíces en el perfil del suelo se utilizó un marco cuadrado de 0.25 m^2 que correspondía al área determinada para muestreo a la cual se le extrajo un volumen de suelo de 0.025 m^3 . Se seleccionaron cuatro sitios al azar en donde se realizaron los muestreos a diferentes profundidades. Cada peso de raíces, en cada profundidad corresponde a un promedio de cuatro lecturas. Las parcelas de *A. mangium* que se encuentran dispuesta a 3 metros entre hileras y separadas entre hileras a ocho metros en un área aproximada de 5000 m^2 fueron sembradas en 1990. El suelo muestreado se sumergió en un tanque de 110 litros de agua, en donde se separaron las raíces gruesas por decantación, y posteriormente se filtraron las raíces más finas. Luego de secadas al aire, se reportó el peso de materia seca de las raíces.

Para los análisis foliares, se seleccionaron al azar la 4^{ta}, 5^{ta} y 6^{ta} hoja de las ramas del tercio superior no podado en parcelas de *A. mangium* de 2 a 5 años con diferentes manejos. En el caso de la *Curatella americana* se seleccionaron igualmente las mismas hojas en las ramas sobre 1.5 metros de altura.

En la determinación de la densidad aparente se usaron cilindros con volúmenes conocidos de suelos a los cuales se le determinó el peso, utilizándose el promedio de dos réplicas. La infiltración se midió mediante el método del doble cilindro infiltrómetro, utilizándose dos lecturas de campo para reportar la velocidad de infiltración y la lamina infiltrada (Olarte y col., 1985).

Los análisis de suelos y foliares se realizaron en el Laboratorio de Suelos del IDIAP con los procedimientos detallados por Villarreal y Name (1996).

La materia orgánica del suelo se determinó por la oxidación de los residuos orgánicos hasta convertirlos en dióxido de carbono y agua, mediante una mezcla sulfocrómica, utilizando el calor producido por la reacción del ácido sulfúrico concentrado. Posteriormente, se tituló con sulfato ferroso para determinar la cantidad de dicromato de potasio que no intervino en la reacción.

Se realizó el análisis de varianza, para el contenido foliar de elementos y para la cantidad de organismos en el suelo, por medio del paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad de organismos del suelo detectados, en la asociación Am - Bh fue afectada por la edad de la *A. mangium*; a mayor edad de la asociación mayor contenido de organismos, especialmente de lombrices comunes (*Lumbricus terrestris*) (Cuadro 1).

Bajo estas condiciones, la aplicación de cal, de Roca fosfórica y el pastoreo parecieran no afectar la cantidad de la misma. Las áreas bajo gramínea nativa y **Curatella americana** (chumico) presentan contenidos significativamente menores de organismos en el suelo (Prueba de Duncan). Las siembras entre los años 1990-1994, resultaron superiores a las posteriores a esas fechas, o a las que se mantenían con la asociación nativa. Una posible explicación es que con el tiempo el suelo bajo A. mangium mejora, especialmente debido al gran aporte de hojarasca, traduciendo esto en mayor contenido de materia orgánica y retención de humedad, microambiente ideal para los organismos del suelo. Entre los organismos del suelo que destacan su presencia se encuentra la lombriz común.

Cuadro 1: Cantidad de organismos del suelo en plantaciones de Am bajo diferentes condiciones de manejo.

Año de siembra de A.m. y tratamiento	Cantidad de organismos del suelo en 0.025 m ³ .
A. m. sembrada en 1990 asociada con B.h.	10.8 a
A. m. sembrada en 1992 asociada con B. h. Mas cal.	10.5 a
A.m. sembrada en 1994 asociada con B. h. Bajo pastoreo.	9.5 a b
A.m. sembrada en 1993 asociada con gramínea nativa más 600 kg/ha de RF.	6.5 a b c
A. m. sembrada en 1993 *asociada con gramínea nativa + 0 kg/ha de RF.	3.5 b c
A.m. sembrada en 1995 asociada con B.h.	2.7 c
Area bajo gramínea nativa y Curatella americana .	2.3 c

$$CV = 51.38 \quad R^2 = 0.64$$

* promedio de cuatro repeticiones

La implicación agronómica del aumento del contenido de la lombriz común es que mientras esta escava galerías dentro de la tierra, consume grandes cantidades de tierra, hojas descompuestas y en general, cualquier residuo orgánico, los cuales son transformados finalmente en humus. Como la lombriz sólo consume raíces de plantas muertas su presencia no afecta la asociación, más bien la acción mecánica de excavación, airea la tierra y facilita la penetración del agua de lluvia y aporta humus, enriqueciendo la fertilidad del suelo.

Al comparar el suelo sembrado con *Acacia mangium* por dos años y el suelo bajo vegetación natural, se detecta un 59% de incremento en la lámina de infiltración acumulada a las tres horas y un aumento en la velocidad de infiltración media (cuadro 2).

Cuadro 2. Infiltración de agua bajo diferentes condiciones de campo.

Tratamiento Evaluado	Tiempo de infiltración (minutos)	Lámina infiltrada (cm)	Velocidad de infiltración media (cmhr ⁻¹)
Suelo sembrado con A.m. por dos años	180	12.4	4.1
Suelo bajo vegetación natural.	165	7.8	2.8

Adaptado de A. Serrano; Estudio de tesis U. Tecnológica de Panamá, 1996.

Hidrológicamente, esto tiene un impacto en el aprovechamiento de la lluvia efectiva, rendimiento hídrico de la cuenca y en la reducción de la escorrentía que se traduce en una reducción de la erosión laminar. Observaciones visuales en la época seca, permiten detectar un mejor aprovechamiento de la humedad residual. El pasto Bh sembrado en asocio con Am permanece verde y tierno, por un período más prolongado.

El suelo con Am + Bh y diferente tipo de manejo, a sólo dos años de la asociación, reduce la densidad aparente en un 10%, al compararse con el suelo bajo vegetación natural (Cuadro 3). Al cuarto año, el suelo con la asociación, pero bajo pastoreo, muestra un incremento en la densidad con respecto a los dos años de asociación, efecto de la compactación producida por el pisoteo de los animales. Al comparar el

cuarto año de asociación, con la parcela al natural, se observa la tendencia a la disminución de la densidad aparente.

La densidad aparente está íntimamente relacionada con otras propiedades físicas como textura, estructura, aireación, retención de humedad y movimiento del agua, del suelo y calor específico. A medida que la porosidad aumenta, la densidad aparente se hace menor. Un alto valor de densidad aparente es índice del grado de compactación del suelo y por lo tanto, de la dificultad para la penetración y desarrollo del sistema radical.

Cuadro 3. Densidad aparente en gcm^{-3} de suelos bajo diferente tipo de manejo.*

Profundidad de muestra (cm)	Suelo bajo Acacia (2 años)	Suelo bajo Acacia (4 años) (con pastoreo)	Suelo bajo vegetación natural
0 - 20	1.09	1.17	1.20

Adaptado de A. Serrano: Estudio de tesis U. Tecnológica de Panamá.

*Media de dos réplicas

El principal efecto cuantificable de la asociación Am + Bh, se refleja en el análisis del contenido de materia orgánica. En los primeros 15 cm de profundidad se detectaron 4.3 y 3.8% para la asociación sembradas en 1990 y 1993, respectivamente. Esto resulta altamente significativo si comparamos las medias con el contenido de materia orgánica en áreas con vegetación natural de chumico (*Curatella americana* y *Andropogon bicornis*). La materia orgánica del suelo puede actuar como liberador o acumulador del carbono atmosférico, dependiendo del manejo que se le proporcione al sistema.

Al asociar los Cuadros 3, 4 y 5, se puede asumir que la disminución de la densidad aparente va asociada al aumento de la materia orgánica del suelo. No se encontró el efecto entre el contenido de materia orgánica y la aplicación de cal.

Cuadro 4. Contenido en porciento de Materia Orgánica en asociaciones de *Acacia mangium* más *Brachiaria humidicola* sembradas en diferentes años y tratamientos.

Profundidad (cm)	1990	1993	Testigo Asociación Natural	Efecto de la cal	
				Con	Sin
0-15	4.3	3.8	2.7	4.4	4.1
15-30	3.2	2.2	2.3	2.8	2.2

Cuadro 5. Peso de raíces en diferentes profundidades en un volumen de suelo de 0.025 m³ bajo dos asociaciones. Calabacito 1996.

Profundidad (cm)	Peso de raíces (Asociación <i>A. mangium</i> + <i>B. Humidicola</i>), g	Peso de raíces (Asociación nativa - <i>Curatella americana</i> + Pasto nativa).
0 - 10	1136.4	454 gramos
10 - 20	85.1	56.7 gramos
20 - 30	42.5	28.4 gramos
30 - 40	70.9	No cuantificable
40 - 50	28.4	No cuantificable
50 - 60	28.4	No cuantificable
60 - 70	28.4	No cuantificable

El procedimiento de extracción de raíces, permitió detectar las mismas, hasta los 70 cm. de profundidad en la asociación estudiada versus 30 cm en la asociación natural. En el Cuadro 6, se contrasta el peso de raíces producidas entre la asociación Am + Bh de cinco años de establecida y la asociación natural del ecosistema. El peso por volumen de suelo supera en más de 250% en los primeros 10 cm de profundidad. Las implicaciones agronómicas y ecológicas tales como el aumento de fertilidad y la acumulación del carbón atmosférico en el perfil pueden ser de importancia en este sistema agroforestal.

Cuadro 6. Variación en la fertilidad del suelo de las asociaciones en estudio, Calabacito., Veraguas-Panamá.

Profundidad (cm)	Asociación	P	K	Ca	Mg	M.O	Mn	Fe	Zn	Cu
		mg l ⁻¹		cmol kg ⁻¹		%	mg l ⁻¹			
0-15	Brachiaria humidicola + Acacia mangium	1	20	Tr	tr	4.8	38	26	Tr	5
0-15	Testigo Asociación natural	1	28	Tr	.1	2.7	29	13	tr	2

En el Cuadro 6, se compara el análisis de fertilidad de la asociación Am + Bh y la asociación natural del área. Sólo se encontraron diferencias en el contenido de materia orgánica. Los niveles de P, K, Ca y Mg fueron deficientes en ambos sistemas, y prácticamente iguales. A nivel de campo se observó un color más oscuro del suelo y el desarrollo de una estructura granular en los primeros centímetros de suelo.

Probablemente la metodología convencional de análisis no es lo suficientemente precisa para detectar cambios en los parámetros químicos en el período en el cual se desarrolla el estudio. Según, Sánchez (1995) aún no se han desarrollado metodologías precisas para la evaluación de la capacidad de recuperación de los sistemas. Este concepto conocido como la resiliencia del suelo o del sistema agroforestal, debe implementarse en los aspectos económicos, sociales y ecológicos.

Al comparar los contenidos foliares (Cuadro 7) de minerales en hojas de Am de diferente edades y de la especie **C. americana**, se detectó que en la medida que envejece la hoja de Am se reducen los niveles de N; empero, este contenido supera significativamente, los niveles encontrados en la especie **C. americana**. El aporte de K en la hoja del Curatella es significativamente mayor que en la Acacia. Para el caso del Ca, su contenido foliar en la Acacia encalada supera a las no encaladas, pero en general es semejante al contenido en Curatella.

Cuadro 7: Contenido análisis foliares de hojas de Acacia mangium y Curatella americana.

