

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA

INFLUENCIA DE LA CANTIDAD Y FORMA DE LOS MATERIALES
DE ENMIENDA EN LA RESPUESTA DEL SORGO AL FOSFORO EN
CINCO SUELOS DEL AREA DEL CARIBE

Ing. Agrónomo Ramón E. Tió
M. S. Suelos (Cornell University)
Decano de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional Pedro Henriquez Ureña

1978

Santo Domingo
República Dominicana

INTRODUCCION

Algunos suelos de regiones tropicales se caracterizan por un alto grado de meteorización. Estos suelos, clasificados como oxisoles y ultisoles, han sido expuestos a condiciones de alta temperatura y humedad, lo que acelera las reacciones químicas y bioquímicas envueltas en el proceso de su desarrollo. Un factor adicional es la lixiviación intensiva producida por un gran exceso de la precipitación sobre la evapotranspiración durante ciertos períodos del año.

Como producto de este proceso intensivo de meteorización, tenemos un suelo casi completamente desprovisto de nutrientes minerales y con una gran acumulación de metales pesados. Bajo ciertas condiciones, estos iones metálicos (especialmente aluminio y manganeso) pueden resultar tóxicos para las plantas cuando sus concentraciones en el suelo exceden ciertos niveles de tolerancia.

Otra consecuencia de este proceso de meteorización en el suelo, es la pérdida de minerales fácilmente meteorizables con la consecuente acumulación de minerales más resistentes tales como la caolinita y los sesquióxidos de hierro y aluminio. Estos minerales constituyen el cuerpo central de la fracción mineral de suelos altamente meteorizados.

Como consecuencia de esta acumulación residual de caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio, el comportamiento electroquímico del suelo tiende a ser diferente al del de suelos menos desarrollados en regiones templadas. Este comportamiento electroquímico de suelos altamente meteorizados puede crear problemas de fertilidad que no pueden ser explicados por las teorías usuales de la ciencia del suelo, dado que estas fueron desarrolladas mayormente en regiones templadas.

La pérdida de nutrientes y acumulación de iones tóxicos crea un medio ambiente en el suelo que, en muchos casos, no favorece el desarrollo de los cultivos. Este efecto puede ser identificado en muchos de los problemas de fertilidad de suelo en áreas tropicales.

La fijación por parte del suelo de fertilizantes fosfatados es uno de los más conspicuos problemas de suelo que afecta el desarrollo agrícola en áreas extensas de las regiones tropicales.

La capacidad para fijar fósforo varía entre los suelos y es afectado por varios factores de los mismos. Desafortunadamente para la agricultura tropical, las condiciones bajo las cuales los suelos del área son desarrollados, lo proveen con características que favorecen una alta capacidad de fijación de fósforo.

FIJACION DE FOSFORO EN SUELOS ALTAMENTE METEORIZADOS

El proceso de fijación de fósforo envuelve varios tipos de reacciones, entre las cuales han sido clasificadas las reacciones de adsorción (química y física), reemplazamiento isomórfico y reacciones de doble descomposición, las que consisten en la precipitación de fósforo en el suelo, como compuesto de aluminio, hierro y calcio.

Un segundo tipo de reacciones envuelve el reemplazamiento isomórfico de los iones de sílice de las estructuras cristalinas en los minerales del suelo. Diferentes investigadores han encontrado que la aplicación de iones ortofosfatos a un suelo puede producir el desplazamiento de sílice y la fijación del fósforo agregado.

Como mencionáramos anteriormente, la fijación de fósforo está controlada por muchos factores propios del mismo suelo.

Ha sido demostrada ampliamente una relación directa entre el pH y la adsorción del fósforo. En uno de los trabajos realizados al respecto, Birch indicó que la eficacia de las bases intercambiables en controlar la disponibilidad de fósforo, estaba más relacionada al grado de saturación del sistema de intercambio del suelo con las bases, que la cantidad actual de esas bases en el suelo.

En una revisión más reciente de las investigaciones de este tema realizados en países tropicales, Kamprath encontró que la reducción de la fijación de fósforo en el suelo, haciendo aplicaciones de carbonato cálcico, solamente se obtenía cuando en el suelo se encontraba presente el aluminio intercambiable.

El porcentaje de saturación del sistema de intercambio del suelo con bases, no solamente controla la disponibilidad de fósforo, afectando la actividad del aluminio, sino también controlando la solubilidad de los compuestos de fósforo aplicados al suelo.

En otra serie de trabajos realizados en Hawaii, se encontró que la aplicación de silicatos era más efectiva, reduciendo la fijación de fósforo, por el suelo, a valores bajos de pH que a valores altos. La explicación para este fenómeno es lógica, dada la mayor actividad de los iones de aluminio e hierro a estos valores de pH.

Es razonable asumir que en suelos altamente meteorizados, el efecto del pH (o porcentaje de saturación de bases del sistema de intercambio) sobre la adsorción de fósforo, es en sí un efecto de la actividad de los iones de hierro y aluminio. Sin embargo, no podemos excluir la posibilidad de otro mecanismo envuelto, el cual es el efecto de los iones de calcio en la energía de interacción entre las moléculas de fósforo adsorbido.

La presencia de ciertos tipos de minerales en el suelo es también determinante en la capacidad del suelo para fijar fósforo, relacionado básicamente por parámetros, como es la proporción sílica-asesquióxidos en el suelo.

En investigaciones recientes, Fox pudo determinar que la adsorción de fósforo está muy relacionada con la proporción sílica-sesquióxidos.

Otros investigadores han explicado los procesos de reacción entre el fósforo y los minerales del suelo, atribuyéndoles diferentes tipos de mecanismos, como son reemplazamiento isomórfico de los iones de sílice en la estructura de los minerales, desplazamiento de iones intercambiables de sílice, y reacciones de los iones fosfato en la cobertura amorfa sobre las partículas minerales del suelo. Cada uno de estos mecanismos puede ocurrir, siendo su intensidad determinada por características propias del suelo.

Es bien conocido que los sesquióxidos juegan un papel importante en el mecanismo por el cual el fósforo es fijado en el suelo; sin embargo, hay una marcada diferencia en la efectividad, fijando fósforo de cada uno de estos compuestos, la cual está determinada por las condiciones existentes en el suelo en el momento en que la fijación ocurre.

Por ejemplo, en suelos latosólicos de las islas de Hawaii, la separación de los complejos hidratados del suelo redujo en un 50 a 60% la capacidad de fijación de los mismos, por lo que resulta lógico concluir que en éstos suelos los sesquióxidos de hierro son determinantes en la capacidad de fijación de fósforo.

Los mecanismos por medio de los cuales el fósforo es fijado por los sesquióxidos comprende precipitación química en solución, así como la adsorción en superficie del fósforo. Otros autores han considerado la posibilidad de hidrólisis de fosfato de hierro y aluminio en el suelo, pero con la presencia de iones de hierro y aluminio en la solución del suelo, la precipitación de estos fosfatos es también una posibilidad.

A este punto, los diferentes investigadores de los mecanismos de fijación de fósforo por los sesquióxidos del suelo, no han podido llegar a un acuerdo sobre si ocurre una precipitación o adsorción de los fosfatos de hierro y aluminio en el suelo; sin embargo, existen suficientes evidencias experimentales para indicar la posibilidad de ocurrencia de ambos mecanismos.

Otro factor importante en la fijación de fósforo en el suelo es la naturaleza de los compuestos sólidos de este elemento en contacto con la solución.

La concentración de equilibrio de los iones de fósforo en la solución del suelo está fuertemente influenciada por estos minerales. Como prueba de esto basta referirnos a los trabajos de COLE y JACKSON, en los cuales se muestra que la concentración de equilibrio de fósforo es más alta en un sistema compuesto solamente por Variscita que en un sistema formado por Variscita más Gibsita.

Esto tiene su explicación en el hecho de que la Gibsita (al igual que la Caolinita) son fuentes de aluminio soluble en el suelo, y, dada la relación inversa entre las concentraciones de aluminio y fósforo en la solución del suelo, resulta evidente la reducción observada en el sistema gibsita-variscita.

FIJACION DE FOSFORO Y RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LA APLICACION DE
ESTE ELEMENTO

La fijación de este elemento se torna importante cuando comienza a afectar seriamente la disponibilidad del mismo para las plantas. Muchos investigadores han tratado de establecer niveles a los cuales puede ocurrir una respuesta de los cultivos a las aplicaciones de fósforo.

Entre los niveles más referidos en la literatura, encontramos el de 500 ppm. de fósforo adsorbido y el de 0.2 ppm. de fósforo en el líquido supernatante de una solución suelo-agua.

Otros autores han preferido el uso de métodos indirectos, entre los cuales vale la pena mencionar la medición de factores del suelo que afectan la disponibilidad de fósforo, tales como sesquióxido de hierro y aluminio, o la medición de las concentraciones de otros iones en el suelo, como son hierro soluble en ácido cítrico y sílica soluble en agua.

Existe la necesidad de una determinación efectiva de la posibilidad de respuesta a las aplicaciones de fósforo en suelos altamente meteorizados. La razón es que no todos los suelos de este tipo poseen una alta capacidad para la fijación de fósforo. Como ejemplo podemos citar el trabajo de FOX y su grupo, con algunos suelos lateríticos de la India en los cuales no eran necesarias grandes aplicaciones de este elemento.

Una técnica usada recientemente para obviar el problema de fijación de fósforo en los suelos, es la de satisfacer una gran parte de la capacidad de fijación del fósforo por medio de aplicaciones masivas del elemento. La rentabilidad de esta práctica se basa en el efecto residual del fósforo, cuya duración ha podido comprobarse hasta 9 años después de su aplicación.

En el presente, la mayoría de los países tropicales no poseen los recursos necesarios para saturar los requerimientos de fósforo de sus suelos altamente meteorizados, por lo que debemos encontrar otras posibilidades en las cuales se requieran inversiones menos cuantiosas para resolver el problema de fijación de fósforo.