Tipo de tejido vegetal	Contenido en %				
	N	P	K	Ca	Mg
Hojas de Acacia mangium de 2 años	1.4 a*	.002 c	0.19 b	0.83 c	0.49 b c
Hojas de Acacia mangium 3 años con cal	1.2 b	0.060 b	0.19 b	2.3 a	0.76 a
Hojas de Acacia mangium 3 años sin cal	1.2 b	0.120 a	0.25 b	1.4 b	0.56 b
Hojas de Acacia mangium 5 años	0.9 c	0.103 a	0.20 b	1.4 b	0.46 b c
Hojas de Curatella americana Asociación natural	0.6 d	0.118 a	0.59 a	1.7 b	0.39 c

* Letras diferentes, indican contenidos estadísticamente diferentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al evaluarse fluctuaciones o cambios en algunos parámetros como en el contenido de organismos del suelo, el contenido de materia orgánica, peso de raíces, los parámetros hídricos, el color del suelo y el arreglo estructural se puede detectar mejoras en la fertilidad natural del suelo.
- El sistema agroforestal en estudio juega un papel de importancia en la acumulación de biomasa y carbono en este ecosistema.
- El aumento en la velocidad de infiltración en general mejora la eficiencia hidrológica. Este parámetro indirectamente indica un mejor aprovechamiento de la lluvia efectiva, que a nivel de cuenca podría incrementar el rendimiento hídrico, disminuyendo el riesgo de inundación e incrementando el flujo básico de la cuenca en la época seca.
- Se recomienda adecuar y uniformizar una metodología de análisis para detectar el mejoramiento de la fertilidad del suelo en sus aspectos físicos y químicos.

- e. Se recomienda diseñar un sistema integral de evaluación del sistema que incluya la valoración de la eficiencia económica de los componentes hidrológicos, forestales, silvícolas, de fertilidad del suelo, ecológico y el valor de la tierra.

LITERATURA CONSULTADA

- AVILA, M.; URRIOLO, D. 1989. Pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) CIAT 679. Una alternativa para los suelos de Baja Fertilidad y Areas de prolongada sequía. IDIAP (Plegable).
- CATIE. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central. Informe técnico N° 86.
- CATIE. 1992. *Mangium* (*Acacia mangium*). Especies de árbol de uso múltiple en América Central. Informe Técnico N° 196.
- DART, P. U. G.; ALMENDRAS, A. 1991. Role of Symbiotic Association in Nutrition of tropical Acacias. In: *Advances in Tropical Acacia Research; International Workshop (1991) Bangkok, Tailandia. Proceeding Ed. by J. W. Turnbull.* ACIAR, Proceeding N° 35 pp. 13-19.
- JARAMILLO, S. 1987. Pedones de Campo y Estaciones Experimentales del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP. Boletín Técnico 56pp.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN. 1987. "Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura y Pesca". "La crianza de la Lombriz Roja". José Luis Fuentes. Madrid, España.
- NAIR, P.K.R. 1984. Soil Productivity Aspects of Agroforestry. Science and Practice of Agroforestry 1. ICRAF.
- NAME, B.; CORDERO, A.; BERNAL, J. 1987. Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. En: *Compendio de los resultados de investigación.* IDIAP, Región Central.
- OLARTE, L.; MUÑOZ, B.; BENAVIDES, G.; GARAVITO, F.; LUNA, C.; MEJIA, L.; DERROZO, E. 1985.. Métodos Analíticos del Laboratorio de suelo. "Instituto Geográfico Agustín Codazzi". Ministerio de Hacienda y Crédito Público. IV Edición. Bogotá, Colombia. 665 p.
- ROUGHLEY, R. J. 1987. Acacias and their root-nodule bacteria. In *Australian Acacias in Developing countries: International workshop (1986, Gympie, Qld.,*

Australia. Proceeding. Ed. by J. W. Turnbull. ACIAR proceeding N° 16. pp. 45-49.

SANCHEZ, P. A. 1995. Science in Agroforestry. Agroforestry Systems 30: 5-55. Kluwer Academic Publisher.

SINCLAIR, F. L. Ed. 1995. Agroforestry: Science, Policy and Practice. Selected papers from the agroforestry sessions of the IUFRO 20th World Congress, Tampere, Finland, 6-12 August 1995.

UGALDE, L.A.; MORÁN, B.; OSORIO, R. 1994. Crecimiento y rendimiento de Acacia mangium en plantaciones jóvenes en América Central y Panamá. En: Seminario técnico sobre comportamiento y potencial de A. mangium en América Central y Panamá. CATIE, Turrialba Costa Rica.

URRIOLA, D.M.; ARGEL, P.J.; ORTEGA, C.M. Estudios agronómicos de 21 ecotipos de Brachiarias en el período de establecimiento. Gualaca. En: Resúmenes Analíticos de la Investigación Pecuaria en Panamá. (1968- 1985).IDIAP, 1985.

VILLARREAL, J.; NAME, B. 1996. Técnicas Analíticas del Laboratorio de Suelos IDIAP. Divisa. 110 pp.

DINÁMICA BIOLÓGICA Y DE NUTRIMENTOS EN UN ULTISOL CON DIFERENTE COBERTURA VEGETAL

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central

RESUMEN

Se evaluó la biomasa y la actividad microbiana en un suelo ácido, Typic Plinthudult, el cual se manejó con diferente cobertura vegetal. Se determinó la influencia de la cobertura sobre la dinámica de los macro y micronutrientes en la Estación Experimental de Calabacito en Veraguas, Panamá. Las coberturas evaluadas fueron: 1) gramínea nativa (Gn), en su mayoría compuesta por *Andropogon bicornis*; 2) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada con *Arachis pintoii* CIAT 18744 (Bh + Ap); 3) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada con *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am); 4) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 en donde se cortaron y extrajo la madera de *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Am cortadas); 5) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 asociada con *Arachis pintoii* CIAT 18744 y *Acacia mangium* (Wild) (Bh + Ap + Am) y 6) *Brachiaria humidicola* CIAT 679 sola (Bh sola). A nivel de laboratorio se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento. La biomasa microbiana se determinó utilizando el procedimiento fumigación - extracción, por ser efectivo en suelos ácidos. Se determinó el porcentaje de fijación de fósforo, potasio, cobre, manganeso y zinc en los suelos de las parcelas comparadas. Los resultados muestran que existe una correlación entre la actividad y biomasa microbiana sugiriendo que son altamente dependientes. La asociación Bh + Ap, aporta elevadas concentraciones de nutrientes al suelo, lo que favorece la recuperación de este y la vida microbiana. Su fácil adaptabilidad a los suelos ácidos degradados resulta beneficiosa para su recuperación. Los niveles de fijación de fósforo, potasio y elementos menores son más bajos en aquellos suelos que presentan mayor acumulación de materia orgánica y mayor biomasa microbiana (asociaciones Bh + Am cortadas y Bh + Ap + Am)

PALABRAS CLAVES: Suelo ácido, *Acacia mangium*, *Brachiaria humidicola*, *Arachis pintoii*, cultivo mixto, acrisoles, Panamá.

INTRODUCCIÓN

La actividad biológica de los suelos es fundamental para la solubilización, movilización y disponibilidad de los nutrientes a los cultivos. En la agricultura moderna es necesario conocer el estado de la actividad biológica de un suelo y que le ocurre a dicha actividad por efecto de los distintos usos y manejos dados a un mismo tipo de suelo.

Con el conocimiento de la actividad biológica de los suelos se completa una visión integral de las capacidades del recurso suelo, para contribuir con una mayor o menor fertilidad. Ese conocimiento permite relacionar la movilidad y disponibilidad que presenta cada nutriente con su contenido total o biodisponible, lo que en gran medida se ve afectado por la bioactividad y biodiversidad que presenta el suelo (Borie y col., 1999).

Actualmente la determinación de la biomasa y de la respiración microbiana, general o específica del suelo son utilizados como parámetros indicativos de su calidad (Campbell y col., 1992; Doran y col., 1994). Para Jenkinson y Ladd (1981), la biomasa microbiana es la fracción lábil de la materia orgánica del suelo, fuente principal de nutrientes biodisponibles. Según Grisi (1997), su determinación es muy importante ya que por medio de ella se pueden detectar modificaciones en las características del suelo, mucho antes de las alteraciones en la materia orgánica. Su estimación es en un sentido más relativo que absoluto, pues la heterogeneidad de los suelos impide que sea tratado como una entidad única y bien definida (Grisi y Gray, 1986).

La utilización de sistemas tradicionales de preparación del suelo, cultivos anuales sucesivos, la no utilización de sistemas de conservación, provoca una reducción de los niveles de materia orgánica en el suelo, como resultado del aumento en la velocidad de descomposición anual o reducción de la adición de residuos orgánicos.

El empleo de sistemas de rotación de cultivos con alta producción de residuos posibilita el aumento de la biomasa y una mayor actividad microbiana (Cattelan y Vidor, 1990). Además, la calidad de los residuos influye sobre su velocidad de descomposición y sobre la composición de la comunidad microbiana que actúa en este proceso.

De esta forma, sistemas de manejo del suelo, con diferentes métodos de preparación y diferentes cultivos, resultan en ambientes totalmente distintos. Por esta razón, sabiendo que la microbiota afecta directa e indirectamente la productividad agrícola, la evaluación de este componente del suelo resulta

importante para darle al mismo, un manejo adecuado, buscando su conservación y productividad.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la biomasa y la actividad microbiana de un suelo ácido cubierto con diferente cobertura vegetal, a fin de determinar la influencia que tiene esta cobertura sobre la dinámica de los macro y micro-nutrientes del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área experimental

El área experimental se encuentra en la Estación Experimental del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) en Calabacito, distrito de San Francisco, Provincia de Veraguas, República de Panamá. Está localizada a 8° 15' de latitud Norte y 81° 5' de longitud Oeste, con una elevación de 100 msnm, precipitación y temperatura promedio anual de 2500 mm y 27°C, respectivamente. El suelo es un *Typic Plinthudult*, fino, mezclado, isohypertérmico, profundo, ácido con estructura en bloques subangulares, baja capacidad de intercambio catiónico (14 cmol₍₊₎ kg⁻¹; promedio del perfil), alto contenido de aluminio intercambiable y elevada capacidad de fijación de fosfatos (Jaramillo, 1987).

Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 1) gramínea nativa (***Andropogon bicornis***) (cola de zorra) (Gn); 2) ***Brachiaria humidicola*** CIAT 679 + ***Arachis pintoii*** CIAT 18744 (Bh + Ap); 3) ***Brachiaria humidicola*** CIAT 679 + ***Acacia mangium*** (Wild) (Bh + Am); 4) ***Brachiaria humidicola*** CIAT 679 donde se cortaron y extrajó la madera de ***Acacia mangium*** (Wild) (Bh + Am cortadas), 5) ***Brachiaria humidicola*** CIAT 679 + ***Arachis pintoii*** CIAT 18744 + ***Acacia mangium*** (Wild) (Bh + Ap + Am) y 6) ***Brachiaria humidicola*** CIAT 679 sola (Bh sola). Se empleó el diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Las muestras se tomaron de un área de la Finca Experimental de Calabacito, donde se realizó un experimento de larga duración entre los años de 1990 y 1996, en parcelas donde se comparó el efecto de Am asociada con Gn y Bh (Name y Villarreal, 2001).

A las parcelas agroforestales de Am entre 1992 y 1993, se les aplicaron niveles de 600 kg ha⁻¹ de roca fosfórica y 3000 kg de cal ha⁻¹.

Las muestras en la parcela de Bh + Am cortadas fueron tomadas después de seis meses que la madera de los árboles de Am había sido retirada del lugar.

Muestreo del suelo y análisis químico

Las muestras de suelo de cada parcela fueron colectadas entre 0 y 20 cm de profundidad en plena época lluviosa (octubre de 2000).

Las muestras fueron secadas al aire, trituradas y cernidas a través de un tamiz de 2 mm. Se analizó en cada caso el contenido de fósforo, potasio y micronutrientes, extraídos con la solución de Carolina del Norte; calcio, magnesio y aluminio intercambiable, extraídos con la solución de KCl 1 N, textura por el método de Bouyoucos, pH en solución suelo – agua (1:2.5), y materia orgánica utilizando el método de digestión húmeda de Walkley – Black (Villarreal y Name, 1996). Además, se determinaron otros parámetros como porcentaje de nitrógeno total, acidez extraíble, capacidad de intercambio catiónico y suma de bases (Soil Conservation Service, 1992).

A cada muestra de suelo se le determinó el porcentaje de fijación de fósforo, potasio, cobre, manganeso y zinc, según la metodología propuesta por Díaz–Romeu y Hunter (1978), para determinar la influencia del manejo sobre la dinámica de los nutrientes. Al mismo tiempo se realizó el análisis de tejido vegetal (hojas y tallos), para conocer la calidad nutricional de la cobertura vegetal, presente en cada tratamiento.

Determinación del carbono de la biomasa microbiana

Para evaluar el carbono de la biomasa microbiana, se utilizó el procedimiento de fumigación – extracción (Tate y col., 1988), por ser más efectivo en suelos ácidos. Se adoptó el factor de corrección 0.33 propuesto por Sparling y West (1988) (citado por Gama-Rodríguez, 1992).

Se evaluó también la relación $C_{\text{microbiano}}/C_{\text{orgánico}}$ a través de la fórmula: $C_{\text{microbiano}}/C_{\text{orgánico}} \times 100$ para establecer el índice de descomposición en la dinámica de la materia orgánica.

Evaluación de la actividad microbiana por medio de la producción de C – CO₂.

Las muestras de suelo fueron incubadas a 25°C (\pm 2°C) durante cinco días, en frascos de vidrio mantenidos en lugar oscuro. Se ajustó la humedad hasta 70% de la capacidad de campo de cada muestra. El CO₂ producido fue captado por una solución de NaOH 1 mol l⁻¹ colocado en el interior del frasco y titulada con HCl 0.5 M (Stotzky, 1965).

Análisis de los resultados

Los promedios de los tratamientos fueron comparados por medio de la prueba de rangos múltiples de Duncan (Steel y Torrie, 1960).

Se determinó la ecuación de regresión que mejor se ajusta para explicar el fenómeno de la fijación de fósforo, potasio, manganeso, cobre y zinc en cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características edáficas de los suelos

El estado de fertilidad de los suelos donde se realizó el experimento en la Estación Experimental de Calabacito aparece en el Cuadro 1. Se destaca el elevado nivel de materia orgánica en la parcela cuya cobertura del suelo es Bh + Ap (4.42 %) y Bh + Am cortadas (4.69 %). Se observa, especialmente en la parcela Bh + Ap, un efecto marcado en la reducción del nivel de aluminio intercambiable del suelo (1.6 cmol kg^{-1}) aunque no se refleja el mismo efecto sobre el pH. Estas dos parcelas también muestran un mayor aporte de nitrógeno al suelo, como resultado del elevado contenido de este nutrimento en la materia seca de estas leguminosas en comparación con la Gn (Cuadro 3.).

Cabe destacar que en los suelos de la Estación Experimental donde se realizan ensayos con diferentes cultivos y este sufre una preparación para la siembra, se ha encontrado una CIC promedio de 14 cmol kg^{-1} de suelo (Jaramillo, 1991), pero probablemente por el buen manejo, uso y cobertura del suelo, esta propiedad ha mejorado en todas las parcelas estudiadas, por arriba de 23 cmol kg^{-1} de suelo.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos con diferentes asociaciones de gramínea – leguminosas en la Estación Experimental de Calabacito - Veraguas.

Tratamiento	A L Arc %	Textura	pH 1 : 2.5	P ---mg kg ⁻¹ ---	K -----cmol kg ⁻¹ ----	Ca	Mg	Al	M.O. %	Mn	Fe	Cu	Zn	A.E %	CIC cmol kg ⁻¹	N %
Gn	50-12-38	ArcA	4.2	Trazas	24	0.21	0.10	2.3	3.08	26	24	3	2	26	26.4	0.15
Bh + Ap	56-16-32	Farc	4.0	Trazas	28	0.27	0.10	1.6	4.42	19	74	3	2	35.2	23.2	0.22
Bh + Am	44-18-38	Farc	4.1	Trazas	28	0.25	0.08	3.6	4.15	72	32	3	Trazas	28.8	28.0	0.20
Bh + Am cortadas	44-16-40	Farc	4.0	Trazas	28	0.30	0.12	3.2	4.69	89	105	8	1	33.6	35.2	0.24
Bh + Ap + Am	44-14-42	Arc	4.0	Trazas	31	0.25	0.12	2.5	3.89	34	28	5	1	31.6	32.0	0.17
Bh sola	52- 8- 40	ArcA	4.0	Trazas	28	0.34	0.13	5.7	3.35	24	32	5	1	30.8	35.6	0.16

Cuadro 2. Carbono de la biomasa y actividad microbiana en las parcelas bajo estudio en la Estación Experimental de Calabacito –Veraguas.

Tratamientos	Carbono de la Biomasa Microbiana mg C-CO ₂ kg ⁻¹	Actividad Microbiana
Gn	567.7 c**	1350.2 a**
Bh + Ap	877.0 b	1363.2 a
Bh + Am	505.0 c	1314.5 a
Bh + Am cortadas	1108.0 a	1363.5 a
Bh + Ap + Am	836.5 b	1378.2 a
Bh sola	348.0 c	1176.0 b

** significativo P < 0.01

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa (P > 0.01)

Se verifica en el Cuadro 2 que la parcela Bh + Am cortadas presentó mayores valores de carbono de la biomasa microbiana, seguido de las parcelas con Bh + Ap y Bh + Ap + Am. Estos mismos tratamientos presentaron los mayores valores de actividad microbiana. Es interesante observar que Gn obtuvo mayor carbono de biomasa y actividad microbiana que la parcela con Bh sola. Los pastos perennes, principalmente aquellos constituidos por gramíneas, generalmente aportan un bajo porcentaje de nutrientes al suelo; sin embargo, son muy ricos en lignina, compuesto que es una excelente fuente de carbono para el suelo y presenta un gran efecto rizosférico al poseer un sistema radical muy denso y en constante renovación. Según Rovira (1978), debido a la gran proximidad de las raíces en estos suelos, estas representan una gran fuente de carbono orgánico disponible para la población microbiana, estimulando su biomasa.

Jenkinson y Powlson (1976) también encontraron mayores valores de biomasa en parcelas con gramínea nativa, comparado con otros tipos de gramíneas.

Según Salinas – García y col. (1997) el principal factor limitante para la comunidad microbiana es la disponibilidad de carbono. Así, la influencia de la disponibilidad de nitrógeno sobre el crecimiento microbiano está también relacionada con la dependencia de la disponibilidad de carbono.

Una de las posibles causas de la mayor biomasa y actividad microbiana encontradas en la parcela donde se cortaron los árboles de *Acacia mangium* puede ser debido a la gran acumulación superficial de residuos vegetales a lo largo de los años y menores pérdidas de materia orgánica. Esta acumulación de residuos vegetales mantenida durante varios años en la superficie, lleva a una acumulación de materia orgánica que es muy rica en fracciones lábiles: carbohidratos, compuestos nitrogenados y la misma biomasa microbiana y sus metabolitos, posibilitando mayor actividad microbiana.

Según Salton y Mielniczuk (1995) los residuos mantenidos en la superficie además de constituir una fuente de carbono orgánico y nutrimentos, protegen el suelo permitiendo menores variaciones de temperatura y humedad. García y Rice (1994), encontraron que la reducción del carbono de la biomasa microbiana coincidía con temperatura altas y estrés hídrico durante el verano.

La biomasa presentó un coeficiente de correlación significativo con los valores de la actividad microbiana (0.92^{**}) y con el contenido de carbono orgánico en el suelo (0.69^{*}), mostrando como se presumía, que la actividad es dependiente de la biomasa microbiana y que ésta última depende del contenido de carbono que le suministra el suelo. Martins y col. (1999), encontraron resultados semejantes comparando tres ambientes distintos en un suelo del noreste del Brasil.

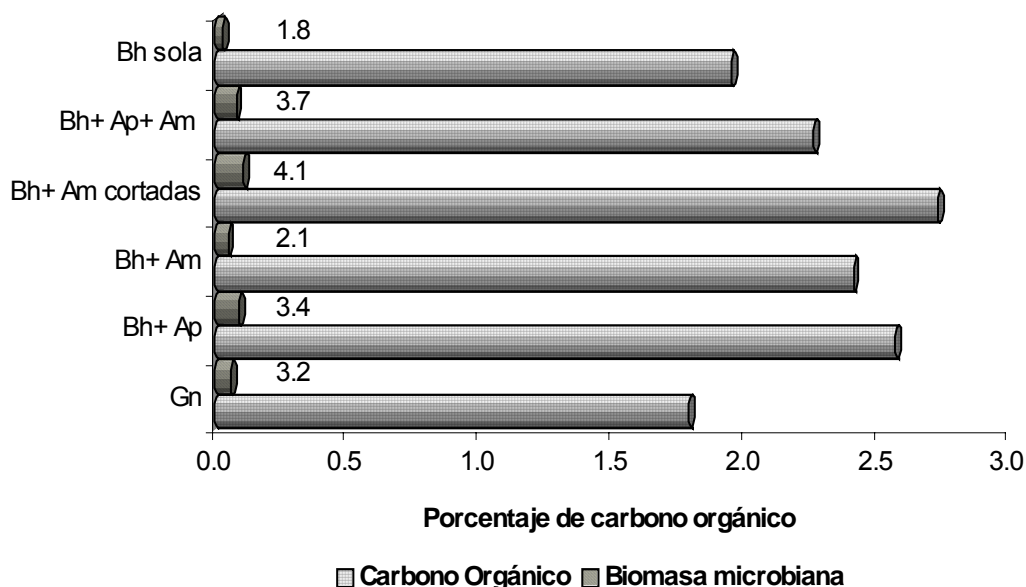


Figura 1. Carbono orgánico total y porcentaje de este que representa el carbono de la biomasa microbiana en cada tratamiento

La Figura 1 muestra que el carbono de la biomasa microbiana varió entre 1.8 % (Bh sola) y 4.1% (Bh + Am cortadas) del carbono orgánico total en cada tratamiento, confirmando los estudios realizados por Sánchez (1976), que en suelos ácidos tropicales encontró que la biomasa microbiana representa entre 1 y 4% del carbono orgánico del suelo.

Cuadro 3. Contenido de macro y micro nutrientes en gramíneas y hoja de Acacia mangium Wild de la Estación Experimental de Calabacito.

Cobertura vegetal	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Zn	Cu
	%			mg kg ⁻¹					
Ap	2.20 ^{a**}	0.19 ^{a*}	3.35 ^{a*}	0.50 ^{a**}	0.21 ^{a**}	165.0b ^{**}	350.0b ^{**}	105.0a	10.0a
Gn	0.52 ^d	0.06 ^b	1.02 ^b	0.05 ^d	0.02 ^e	215.0b	720.0a	70.0ab	10.0a
Bh	0.65 ^c	0.04 ^b	1.77 ^b	0.01 ^e	0.04 ^d	197.5b	147.5c	50.0ab	10.0a
Hojas maduras de Am	1.53 ^b	0.05 ^b	1.70 ^b	0.30 ^b	0.05 ^c	585.0a	85.0d	75.0ab	15.0a
Hojas Jovenes de Am	2.20 ^a	0.05 ^b	1.50 ^b	0.27 ^c	0.06 ^b	655.0a	75.0e	40.0b	10.0a

Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia estadísticamente significativa al nivel de $P > 0.01$ y $P > 0.05$ por la prueba de Duncan.