APLICACIONES DE CARBONATO CALCICO Y SILICATOS CALCICOS A SUELOS ALTAMENTE METEORIZADOS

Es de todos conocido que las aplicaciones de estos compuestos al suelo tienen como finalidad la neutralización de la acidez, la cual en suelos meteorizados está más relacionada con la concentración del ion aluminio que con la concentración del ion hidrógeno.

Con abrumadora evidencia experimental se ha podido determinar que la respuesta de los cultivos a las aplicaciones de estos compuestos se debe a una reducción de la actividad del ion aluminio en el suelo, por lo que resulta lógico la neutralización de la acidez hasta valores de pH donde la actividad del aluminio no resulte perjudicial para el desarrollo de los cultivos. Por esta razón, a valores de pH por encima de 5.5 las aplicaciones de estos compuestos no producen ningún efecto positivo en el desarrollo de los cultivos.

Los efectos beneficiosos de las prácticas de encalado han sido reconocidos por mucho tiempo, y los mismos pueden resumirse como reducción en toxicidad debido a concentraciones altas de manganeso y aluminio, reducción de la capacidad de fijación de fósforo del suelo, aumento de la disponibilidad de calcio y magnesio y aumento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Para los fines del presente trabajo, es de importancia el efecto de aplicaciones del carbonato cálcico y silicato de calcio sobre la capacidad de fijación de fósforo del suelo. Ha sido ampliamente demostrado que esta práctica reduce la capacidad de fijación, reduciendo la actividad de los iones de hierro y aluminio.

Es importante señalar la atención a los trabajos realizados por Davis, en los cuales se demostró que a determinados valores de pH se producía la formación de compuestos ca-fosfato. El pH al cual esta formación es diferente para cada tipo de suelo y en gran parte se encuentra controlado por las concentraciones de iones de calcio y fósforo en la solución del suelo.

El equilibrio de los iones de calcio y fósforo en solución con compuestos sólidos de composición Ca-fosfatos, es un factor determinante en la solubilidad de fertilizantes fosfatados que contienen calcio en su composición. La misma línea de investigación Spurway demostró que la solubilidad de este tipo fertilizante es proporcional a la cantidad aplicada y al porcentaje de saturación de bases del sistema de intercambio.

El comportamiento de los silicatos, al igual que los carbonatos, en el suelo, ha sido estudiado intensivamente. La sílica en el suelo puede encontrarse tanto en forma libre como combinada, constituyendo los iones disueltos de este elemento un soluto de importancia en la solución del suelo.

McKeague y Cline, en investigaciones relativamente recientes, demostraron que la forma monomérica de la sílica ($\text{Si}(\text{OH})_4$) era la forma presente en la solución del suelo, encontrando estos investigadores también la presencia de SiO_2 en solución, variando en un rango de concentración entre 1 y más de 20 ppm. Esta concentración fue mayor con aumentos en la relación suelo-agua, y menor con aumentos el pfi.

SILICATO DE CALCIO Y NUTRICION VEGETAL

Varios investigadores han establecido una larga relación de las diferentes formas en que el sílice en silicatos cálcicos puede actuar beneficiosamente sobre el desarrollo de las plantas. Sin embargo, en trabajos experimentales, en los cuales la eficiencia del carbonato cálcico ha sido comparada con la del silicato cálcico, los resultados, en lo que a aumentos de rendimiento se refiere, no han sido consistentes.

Los trabajos experimentales en los cuales se ha podido detectar un aumento, en los rendimientos de los cultivos con aplicaciones de sílica, se limitan a aquellos realizados en las islas Mariana, Hawaii y algunos casos en Africa del Sur con cultivos de caña de azúcar y maíz.

Debemos hacer notar que la respuesta a sílica se ha obtenido mayormente en suelos de los grandes grupos Alumino-Ferrosos, Húmico-ferrosos y laterales hídricos-húmicos, cuya característica común es su alto contenido de Gibsita.

Considerando la respuesta de los cultivos a las aplicaciones de sílica, Fox determinó que la cantidad de sílica extraída del suelo con agua, era un buen indicador de la cantidad del elemento disponible para las plantas.

En diferentes estudios en suelos latosólicos de Hawaii, se pudo determinar un aumento de producción en pastos Sudan, cuando se hacían aplicaciones tanto de carbonato cálcico como de silicato cálcico. Este aumento solo ocurría cuando el pH del suelo era menor de 6.8. Sin embargo, en investigaciones realizadas en Puerto Rico, usando caña de azúcar como cultivo experimental, no se pudo obtener una respuesta positiva del cultivo a este elemento, aún cuando se determinó una asimilación de sílica por la planta mayor que cualquier otro nutriente.

Es evidente que resultaría muy difícil determinar cualquier efecto específico de sílica per se cuando se hacen aplicaciones de silicatos

cálcidos al suelo. Esto es así debido a que las diferentes formas en que este elemento puede aumentar el rendimiento de los cultivos está relacionada con el pH, fuente de fósforo en el suelo, y concentraciones de aluminio, hierro y manganeso. Sin embargo, no podemos excluir la posibilidad de alguna función específica del sílice en los cultivos.