* Significativo $P < 0.05$

** Significativo $P < 0.01$

Se observa en el Cuadro 3 que el mayor contenido de nitrógeno se obtuvo en *Arachis pinto* CIAT 18744 así como en las hojas nuevas de *Acacia mangium* (Wild), el cual fue muy superior al encontrado en las hojas maduras. El contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio también fue más alto en el tejido de *Arachis pinto* CIAT 18744, siendo menor el contenido de manganeso, elemento éste que podría inhibir la actividad microbiana en un determinado momento si su contenido alcanza niveles muy elevados. Estos residuos al ser descompuestos aportan estos nutrimentos al suelo.

Es probable que el mayor aporte de nitrógeno del Ap y Am hayan favorecido una mayor actividad y por consiguiente mayor biomasa microbiana en este ambiente al ofrecer un mayor aporte de nutrimentos al suelo. Se comprueba de esta forma que uno de los principales aportes de las leguminosas al suelo es el aumento de la disponibilidad e incorporación de nitrógeno al suelo.

Del Cuadro 3, también se puede extraer que aquellas coberturas que aportan mayor contenido de nitrógeno al suelo propician una mayor actividad microbiana lo que trae como consecuencia un aumento en la dinámica de descomposición de la materia orgánica, liberando los nutrimentos que se encuentran en niveles elevados e inmovilizando aquellos que se encuentran en niveles bajos y críticos para la supervivencia de la biomasa microbiana.

Según Gama – Rodríguez y col. (1997), en suelos de baja fertilidad y con cobertura vegetal pobre en nitrógeno, la velocidad de descomposición de la materia orgánica sería menor, propiciando la inmovilización del nitrógeno de la biomasa microbiana. En este tipo de cobertura vegetal, la biomasa microbiana estaría representando una reserva del nutrimento. Por otro lado, en el mismo suelo, pero de cobertura vegetal rica en nitrógeno, la cantidad de nitrógeno inmovilizado por la biomasa microbiana sería menor, pues ese elemento estaría en cantidad suficiente para atender la actividad metabólica de los microorganismos y del proceso de descomposición de la materia orgánica. En este tipo de cobertura vegetal, la biomasa microbiana estaría funcionando como un catalizador en la descomposición de la misma.

Cuadro 4. Contenido de carbono orgánico y relación Carbono Microbiano/Carbono Orgánico en el Suelo

Tratamientos	Carbono orgánico	Carbono Microbiano/ Carbono Orgánico
	%	
Gn	1.79	3.17
Bh + Ap	2.57	3.41
Bh + Am	2.41	2.10
Bh + Am cortadas	2.73	4.06
Bh + Ap + Am	2.26	3.70
Bh sola	1.95	1.78

El Cuadro 4, presenta los valores de la relación carbono _{microbiano} / carbono _{orgánico} expresados en porcentaje y muestra que la cinética de la descomposición de la materia orgánica es mucho más lenta en Bh sola y en Bh + Am. Como consecuencia del menor aporte de residuos orgánicos, comparado con el suelo que presenta una cobertura con Bh donde se cortaron los árboles de Am y Bh + Ap + Am, los cuales presentan elevadas concentraciones de residuos orgánicos en descomposición sobre su superficie. Marchiori Júnior y Melo (1997), encontraron valores de esta relación menores que 1.0% en pastos establecidos hace quince años en un latosol rojo – amarillo distrófico.

Según Wardle (1992), valores de la relación carbono _{microbiano} / carbono _{orgánico} debajo de 1.3; indican una lenta dinámica en el proceso de mineralización de la materia orgánica.

Disponibilidad de nutrimentos del suelo

Las Figuras 2 al 6 contienen las curvas de fijación de P, K, Cu, Zn y Mn donde se muestra la influencia que han tenido las asociaciones entre Bh, Am, Ap y gramíneas nativas, sobre la cobertura del suelo con la dinámica de los nutrimentos.

Con relación a la fijación de estos nutrimentos se verifica que la parcela con Gn fue la que mostró una mayor capacidad de fijación de todos los elementos, muy probablemente esto se deba al pobre aporte de nutrimentos que esta cobertura brinda al suelo influyendo menos sobre sus propiedades químicas y biológicas; mientras que, Bh + Am cortadas y Bh + Ap + Am, en suelos donde se observó una gran actividad microbiológica y su cobertura vegetal, brinda un elevado aporte de nutrimentos a este, mostrando un mejor comportamiento en promedio.

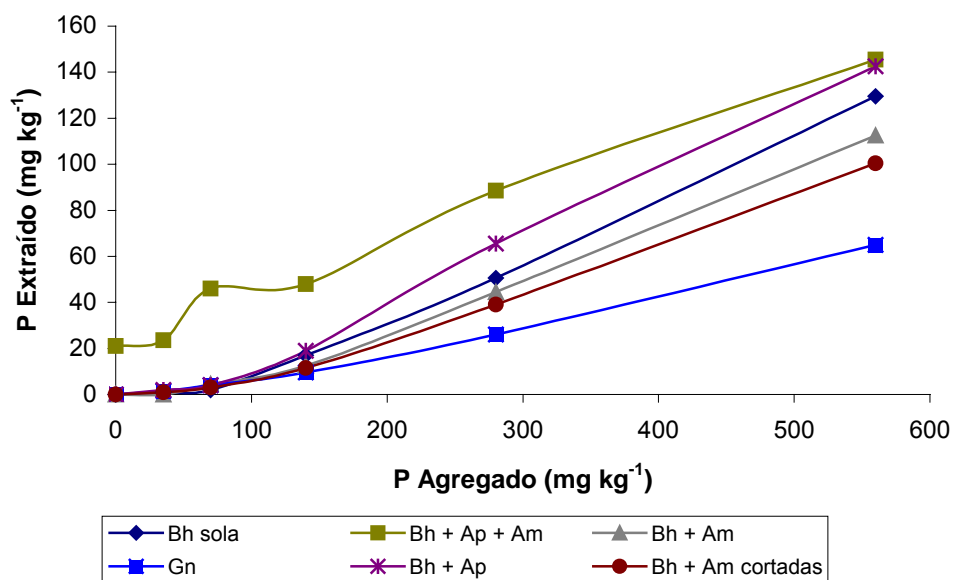


Figura 2. Fijación de fósforo en cada tratamiento estudiado. Calabacito – Veraguas.

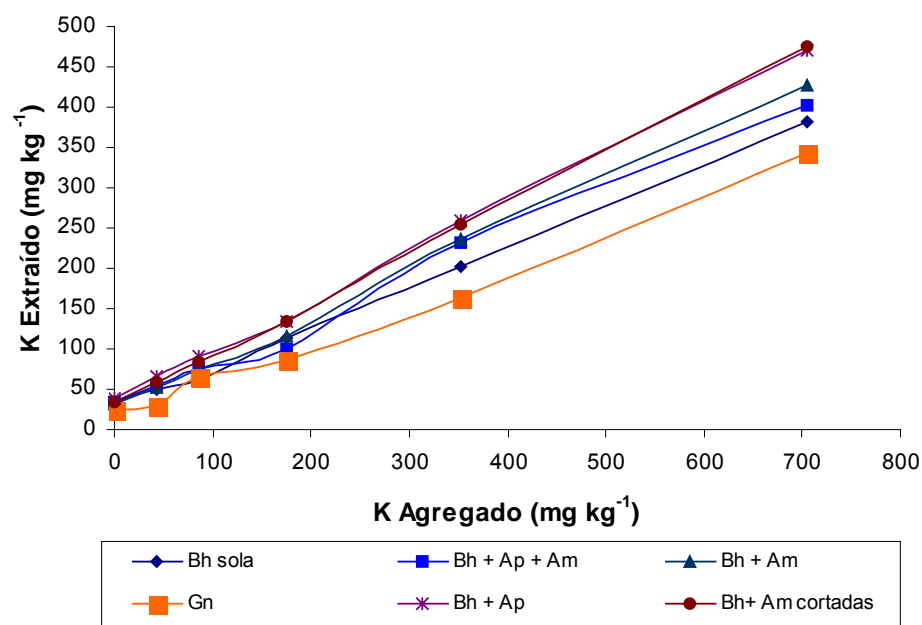


Figura 3. Fijación de potasio en cada tratamiento estudiado. Calabacito – Veraguas.

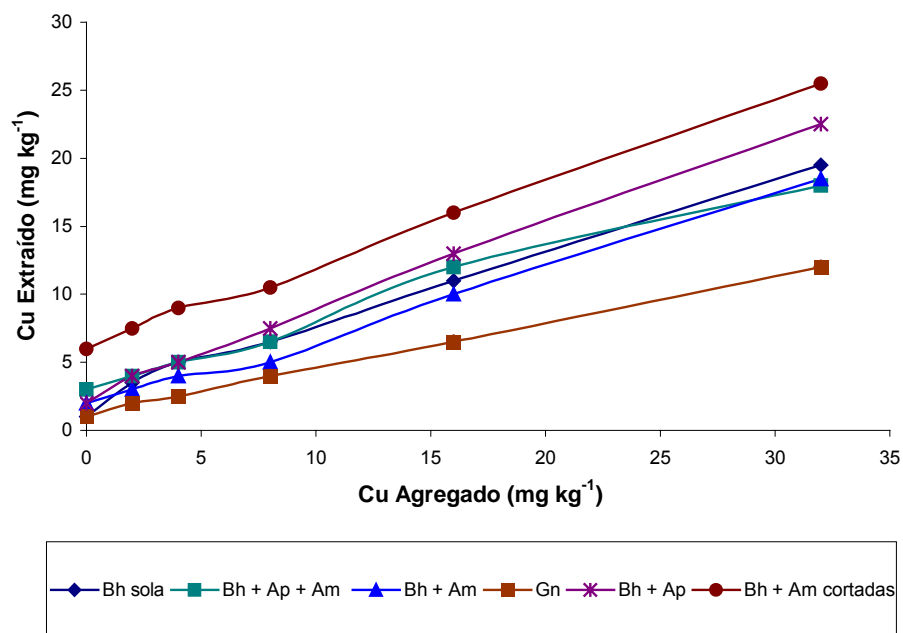


Figura 4. Fijación de cobre en cada tratamiento estudiado. Calabacito – Veraguas.

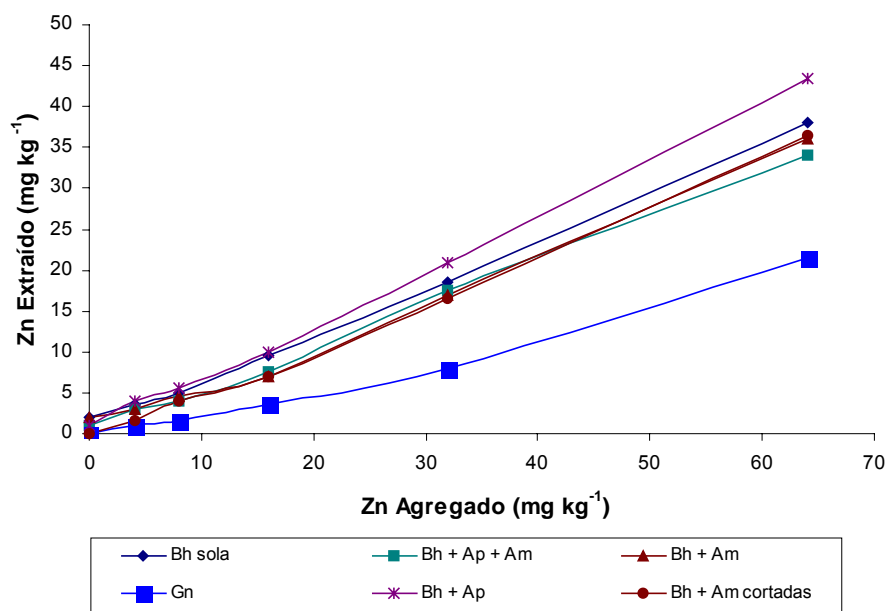


Figura 5. Fijación de zinc en cada tratamiento estudiado. Calabacito – Veraguas.

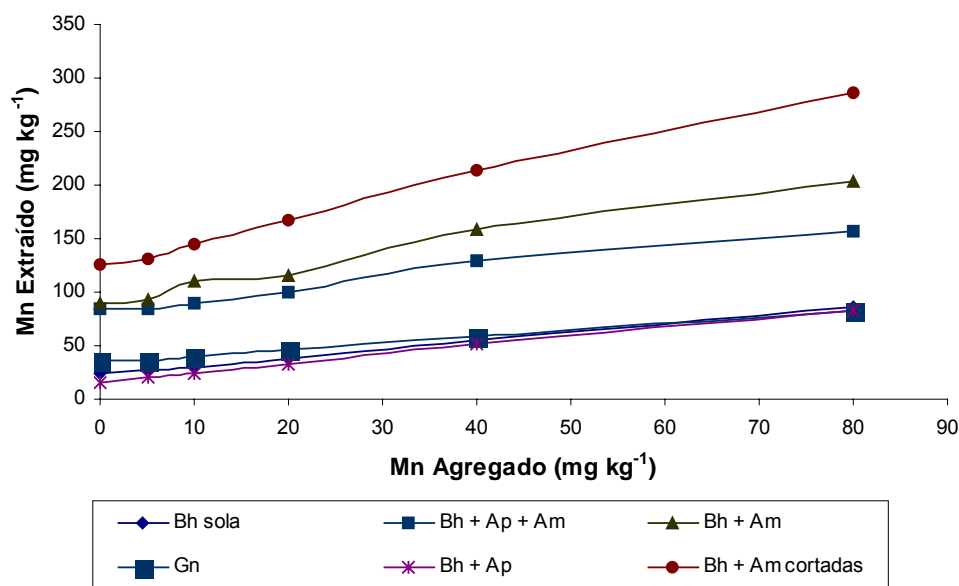


Figura 6. Fijación de manganeso en cada tratamiento estudiado. Calabacito – Veraguas.

Con relación al P, elemento crítico en los suelos ácidos de bajo pH y elevado contenido de Al intercambiable, como lo es el de Calabacito, la menor fijación de este nutrimento se observó en el suelo cubierto con Bh + Ap + Am, seguida por el suelo con Bh + Ap. Estos suelos contienen un alto contenido de materia orgánica, además como se mostró en el Cuadro 4, que presentan una gran actividad en la cinética de descomposición de la misma, lo que contribuye a la formación de complejos quelatos con el Al, Fe y Mn, liberando lentamente los fosfatos fijados.

Minhoni y col. (1996), verificaron que la materia orgánica a pesar del efecto acidificante del suelo, es la causa del mejoramiento de sus propiedades químicas tales como la adsorción de iones H^+ y Al^{3+} seguida de la precipitación/acomplejamiento del Al^{3+} . Aunque en ninguno de estos suelos se ha notado un aumento en los niveles de P, se espera que a largo plazo la mejoría en sus propiedades favorezca una mayor liberación del mismo. Como se observa en el Cuadro 3, la biomasa del *Arachis pinto* CIAT 18744 representa un elevado aporte de este elemento al suelo, contribuyendo a mejorar la fertilidad del mismo; pero ocurre lo contrario, con la gramínea nativa que es muy pobre en fósforo, por lo que brinda un mínimo aporte del mismo al suelo.

Con relación al potasio, Bh + Ap y Bh + Am cortadas, presentan los menores niveles de fijación. Como muestra el Cuadro 3, Ap; Bh y Am, aportan niveles mucho más elevados de potasio al suelo que la Gn.

En el Cuadro 5 se indica el porcentaje de fijación de fósforo y potasio obtenido con cada cobertura vegetal en el suelo de la Estación Experimental de Calabacito, después de agregarle diversas concentraciones de cada nutrimento al suelo.

Cuadro 5. Porcentaje de fijación de fósforo y potasio en cada tratamiento.

Nutrimento	Gn	Bh + Ap	Bh+Am	Bh + Am cortadas	Bh + Ap + Am	Bh sola
Fósforo agregado mg kg ⁻¹	-% de fijación					
0	-	-	-	-	-	-
35	95.7	94.3	100	97.1	32.9	97.1
70	94.3	94.3	93.6	95.7	34.3	97.1
140	93.2	86.4	91.1	91.8	65.7	87.9
280	90.7	76.6	84.1	86.1	68.4	82.0
560	88.4	74.5	79.9	82.0	74.0	76.9
Potasio agregado mg kg ⁻¹						
0	-	-	-	-	-	-
43	88.4	34.9	59.3	44.9	54.6	59.3
86	50.6	40.7	54.3	43.0	54.5	54.3
176	64.8	45.4	52.2	44.3	63.3	52.2
352	60.5	37.5	41.7	37.5	43.9	41.7
704	54.7	38.8	43.9	37.4	47.8	43.9

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión y coeficiente de correlación que representan la mayor y menor fijación de macro y micro nutrimentos entre los tratamientos.

ECUACIONES DE REGRESION		
Tratamiento	Fósforo	R ²
Gn *	$Y = -5000000000 X^2 + 0.07X - 0.7547$	0.99
Bh + Ap + Am**	$Y = -0.00005 X^2 + 0.2497X + 20.072$	0.98
Potasio		
Gn*	$Y = 0.0002X^2 + 0.3454 + 23.315$	0.99
Bh + Am cortadas**	$Y = -50000X^2 + 0.6031X + 32.457$	0.99
Cobre		
Gn*	$Y = -0.00002 X^2 + 0.3433X + 1.1547$	0.99
Bh + Am cortadas**	$Y = -5000000X^2 + 0.6023X + 6.1781$	0.99
Zinc		
Gn*	$Y = 0.0027X^2 + 0.1628X + 0.1219$	0.99
Bh + Ap	$Y = 0.0016X^2 + 0.5574X + 1.1547$	0.99
Manganeso		
Gn*	$Y = -5000000000X^2 + 0.5984X + 34.734$	0.99
Bh+Am cortadas**	$Y = -0.0046X^2 + 2.4197X + 122.26$	0.99

*- Mayor fijación del nutrimento

** Menor fijación del nutrimento

El Cuadro 6 muestra las ecuaciones de regresión y el R^2 de esta, considerando la asociación vegetal que contribuyó a obtener el menor y mayor porcentaje de fijación de cada nutrimento en el suelo estudiado (Figuras 2 al 6). Se observa que en todos los casos el R^2 , obtenido fue sumamente elevado mostrando que la ecuación explica muy bien el fenómeno observado.

La ecuación que mejor se ajustó en todos los casos fue la cuadrática. Estas ecuaciones permiten calcular la tendencia que seguirá el elemento en cada tratamiento. Salinas y col.(1997) encontraron que en suelos donde abunda la materia orgánica había menor fijación de P, K, Mn y un aumento en la fijación de Cu y Zn, debido, en parte, a la afinidad que muestra cada elemento por la materia orgánica. Coincidiendo con este estudio, en que la ecuación cuadrática es la que mejor explica la fijación del elemento y su tendencia en el futuro si no cambian las condiciones de manejo y uso del suelo.

CONCLUSIONES

- La asociación de ***Brachiaria humidicola*** (Bh) con leguminosas (Ap o Am) favoreció la acumulación de carbono orgánico en el suelo y sobre todo la elevación de los niveles de nitrógeno en estas parcelas. También se observó mejoría en la CIC del suelo. Se obtuvo una correlación entre la actividad y la biomasa microbiana, mostrando que son altamente dependientes.
- La gran acumulación de residuos orgánicos en la parcela de *Brachiaria humidicola* donde se cortaron los árboles de ***Acacia mangium*** (Bh + Am cortadas), favoreció el desarrollo de una mayor biomasa microbiana y por consiguiente una mayor actividad microbiológica en el suelo de esta parcela.
- Se encontraron valores mayores de 1.3 en la relación carbono microbiano/carbono orgánico, demostrando que en las parcelas de la Finca Experimental de Calabacito donde se practica la asociación de ***Brachiaria humidicola*** con leguminosas, hay una buena cinética de descomposición de la materia orgánica.
- La asociación: ***Brachiaria humidicola*** donde se cortaron y extrajo la madera de ***Acacia mangium*** (Bh + Am cortadas) presentó la menor fijación de potasio (promedio de 41.4%) y la asociación ***Brachiaria humidicola* + *Arachis pintoi* + *Acacia mangium*** (Bh + Ap + Am) presentó la menor fijación de fósforo (promedio de 55%). Estas asociaciones son las que presentan mayor acumulación de materia orgánica y mayor biomasa microbiana, evidenciando mejor manejo del suelo.

- La evaluación de la actividad y el carbono de la biomasa microbiana resultaron ser excelentes parámetros, para establecer los niveles de recuperación en suelos ácidos degradados.
- La asociación ***Brachiaria humidicola*** + ***Arachis pinto*** (Bh + Ap) por aportar elevadas concentraciones de nutrientes al suelo, favorece la recuperación de este y la vida microbiana. Su fácil adaptabilidad a los suelos ácidos degradados resulta beneficiosa para su recuperación.

BIBLIOGRAFIA

- BORIE, G.; AGUILERA S.M.; PEIRANO, P. 1999. Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola* 5 (1-2): 29-32.
- CAMPBELL, C.A.; MOULIN, A.P.; BOWREN, K.E.; JANZEN, H.H.; TOWNLEY – SMITH, L.; BIEDERBECK, V.O. 1992. Effect of crop rotations on microbial biomass, specific respiratory activity and mineralizable nitrogen in a Black chernozemic soil. *Canadian Journal of Soil Science* 72: 417 – 427.
- CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. 1990. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais R. Bras. Ci. Solo 14: 133 –142.
- DIAZ- ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BESDICEK, D.F.; STEWART, B.A. 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Wisconsin, American Society of Agronomy.
- GAMA – RODRIGUEZ, E.F.; GAMA- RODRIGUEZ, A.C.; BARROS, N.F. de. 1997. Biomasa microbiana de carbono e de nitrogenio de solos sob diferentes coberturas florestais. R. Bras. Ci. Solo 21: 361-365.
- GAMA-RODRIGUEZ, E.F. 1992. Biomassa – C microbiana de solos de Itaguaí: Comparação entre os métodos da fumigação- incubação e fumigação extração. Tesis de Maestría, Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Itaguaí, RJ. 110 pp.
- GARCIA, F.O.; RICE, C.W. 1994. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 58: 816-823.

- GRISSI, B.M. 1997. Temperature increase and its effect on microbial biomass and activity of tropical and temperate soils. *R. Microb.* 28: 5-10.
- GRISSI, B.M.; GRAY, T.R.G. 1986. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta a adição de glucose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo.* 19: 110 –115..
- JARAMILLO, S. 1987. Pedones de campo y Estaciones experimentales del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. IDIAP. Boletín técnico. 56 pp.
- JENKINSON, D.S. y LADD, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul, E.A.; LADD, J.N., (eds.) *Soil Biochemistry* 5: 415-471. New York, Marcel Dekker.
- JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* Oxford 8: 167- 177.
- MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W.J. 1997. Carbono, Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob Mata Natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo* 23: 257- 263.
- MARTINS, K.F.; ALVES, J.; DIETER, K. 1999. Avaliação da biomassa microbiana em tres ambientes distintos. XXVII Congresso Brasileiro de Ciencias del Suelo. Brasília. 20 – 26 de julio de 1999. En CD-Rom.
- MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; BULL, L.T. 1996. Biomassa microbiana, liberação de CO₂, fósforo disponível e pH em solo que recebeu glicose e fosfato de rocha. *R. Bras. Ci. Solo* 20: 387 - 392.
- NAME, B.; VILLARREAL, J. E. 2001. Soil dynamics in *Acacia mangium* plots associated to *Brachiaria humidicola* in an ultisol of Panamá. In: *International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress on Agroforestry and livestock production in Latin America.* San José, Costa Rica, abril 2-9, 2001. pp. 217 – 222.
- NAME, B.; SMYTH, T.J.; MÁRQUEZ, E. 1991. Dinámica del potasio en un ultisol de Panamá. *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 7: 9 - 28.
- ROVIRA, A.D. 1978. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J.R. (ed.). *Plant relations in pastures.* Melbourne. pp. 95 –110.