MATERIALES Y METODOS EXPERIMENTALES

En este trabajo, se utilizaron cinco suelos (tres de la Republica Dominicana y dos de Puerto Rico). Los dos suelos de Puerto Rico: Catalina y Nipe han sido calificados como oxisoles. Los tres suelos de la República Dominicana: Gunumá, Nipe y Jalonga, no han sido clasificados. Sin embargo, la cantidad de información de laboratorio obtenida para este trabajo, junto con las observaciones de campo, permiten una clasificación tentativa del Guanuma y Nipe como Tropetic Haplustox y el suelo Jalonga como Haplustalf.

Como podrá verse en la tabla número 1, las características químicas y física del suelo Guanuma de la República Dominicana corresponden a la característica del orden de los oxisoles. En este suelo, en el primer horizonte (de 0 a 8 pulgadas de profundidad), la saturación del sistema de intercambio con iones de aluminio alcanza solamente a 6.92% mientras que en el siguiente horizonte (de 9 a 24 pulgadas) este ion ocupa 27.58% del sistema de intercambio del suelo.

En la misma tabla también podemos notar que los óxidos de hierro y aluminio ocupan casi un 25% del % correspondiente a la fracción arcillosa del suelo.

El suelo Nipe de República Dominicana muestra características similares, pero con una tendencia del aluminio intercambiable a reducir en concentración a medida que profundizamos en el perfil.

En este suelo, también los óxidos de hierro y aluminio ocupan un 25% de la fracción arcillosa del suelo.

El suelo Jalonga de República Dominicana, varía un poco en sus propiedades con respecto a los suelos anteriores. Es importante notar que en este suelo el aluminio intercambiable no llega a un miliequivalente por 100 gramos de suelo.

TABLA NO. 1.- ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO GUANUMA (TROPEPTIC HAPLURTOX, ARCILLOSO, OXIDICO, ISOHIPERTERMICO) DE LA REPUBLICA DOMINICANA.

PROFUNDIDAD (PULGADAS)	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	Fe_2O_3 %	Al_2O_3 %	pH	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO TOTAL
				% FRACCION ARCILLOSA				
0-8	6.6	16.4	77.4	19.9	5.00	5.1	5.25	.095

PROFUNDIDAD (PULGADAS)	CATIONES INTERCAMBIABLES								ACIDEZ	CIC	ACIDEZ	
	Al	H	Mg	Ca	Na	Mn	K	Fe	TOTAL	CALCULADA	E. (Kc1)	
	----- (Meg/100 grs.) -----											
0-8	.9	.3	.99	1.84	.04	.001	.14	.08	10	13.0	1.2	
9-24	3.2	.4	.46	1.08	.04	.002	.06	.01	10	11.6	3.6	

TABLA NO. 2.- ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO NIPE (TROPEPTIC HAPLURTOX, ARCILLOSO, OXIDICO, ISOHIPERTERMICO) DE REPUBLICA DOMINICANA.

PROFUNDIDAD (PULGADAS)	ARENA %	LIMO %	ARENA %	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	pH	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO TOTAL
				% FRACCION ARCILLOSA				
0-8	20.4	18.6	61.0	18.6	6.40	4.8	3.75	0.100

PROFUNDIDAD (PULGADAS)	CATIONES INTERCAMBIABLES								ACIDEZ TOTAL	CIC CALCULADO	ACIDEZ E.(Kcl)
	Al	H	Mg	Ca	Na	Mn	k	Fe			
	----- (meq./100 gr.) -----										
0-8	1.6	.3	.17	.33	.03	.001	.02	.01	11	11.5	1.9
8-24	1.0	.3	.37	.45	.03	.003	.02	.01	11	11.9	1.3

Las propiedades químicas de los dos suelos de Puerto Rico utilizados han sido publicadas extensivamente en la literatura de la "Ciencia del Suelo".

Los criterios de selección utilizados para la elección de estos cinco suelos se han basado en sus potencialidades para la fijación de fósforo, así como también la posibilidad de poder influir este nivel de fijación por medio de aplicaciones de carbonato cálcico y silicato cálcico.

Procedimientos Generales: Se colectaron muestras de los primeros 20 centímetros de la superficie del suelo, las cuales fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz 0.5 centímetro y mezcladas hasta conseguir la uniformidad del suelo en todas sus partes. De cada suelo se pesaron 26 submuestras de 1000 gramos (peso seco al horno) y se colocaron en tarros de poliestileno.

A cada submuestra se le agregó una solución nutritiva con la siguiente composición: Nitrógeno 200 partes por millón; potasio, 252 partes por millón; una parte aplicada como cloruro de potasio y otra como KH_2PO_4 . El magnesio se aplicó a razón de 100 partes por millón; el zinc, 50 partes por millón; Boro, 2 partes por millón y manganeso 25 partes por millón.