- SALINAS – GARCÍA, J. R.; HONS, F.M.; MATOCHA, J.E. 1997. Long – term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: 152 - 159.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. 1995. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de un Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). R. Bras. Ci. Solo 19: 313 – 319.
- SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soil in the tropics. New York, John Willey. 618 pp.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Laboratory Staff. Soil Survey Investigations N°.42. Version 2.0. 400 pp
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.D. 1960. Principles and procedures of statistics. McGraw Hill, New York. 481 pp.
- STOTZKY, G. 1965. Microbial respiration. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. (ed) Methods of soil analysis. Madison. American Society of Agronomy- part 2. Pp. 1550 – 1572. (Agronomy 9).
- TATE, K.R.; ROSS, D.J. y FELTHAM, C.W. 1998. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. Soil Biol. Biochem. Oxford 20: 329 – 335.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass –C. Soil Biol. Biochem 19: 703 – 707.
- VILLARREAL, J.; NAME, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de suelos. IDIAP. Divisa. 110 pp.
- WARDLE, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. Biol. Rev. 67: 321-358.

FRACCIONES DE FOSFORO ORGANICO EN SUELOS DE PANAMA

Benjamín Name

MSc. Edafología. IDIAP, CIA-Central.

José Villarreal

MSc. Química de Suelos. IDIAP, CIA-Central.

RESUMEN

Con el propósito de determinar la biodisponibilidad de las fracciones de fósforo orgánico presente en suelos de diferentes clases taxonómicas, fue realizado un estudio en muestras de suelos que representan áreas de importancia agrícola en Panamá. Fueron utilizados 10 suelos pertenecientes a las ordenes: Ultisoles, Mollisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Andisoles. Se realizó extracción secuencial con NaHCO_3 0,5M; H_2SO_4 1M y NaOH 0,5M para obtener fracciones de fósforo orgánico lábil, moderadamente lábil y moderadamente resistente; respectivamente. La determinación fue realizada en el Laboratorio de Suelos del IDIAP en Divisa, utilizando un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El contenido de fósforo orgánico total extraído fue muy variado, con un promedio de 37,3 mg kg^{-1} en los 10 suelos estudiados. Sin embargo, en suelos con mayor grado de intemperismo la fracción de fósforo orgánico lábil fue la más importante, demostrando que en éstos la fracción orgánica representa una importante reserva de nutrientes que contribuye al aumento de su fertilidad. Se observó correlación positiva y significativa entre las fracciones de fósforo orgánico total y fósforo total (0,70); fósforo orgánico lábil y fósforo lábil total (0,53); carbono orgánico y fósforo orgánico lábil (0,40). Se recomienda realizar ensayos de campo para verificar el comportamiento del fósforo orgánico a mediano y largo plazo, y el efecto del manejo sobre sus transformaciones.

PALABRAS CLAVES: Suelo, fósforo orgánico, muestreo, Panamá.

INTRODUCCION

A pesar de la importancia del fósforo (P) unido a componentes orgánicos, existen pocos trabajos que se dediquen al estudio de esta fracción en suelos de la América Latina (Bornemisza & Igue, 1967; Condrón, 1990; Guerra, 1996).

En suelos altamente intemperizados como los ultisoles, que representan alrededor del 40% del total de los suelos del territorio de la República de Panamá (Comisión de Reforma Agraria, 1979), la función del fósforo orgánico (Po) en la nutrición de las plantas es de particular importancia.

De acuerdo con Bowman & Cole (1978b), el Po constituye una reserva que es utilizada de acuerdo con el equilibrio del elemento en el suelo. Según Guerra et al. (1996), la disponibilidad biológica del elemento sería controlada no únicamente por el equilibrio entre fósforo inorgánico (Pi) - solución - fase sólida del suelo, sino también por los factores que afectan el equilibrio entre Po - solución - fase sólida del suelo.

Los métodos utilizados para la determinación del Po son de dos tipos: i) extracción por vía húmeda (química) y ii) por vía seca (ignición). El método de ignición se fundamenta en la descomposición del Po a 550°C; sin embargo, a pesar de su sencillez, pueden ocurrir pérdidas de Po por volatilización (Tiessen, 1989). Las técnicas analíticas de extracción por vía húmeda comprenden el tratamiento del suelo con ácidos y bases fuertes, de esta forma, el efecto de hidrólisis causado por las soluciones alcalinas puede llevar a una superestimación de los contenidos de Po (Tiessen et al. 1984).

El método de Mehta et al. (1954), es el más utilizado; sin embargo, sólo permite estimar el contenido de Po total. Bowman & Cole (1978 a, b) desarrollaron un método de extracción que permite determinar las diferentes fracciones de Po; las cuales se supone, permitirían definir las formas de equilibrio del P del suelo en un sistema agrícola.

Por medio de esta metodología es posible definir el siguiente esquema de fraccionamiento:

- ❖ Po lábil o disponible para las plantas, extraído con NaHCO_3 0,5 M
- ❖ Po moderadamente lábil, extraído con H_2SO_4 1,0 M
- ❖ Po moderadamente resistente unido a los ácidos húmicos, extraído con NaOH 0,5 M

Se han realizado diversos trabajos para estudiar la cantidad y la naturaleza del Po en el suelo (Guerra, 1993; Henríquez et al. 1992; Condrón et al. 1990; Dalal, 1977;

Boenemisza & Igue, 1967); pero a pesar de ello, su papel generalmente es subestimado, debido a que la mayor parte del P total en los suelos frecuentemente cultivados, se encuentra en forma inorgánica. Según Thien & Myers (1992) esto se debe, probablemente, a que el cultivo incrementa la aireación y humedad del suelo, aumentando la actividad microbiana y consecuentemente, la descomposición de la materia orgánica. Estos mismos autores, constataron que la disminución en el contenido de Po, como resultado de cultivos sucesivos, se debió principalmente a la reducción del nivel de fosfato-inositol, que es la forma más importante de Po en el suelo.

Debido a la escasa información sobre el Po que existe en los suelos de Panamá, se realizó este estudio en condiciones de laboratorio, con el objetivo de determinar la biodisponibilidad de las fracciones de Po presentes en suelos de diferentes clases taxonómicas que representan áreas de importancia agrícola en Panamá.

MATERIALES Y METODOS

En el Cuadro 1 se presenta la localización, orden, suborden y textura de los 10 suelos utilizados en el estudio los cuales representan áreas de importancia agrícola en la República de Panamá. De acuerdo con el sistema de clasificación Soil Survey Staff (1990) pertenecen a los órdenes más comunes en el país: Ultisoles, Inceptisoles, Alfisoles, Mollisoles y Andisoles. Las muestras fueron colectadas de los primeros 20 cm de la superficie (horizonte Ap).

Cuadro 1. Localización, orden, suborden y textura de 10 suelos que representan áreas de importancia agrícola en Panamá.

Localización	Orden	Suborden	Textura (%)			
			Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural*
Sajalices, Chorrera	Inceptisol 1	Tropepts	52	30	18	FA
Quirá, Barú	Inceptisol 2	Aquepts	44	48	8	F
Santa Fe, Darién	Inceptisol 3	Tropepts	32	36	32	FARC
El Coco, Penonomé	Alfisol 1	Aquepts	66	16	18	FA
Cocobola, Las Tablas	Alfisol 2	Ustalfs	30	24	46	FARC
Calabacito, Santiago	Ultisol 1	Udults	38	10	52	ARC
Los Carates, Ocu	Ultisol 2	Ustuls	50	34	16	F
Alanje, Chiriquí	Andisol 1	Andepts	64	32	4	FA
Boquete, Chiriquí	Andisol 2	Andepts	78	14	8	AF
Chichebre, Chepo	Mollisol	Udolls	46	24	30	FARA

*FA= Franco Arenoso; F= Franco; FARC= Franco Arcilloso; ARC= Arcilloso; AF= Arenoso Franco; FARA= Franco Arcilloso Arenoso

Las muestras fueron secadas al aire, trituradas, homogenizadas y cernidas utilizando un tamiz con una malla de 2 mm de abertura. El análisis químico de los suelos se realizó siguiendo la metodología propuesta por Díaz-Romeu & Hunter (1978). Los resultados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Caracterización química de los suelos estudiados

Suelo	P	K	Ca	Mg	Al	C org.	Fe	Cu	Mn	Zn	pH
	—mg kg ⁻¹ —	——— cmol kg ⁻¹ ———				— %—	——— mg kg ⁻¹ ———				
Inceptisol 1	5,5	3,6	11,2	2,4	1,2	1,8	5,7	0,2	10,9	Tr	5,2
Inceptisol 2	120,0	9,3	2,7	0,7	1,2	3,1	242,0	13,0	27,0	0,2	5,7
Inceptisol 3	12,0	2,6	2,2	0,9	1,8	1,6	67,0	10,0	148,0	2,0	6,0
Alfisol 1	17,0	2,6	0,6	0,2	0,5	1,3	84,0	1,0	89,0	Tr	5,4
Alfisol 2	8,7	6,3	11,8	1,7	0,2	1,7	3,7	1,1	7,9	0,2	5,7
Ultisol 1	1,7	1,0	0,6	0,2	3,8	0,6	70,0	4,0	47,0	Tr	4,7
Ultisol 2	2,7	1,3	0,9	0,3	3,5	0,9	38,0	6,0	50,0	Tr	5,1
Andisol 1	13,5	4,1	2,6	0,7	1,0	3,8	31,0	4,0	12,0	12,0	5,4
Andisol 2	7,5	1,8	2,3	0,8	0,5	3,6	15,0	6,0	30,0	17,0	5,5
Mollisol	13,5	3,0	3,0	0,8	0,3	2,3	94,0	5,0	27,0	1,0	6,0

Extracción y determinación del Po

Fue utilizada la metodología de fraccionamiento del Po propuesta por Bowman & Cole (1978 a, b) que consiste básicamente en la extracción secuencial de la muestra de suelo con NaHCO₃ 0,5M; H₂SO₄ 1,0M y NaOH 0,5M, obteniéndose en cada extracto las fracciones de Po lábil, moderadamente lábil y moderadamente resistente con cada solución extractora, respectivamente.

Las extracciones se realizaron siguiendo los pasos en la Figura 1. El Po fue cuantificado indirectamente substrayendo el Pi del P total (Pt), así: Po = Pt - Pi.

Para desarrollar el color en el extracto fue utilizada la metodología propuesta por Díaz-Romeu & Hunter (1978), determinando el contenido de P por espectrofotometría en una longitud de onda de 680 nm.