El fósforo se aplicó como uno de los tratamientos experimentales al nivel de 0.15 y 100 partes por millón en soluciones preparadas utilizando KP_2P_0_4 grado analítico. Estos tratamientos son identificados en el siguiente trabajo como P₀ (0Kg/ha), P₁ (33.9 Kg/ha) y P₂ (226 Kg/ha).

Los criterios para la selección de estos niveles de fósforo se basó en las cantidades del elemento aplicadas normalmente en República Dominicana (nivel P₁) e información obtenida en la curva de adsorción de fósforo para los diferentes suelos (nivel P₂).

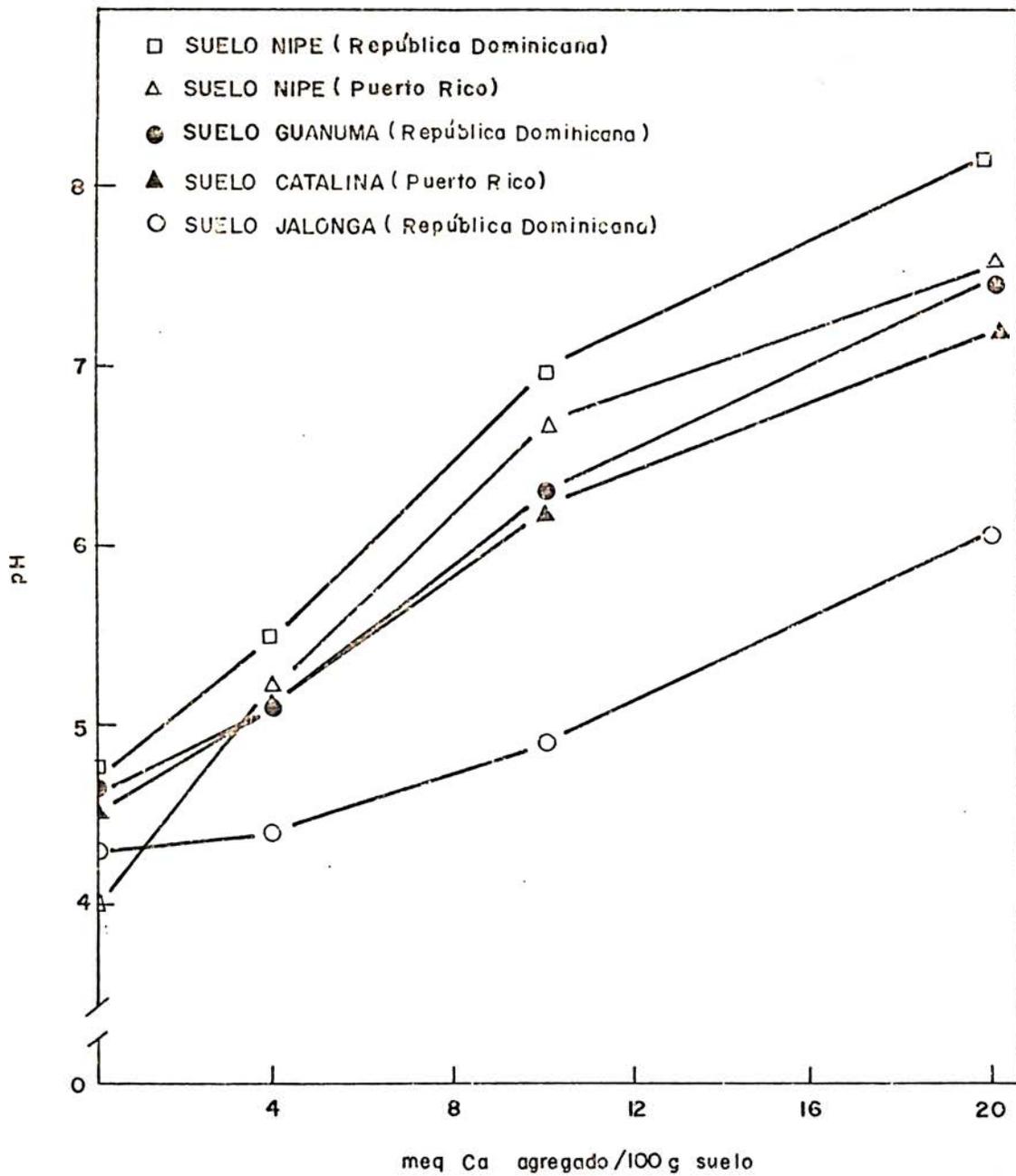


FIGURA I. CURVA DE VALORACION PARA LOS SUELOS ESTUDIADOS.

El segundo grupo de tratamiento estaba formado por tres materiales, los cuales suplen calcio, sílica (o ámbos a la vez). Estos materiales fueron carbonato de calcio químicamente puro, silicato cálcico proveniente de la fabrica de cemento de Hawaii y un producto proveniente de los hornos de la Fábrica Dominicana de Cemento conocido como polvillo. Estos materiales fueron aplicados a niveles de 0.2, 260 y 4,500 Kg/Ha (0,1000 y 2000 partes por millón, respectivamente).