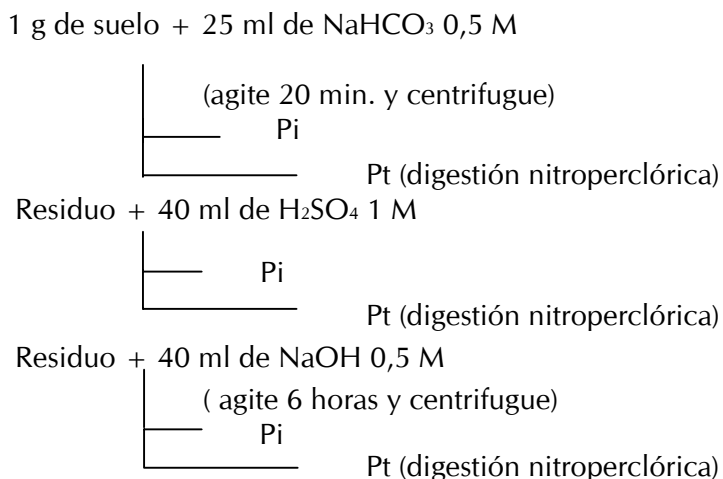


Figura 1. Fraccionamiento del Po utilizando NaHCO_3 0,5M; H_2SO_4 1M y NaOH 0,5M.

El Pi fue determinado directamente de la solución en cada etapa de la extracción; mientras que, el Pt de cada fracción se determinó luego de digerir una alícuota del extracto con una mezcla de ácido perclórico, nitrato de magnesio y ácido sulfúrico. Para la determinación del Pt a partir del extracto digerido, se neutralizó el exceso de ácido con NaOH 0,5M, utilizando p-nitrofenol como indicador. En todos los casos se preparó un blanco para detectar cualquier tipo de contaminación.

El trabajo fue realizado en el Laboratorio de Suelos del IDIAP ubicado en Divisa, entre los meses de mayo a diciembre de 1996, empleándose un diseño experimental completamente al azar con 10 tratamientos (muestras de suelo) y cuatro repeticiones. Fueron realizados análisis de correlación simple entre el nivel de carbono orgánico con el Po total de los suelos. De igual forma, se correlacionó el contenido de Po lábil y Po total con la concentración de P total del suelo, considerando las muestras de suelo en conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSION

El total de las fracciones de fósforo extraídas con las tres soluciones extractoras se encuentra en el Cuadro 3. Se constata que el contenido de Po total se presenta muy variado en los diferentes tipos de suelo, mostrando un valor promedio de $37,3 \text{ mg kg}^{-1}$, variando desde $6,5 \text{ mg kg}^{-1}$ en el Ultisol 1 hasta $61,4 \text{ mg kg}^{-1}$ en el Alfisol 2. También, se constata que estos mismos suelos presentaron el menor y mayor

contenido de Pt, demostrando la capacidad diferencial en la acumulación de P orgánicamente combinado en los diferentes tipos de suelo.

Guerra et al. (1996), en suelos tropicales de Brasil, encontraron resultados semejantes donde el valor promedio del Po era de 50 mg kg⁻¹ de suelo. Condrón et al. (1990), determinaron valores de 88 mg kg⁻¹ en muestras de suelos de África y del Noreste de Brasil. Por otro lado, Bornemisza & Igue (1967) en suelos de Costa Rica, encontraron valores promedios de 405 mg kg⁻¹ de Po utilizando el método de extracción de Mehta et al. (1954). Según éstos autores, probablemente esta metodología extrae mayor cantidad de Po porque presenta menos problemas de hidrólisis.

Cuadro 3. Contenido de P total, P inorgánico y P orgánico determinado en los diferentes tipos de suelo.

Suelo	P total	P inorgánico	P orgánico
	mg kg ⁻¹		
Inceptisol 1	98,8	42,1	56,7
Inceptisol 2	79,9	45,2	34,7
Inceptisol 3	83,8	43,9	39,9
Alfisol 1	92,3	53,2	39,1
Alfisol 2	125,5	64,1	61,4
Andisol 1	66,4	29,8	36,7
Andisol 2	112,4	54,1	57,7
Ultisol 1	22,1	15,6	6,5
Ultisol 2	29,9	23,0	6,9
Mollisol	86,0	52,9	33,1

La variabilidad en las diferentes determinaciones realizadas en suelos tropicales demuestra que los resultados, posiblemente, son superestimados en función de la metodología de análisis utilizada y que seguramente otros factores como la fertilización fosfatada (mineral), intensidad en el uso del suelo, contenido de materia orgánica y naturaleza de las arcillas, deben tener una gran influencia sobre esta fracción en los suelos tropicales.

El Ultisol 2, presentó el menor porcentaje relativo de Po (Figura 2), coincidiendo este resultado con el bajo contenido de carbono orgánico encontrado en este suelo (Cuadro 2). También, se observa el predominio de la fracción inorgánica, representando más del 50 % del P total en la mayoría de los suelos (promedio de

56,3%) sobre la fracción orgánica (promedio de 43,7%). La fracción orgánica varió con límites entre 23,1% y 57,4% en los diferentes tipos de suelo, mostrando mayor porcentaje los Andisoles, Inceptisoles y los Alfisoles.

En forma general, el predominio del Pi sobre el Po ha sido encontrado en suelos tropicales genéticamente evolucionados (Bornemisza & Igue, 1967; Soltanpour et al., 1987; Condrón et al. 1990; Guerra et al. 1996).

Resultados de Walker & Adams (1959), sobre el proceso de acumulación de P durante la pedogénesis del suelo, llevan a considerar que las cantidades de Po serían pequeñas al inicio de su formación, aumentarían en suelos ligeramente intemperizados y declinarían en suelos fuertemente intemperizados.

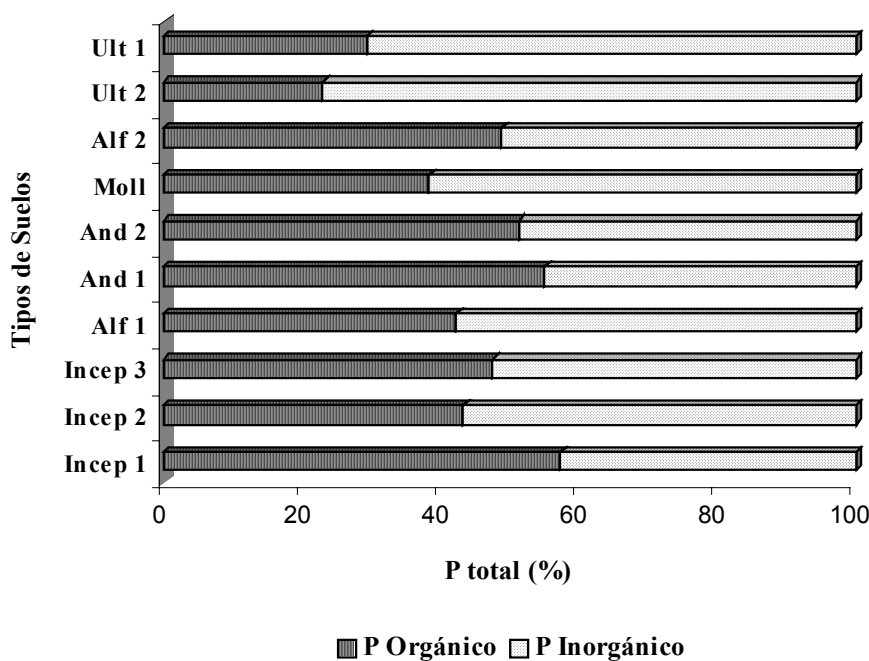


Figura 2. Distribución porcentual del total de las fracciones de fósforo orgánico e inorgánico determinadas en las muestras de suelos.

Se observa en la Figura 3 que la fracción de Po "moderadamente lábil" es la más importante en los Andisoles e Inceptisoles, con un aporte entre 43 y 52% del Po total extraído por las tres soluciones extractoras. Mientras que, en los Ultisoles y Alfisoles, las fracciones de Po más notables son la forma lábil y moderadamente resistente.

Los resultados demostraron que posiblemente en estos suelos, la fracción orgánica "lábil" podría aportar una cantidad de P lábil muy importante y que generalmente no se toma en cuenta. Siendo así, cuando esta fracción es agotada la restitución rápida del P disponible dependerá de una fracción "moderadamente resistente" que estará envuelta en las transformaciones a largo plazo (Tiessen et al. 1984). De esta forma, el manejo de la materia orgánica en estos suelos es de vital importancia.

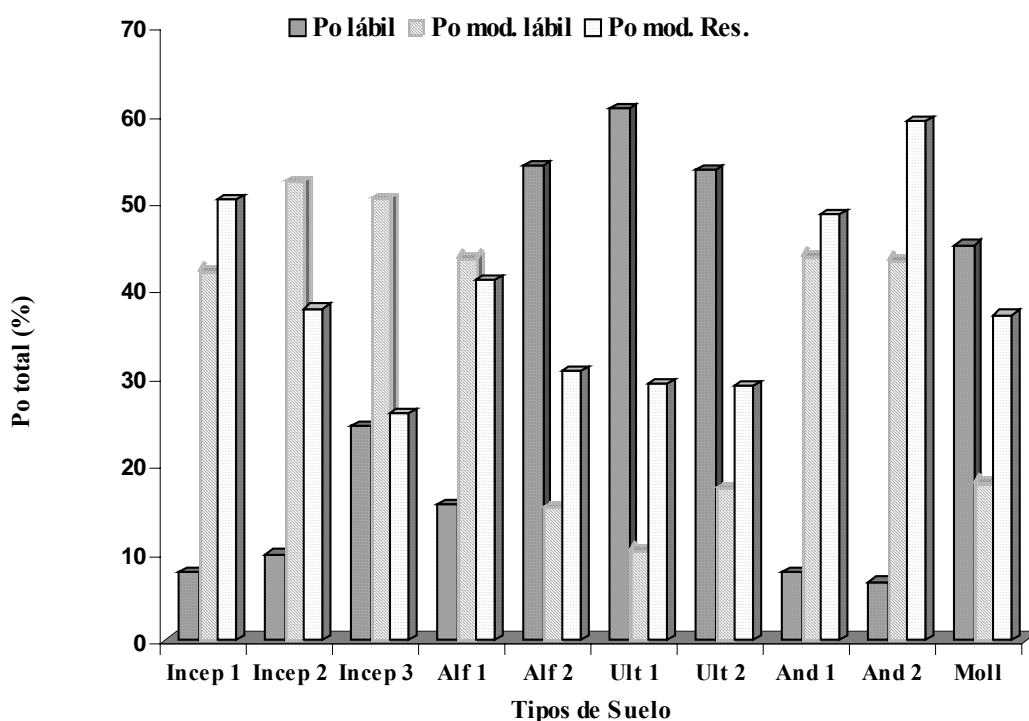


Figura 3. Representación porcentual de las fracciones de fósforo orgánico extraídas en diez suelos de Panamá

Considerando las muestras en conjunto, con relación al Po total determinado, el Po lábil es una fracción que tiene una importante contribución en los suelos tropicales, registrándose un promedio de 27,5% de Po lábil en los suelos de las 10 áreas estudiadas variando desde 6,6% en el Andisol 2 hasta 60,6% en el Ultisol 1. Se comprueba de esta forma la importancia de darle un manejo adecuado a la materia orgánica en estos suelos.

La fracción de Po "moderadamente resistente" fue muy variable en los diferentes suelos, aunque el porcentaje obtenido fue mucho mayor en los Andisoles,

coincidiendo con los elevados valores de carbono orgánico encontrados (Cuadro 2). Seguramente, esta fracción se encuentra asociada con los materiales que presentan una pobre organización cristalina (antiguamente conocidos como amorfos).

Algunos de los suelos evaluados como los Ultisoles, presentaron niveles muy bajos de Pi lábil, pero en compensación en estos mismos suelos la fracción orgánica lábil fue muy elevada comparada con la inorgánica (Figura 4 y Cuadro 4); representando en el Ultisol 1 más del 60% y en el Ultisol 2 el 45,1% del P total extraído con NaHCO_3 . Estos resultados concuerdan por los encontrados por Guerra et al. (1996), en suelos de Brasil; Henríquez et al. (1992) en Ultisoles de Costa Rica presentando bajos contenidos de Pi lábil; Bowman & Cole (1978 a, b), y Thien & Myers (1992); donde los niveles de P disponibles eran claramente bajos, sugiriendo que la contribución potencial de la fracción orgánica podría estar subestimada en determinadas situaciones de clima, suelo y cobertura vegetal. Tiessen et al. (1984), estudiando diferentes tipos de suelos tropicales, concluyeron que en suelos altamente intemperizados el P disponible estaría íntimamente asociado a las fracciones de Po.