La composición química del silicato cálcico proveniente de la Fábrica de cemento de Hawaii es: sílica 22.12%, calcio 35.15%, Ortofosfato 0.09% y óxido de magnesio 0.90% (esta información fue por comunicación personal con el Dr. J.A. Silva).

La composición del producto proveniente de los hornos de cemento de la República Dominicana es como sigue: silicato 21.41%, óxido de aluminio 5.30%, óxido de hierro 3.66%, óxido de calcio 64.93% y óxido de magnesio 1.10%.

En los tres materiales fueron pasados a través de un tamiz con abertura de 65 mesh para evitar diferencias en solubilidad o diferencia en la velocidad de reacción química, debido a diferencia en el tamaño de las partículas.

Los dos grupos de tratamiento (tratamiento de fósforo y tratamiento de materiales de enmienda) fueron combinados de la siguiente manera: al nivel Po de fósforo no se agregó ningún tipo de material de enmienda; al nivel P1 de fósforo se aplicaron carbonato cálcico y silicato cálcico a sus tres niveles experimentales y al nivel P2 de fósforo se aplicaron el carbonato cálcico, silicato cálcico y el polvillo a sus tres niveles experimentales. Cada uno de estos tratamientos se hizo con dos repeticiones y para cada uno de los cinco suelos envueltos en el estudio, lo que daba un total de 32 tarros por suelo (160 tarros para el experimento completo).

TABLA NO. 3.- ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO JALONGA (VERTIC HAPLUSTALT) DE REPUBLICA DOMINICANA.

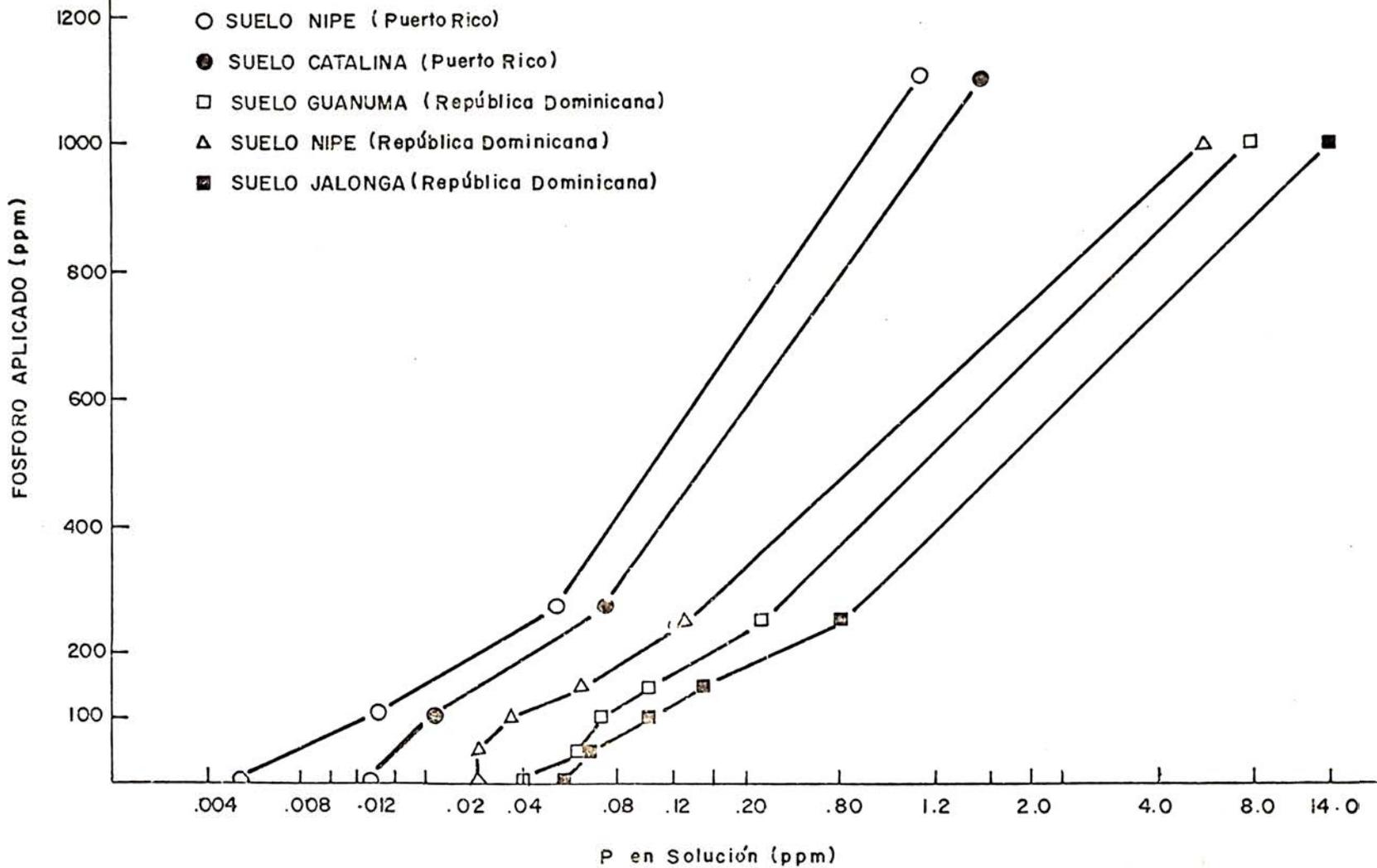
PROFUNDIDAD (PULGADAS)	pH	CARBONO ORGANICO (%)	NITROGENO TOTAL.
0-8	4.9	6.58	.195
8-20	4.9	-	.096