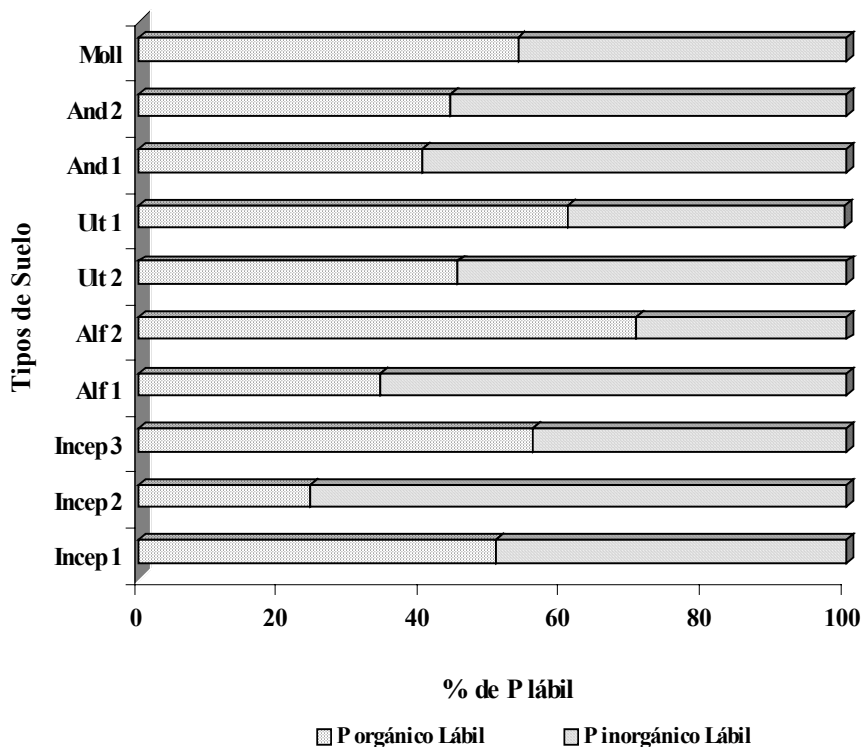


Figura 4. Distribución porcentual de las fracciones lábiles de fósforo determinadas en las muestras de suelo.

Fueron obtenidos coeficientes significativos de correlación simple ($r = 0,70$) entre Po total y P total, independientemente de la clase taxonómica; evidenciando, como sugirió Walker & Adams (1958) que la actividad de la biomasa microbiana del suelo tiene una poderosa influencia sobre la acumulación de Po en el suelo, y que está íntimamente relacionada con la producción de materia orgánica y liberación de P.

También fue observada una correlación significativa entre Po lábil y el contenido de carbono orgánico ($r = 0,40$) entre Po lábil y P total lábil ($r = 0,53$), y entre carbono orgánico del suelo y el contenido de Po total ($r = 0,21$). Los resultados encontrados indican que la disponibilidad de substrato podría ser un factor regulador importante en la síntesis de Po por parte de la microbiota del suelo; y que una buena fertilización fosfórica junto con el manejo adecuado de los residuos orgánicos, atenuaría a corto y largo plazo los problemas relacionados con la baja eficiencia de recuperación del P del fertilizante, pasando de Pi para Po lábil.

Por estar débilmente asociada a la fase sólida del suelo, la fracción orgánica lábil es fácilmente mineralizada; por lo tanto, la relación positiva con el P disponible ($r = 0,53$) sugiere que el reservorio lábil debe ocupar un papel de mayor importancia en la fertilidad del suelo, especialmente, en aquellos altamente intemperizados de las regiones tropicales.

Cuadro 4. Fracciones de fósforo determinadas con tres soluciones extractoras en diez suelos de Panamá y su aporte porcentual al total.

Suelo	P total	P inorgánico	P orgánico	Relación	
				Pi/Pt*100	Po/Pt*100
mg kg ⁻¹					
%					
Solución extractora: NaHCO ₃ 0,5M					
Inceptisol 1	8,7	4,3	4,4	49,6	50,4
Inceptisol 2	14,0	10,6	3,4	75,9	24,1
Inceptisol 3	17,5	7,8	9,7	44,4	55,6
Alfisol 1	17,6	11,6	6,0	65,9	34,1
Alfisol 2	47,2	14,0	33,2	29,7	70,3
Ultisol 1	6,5	2,5	3,9	39,2	60,7
Ultisol 2	8,2	4,5	3,7	54,9	45,1
Andisol 1	7,1	4,2	2,8	59,9	40,1
Andisol 2	8,7	4,9	3,8	56,0	44,0
Mollisol	27,8	12,9	14,9	46,4	53,6
Solución extractora: H ₂ SO ₄ 1M					
Inceptisol 1	46,4	22,6	23,9	48,6	51,4
Inceptisol 2	34,9	16,7	18,2	47,8	52,2
Inceptisol 3	29,6	9,5	20,1	72,5	27,4
Alfisol 1	40,8	23,7	17,0	58,2	41,8
Alfisol 2	37,4	28,0	9,3	75,0	25,0
Ultisol 1	8,9	8,2	0,7	92,6	7,4
Ultisol 2	14,4	13,2	1,2	91,7	8,3
Andisol 1	32,3	16,2	16,1	50,3	49,7
Andisol 2	56,6	31,6	25,0	55,9	44,1
Mollisol	28,8	22,8	6,0	79,3	20,7
Solución extractora: NaOH 0,5M					
Inceptisol 1	43,7	15,3	28,5	34,9	65,1
Inceptisol 2	31,0	17,9	13,1	57,8	42,2
Inceptisol 3	36,7	26,6	10,1	72,6	27,4
Alfisol 1	33,9	17,9	16,0	52,7	47,3
Alfisol 2	40,9	22,1	18,8	53,9	46,0
Ultisol 1	6,7	4,8	1,9	71,7	28,3
Ultisol 2	7,3	5,3	2,0	72,6	27,4
Andisol 1	27,1	9,3	17,8	34,3	65,7
Andisol 2	47,1	18,2	28,9	38,6	61,4
Mollisol	29,4	17,2	12,3	58,3	41,7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El contenido de fósforo orgánico total se observó muy variado dependiendo de la clase taxonómica del suelo, representando en promedio 37,3 mg kg⁻¹ del fósforo total determinado.
- Tomando el conjunto de todas las muestras de suelos analizadas, el fósforo orgánico lábil se correlacionó positivamente con el fósforo total y el fósforo lábil total, indicando la importante contribución de la fracción orgánica en los suelos tropicales.
- El fósforo orgánico lábil predominó sobre la fracción inorgánica, especialmente en aquellos suelos con mayor grado de intemperismo.
- El conocimiento del comportamiento de las fracciones del fósforo orgánico del suelo, aportará una información importante en lo referente al manejo de la materia orgánica y en la nutrición fosfórica de los cultivos.
- Como el presente trabajo fue realizado en condiciones de laboratorio, se recomienda realizar investigación a nivel de campo, en diferentes condiciones de suelo y clima, buscando confirmar los resultados de disponibilidad de Po encontrados, evaluar sus transformaciones a corto y largo plazo, y el efecto que tiene el uso continuo del suelo sobre este ciclo.

LITERATURA CONSULTADA

- BORNEMISZA, E. and K. IGUE. 1967. Comparison of three methods for determining phosphorus in Costa Rica soils. *Soil Science*, 103: 347-353.
- BOWMAN, R.A. and C.V. COLE. 1978a. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Science*, 125: 49-54.
- BOWMAN, R.A. and C.V. COLE. 1978b. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, 125: 95-101.
- COMISION DE REFORMA AGRARIA. MIDA. 1979. Dirección General de Planificación y Administración. Departamento de Planificación. Evaluación de los recursos agrofísicos de la República de Panamá. Panamá. 102p.

- CONDRON, L.M.; J.O. MOIR; H. TIESSEN and J.W.B. STEWART. 1990. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 1261-1266.
- DALAL, R.C. 1977. Soil organic phosphorus. *Adv. Agron.*, 29: 85-117.
- DIAZ-ROMEY, R. & A. HUNTER. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68p.
- GUERRA, J.G.M. 1993. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Itaguaí, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro. 234p. (Tesis de doctorado).
- GUERRA, J.G.M.; D.L. DE ALMEIDA; G.A. SANTOS y M.S. FERNANDES. 1996. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31: 291-299.
- HENRIQUEZ, C.; J. BRICEÑO y E. MOLINA. 1992. Fraccionamiento de fósforo orgánico en cuatro ordenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16: 195-201.
- MEHTA, N.C.; J.O. LEGG; C.A.I. GORING and C.A. BLACK. 1954. Determination of organic phosphorus in soils. I. Extraction method. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18: 443-449.
- SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy. 4 ed. Blacksburg. SMSS Technical monograph, N° 19. 422p.
- SOLTANPOUR, P.N.; R.L. FOX and R.C. JONES. 1987. A quick method to extract organic phosphorus from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 255-256.
- THIEN, S.J. and R. MYERS. 1992. Determination of bioavailable phosphorus in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 814-818.
- TIESSEN, H. 1989. Methods for characterizing soil phosphorus. In: ANDERSON, J. M. & J. S. INGRAN. eds. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. C.A.B., Wallingford, pp. 113-126.
- TIESSEN, H.; J.W.B. STEWART and C.V. COLE. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 853-858.

WALKER, T.W. and A.F.R. ADAMS. 1959. Studies on soil organic matter. 3. Influence of increased leaching at various stages of weathering on levels of carbon, nitrogen, sulfur, organic and inorganic phosphorus. Soil Science, 87: 1-10.

WALKER, T.W. and A.F.R. ADAMS. 1958. Studies on soil organic. I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur and organic phosphorus in grassland soils. Soil Science, 85: 307-318.

**COMPENDIO DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN
DEL PROGRAMA DE SUELOS DEL IDIAP**

*Estudios de Suelos Ultisoles y Alfisoles
Realizados en las Estaciones Experimentales de
Calabacito, Guarumal y Río Hato.*

Es una publicación del



**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ**

Portada

Alexander V. Hernández M.

Edición

Blanca E. Gómez, M.Sc., Periodismo Agrícola

Revisión

Sandra A. de Millán, Ing.. Agr.

Diseño y Diagramación

Alexander V. Hernández M.

Catalogación en la Fuente

Licda. Omayra H. de Rivera

Impresión y Encuadernación

Gregoria Hurtado

Alexander V. Hernández M.

Compaginación

Rosa Celeste Núñez

Digitalización

Alexander V. Hernández M.

Tiraje

50 ejemplares

**Impreso en el Departamento de Publicaciones
del IDIAP. Nivel Central, Panamá.**

CONTÁCTENOS A NUESTROS CENTROS DE INVESTIGACIÓN

OFICINAS	TELÉFONOS	EMAIL
IDIAP PANAMA	317-0518 /0519 /0520 /0521 FAX 317-0510 /0515)	idiap@idiap.gob.pa
IDIAP DAVID	775-3186	david@idiap.gob.pa
IDIAP BOCAS DEL TORO	758-3427	bocas@idiap.gob.pa
IDIAP DIVISA	976-1168 /1265	divisa@idiap.gob.pa
IDIAP AZUERO	966-8763	azuero@idiap.gob.pa
IDIAP RIO HATO	993-3253	riohato@idiap.gob.pa
IDIAP CHEPO	296-0589	chepo@idiap.gob.pa