PROFUNDIDAD (PULGADAS)	CATIONES INTERCAMBIABLES								ACIDEZ	CIC	ACIDEZ	
	Al	H	Mg	Ca	Na	Mn	K	Fe	TOTAL	CALCULADO	E. (KCl)	
	(meq./100 Gr.)											
0-8	.3	.1	1.67	9.18	.06	.18	.17	.003	15	25.1	.4	
8-24	.2	.1	.77	7.50	.06	.003	.04	.004	10	18.4	.3	

TABLA NO. 4.- ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS CINCO SUELOS (SUPERFICIE)
USADOS.

SUELO	pH _{HOH}	pH _{HCl}	K ppm	P	AL (meq/100 gr.)	Ca	Mg	SILICA SOLUBLE EN HOH
Guanuma (R.D.)	5.19	4.85	60	4.20	0.50	4.12	1.83	1.272
Catalina(P.R.)	5.05	4.22	197	9.24	0.80	0.92	2.94	1.756
Nipe (R.D.)	5.10	4.20	39	2.16	1.62	1.08	0.85	1.238
Nipe (P.R.)	5.70	5.23	39	6.30	T	1.48	0.57	0.549
Jalonga (R.D.)	5.62	4.90	88	2.80	T	20.40	2.24	3.364

FIGURA: 2 CURVAS DE ADSORCION DE FOSFORO PARA LOS SUELOS ESTUDIADOS.



Una vez mezclados todos los tratamientos y las soluciones nutritivas con las submuestras, se le permitió un período de equilibrio de 6 días antes de proceder a la siembra de 20 semillas de sorgo (híbrido C,61) por tarro, las cuales fueron entresacadas una semana después para dejar en crecimiento un total de 10 plantas por tarro. Los tratamientos fueron cosechados cuatro semanas después de la siembra.

La aplicación de agua a los tarros se hizo bajo absoluto control para evitar la percolación de agua fuera de los tarros. Esto se logró determinando previamente el por ciento de capacidad del campo del suelo y pesando diariamente cada tarro para determinar la pérdida de agua por evapotranspiración, de forma que se aplicara solamente la cantidad de agua que había perdido el suelo.

Una vez cosechadas las plantas, fueron secadas al horno y posteriormente se determinó el peso de materia seca obtenida por tarro en los diferentes tratamientos, al igual que la composición química de las plantas.

A los suelos se les hicieron sus respectivas curvas de adsorción de fósforo (Figura No.1) siguiendo el método escrito por Fox, así como también curva de valoración de pH usando el método descrito por Silva.

Las determinaciones de sílica en los suelos fueron hechas siguiendo el método de Corey y Jackson.

Los cationes intercambiables, así como los valores de pH y el contenido de materia orgánica de los suelos, fueron determinados siguiendo los métodos indicados por la Universidad de Cornell en su boletín No. 960.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Respuestas a las aplicaciones de fósforo: Para tener un mejor entendimiento del efecto del fósforo per se sobre la cantidad de materia cosechada por tarro procederemos a discutir separadamente, utilizando aquellos tratamientos en los cuales no se aplicaron materiales de calcio o sílice.

En todos los suelos hubo una gran respuesta positiva, en la cantidad de materia seca cosechada, y a los incrementos de fósforo aplicado. Esta respuesta varía de suelo a suelo y puede fácilmente ser relacionada con la característica de la curva de adsorción de fósforo del suelo.

En el suelo Guanuma de la República Dominicana pudo comprobarse un incremento de 81% en la materia seca cosechada con referencia al testigo, cuando a este suelo se le aplicaron 33.9 Kg/Ha de fósforo. Este aumento alcanzó a 543% con referencia testigo, cuando se aplicaron 226 Kg/Ha de fósforo (ver tabla No.5).

Observando la curva de adsorción de fósforo de este suelo podemos notar que una aplicación de 33.9 Kg/Ha de fósforo produce un aumento de 0.003 ppm del elemento en solución. Mientras que la aplicación de 226 Kg/Ha aumenta la concentración en solución en 0.023 ppm. sobre la del testigo.

En el suelo Nipe de la República Dominicana se observó la más baja respuesta a las aplicaciones de fósforo. Una aplicación de 33.9 Kg/Ha de este elemento al suelo, solamente produjo un aumento de 64% en relación al testigo. Si observamos la curva de adsorción de fósforo de estos suelos se puede notar que esta aplicación no produce ningún aumento en la concentración de fósforo en solución, por lo que el efecto positivo puede atribuírsele a la reducción del aluminio intercambiable por formación de complejos con el fósforo aplicado.

TABLA NO. 5.- MATERIA SECA COSECHADA (GR./TARRO) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS AL SUELO GUANUMA (REPUBLICA DOMINICANA).

FOSFORO (Kg./Ha)	MATERIAL CALCICO	NIVEL MATERIAL CALCICO (Kg./Ha)		
		0	2260	4520
------(Gr./Tarro)-----				
0	-	.959	-	-
33.9	CaSiO ₃	1.735	2.447	2.065
33.9	CaCO ₃	1.735	1.893	2.030
226.0	Polvillo	6.174	6.830	6.420
226.0	CaSiO ₃	6.174	6.648	7.200
226.0	CaCO ₃	6.174	5.544	6.780

TABLA NO. 6.- MATERIA SECA COSECHADA (GR./TARRO) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS AL SUELO NIPE (REPUBLICA DOMINICANA).

FOSFORO (KG./HA)	MATERIAL CALCICO	NIVEL MATERIAL CALCICO (KG/HA.)		
		0	2260	4520
		------(Gr/Tarro)-----		
0	-	.525		
33.9	CaSiO ₃	.860	1.508	1.652
33.9	CaCO ₃	.860	1.509	1.558
226.0	Polvillo	4.239	5.298	5.370
226.0	CaSiO ₃	4.239	5.621	5.420
226.0	CaCO ₃	4.239	5.595	6.044

A nivel P2 (226 Kg/Ha de fósforo) la respuesta en el suelo Nipe de la República Dominicana fue de 696% con relación al testigo. Observando la curva de adsorción de este suelo podemos notar que esta aplicación si produce un aumento considerable del fósforo en solución (de 0.029 ppm. a 0.040 ppm.).

En el suelo Jalonga de República Dominicana se obtuvo una respuesta de 80% en la cantidad de materia seca producida cuando se aplicaron 33.9 Kg/Ha de fósforo a este suelo. La segunda aplicación (226 Kg/Ha) produjo un incremento de 284% en la cantidad de materia seca cosechada con relación al testigo.

Esta respuesta puede atribuírsele al hecho de que en este suelo existía ya cierta disponibilidad de fósforo lo que no ocurre con los demás bajo estudio.

En el suelo Nipe de Puerto Rico se obtuvo la más baja respuesta a las aplicaciones de fósforo al mismo.

Con la aplicación de 33.9 Kg/Ha del elemento, solamente pudo obtenerse una respuesta de 18% en aumento de materia seca cosechada con relación al testigo. Con la aplicación de 226 Kg/Ha se obtuvo un aumento en la materia seca cosechada de 161%.

En recientes investigaciones en este suelo Ritchey (comunicación personal) encontró que aplicaciones al voleo de fosfato monocálcico producían un aumento en rendimiento de 296% sobre el testigo. Este investigador no logró aumentar los rendimientos incrementando la aplicación de fósforo a 2,712 Kg/Ha.

Los resultados de Ritchey, al igual que los obtenidos en este trabajo, indican que en el suelo Nipe de Puerto Rico existen otros factores limitantes para la producción de cultivo, los cuales resultan ajenos a la capacidad de fijación de fósforo de este suelo.

En el suelo Catalina de Puerto Rico se logró una de las mayores respuestas a las aplicaciones de fósforo al suelo: la aplicación de 33.9 Kg/Ha de fósforo produjo un aumento de rendimiento de 67% sobre el testigo. Una mayor aplicación del elemento (226 Kg/Ha) aumentó esta diferencia a 109%.

En los cinco suelos la respuesta a las aplicaciones de fósforo fueron altamente significativas cuando se analizaron con un test de análisis de varianza (anova). En el suelo Nipe de República Dominicana el valor F para los tratamientos fue de 106.97; en el suelo Guanuma de República Dominicana el valor F de los tratamientos fue de 545.86; en el suelo Nipe de Puerto Rico este valor alcanzó 210.40 y en el suelo Jalonga de República Dominicana se obtuvo un valor F para los tratamientos de 300.84.

En todos los suelos los resultados fueron altamente significativos al nivel de 99% de probabilidad estadística.

TABLA NO. 7.- MATERIA SECA COSECHADA (GR/TARRO) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS AL SUELO JALONGA (REPUBLICA DOMINICANA).

FOSFORO (Kg./Ha)	MATERIAL CALCICO	NIVEL MATERIAL CALCICO (KG./Ha)		
		0	2260	7520
------(Gr./Tarro)-----				
0	-	1.355		
33.9	CaSiO ₃	2.442	2.551	2.760
33.9	CaCO ₃	2.442	2.270	2.475
226.0	Polvillo	6.285	5.790	5.400
226.0	CaSiO ₃	6.285	5.995	6.070
226.0	CaCO ₃	6.285	6.125	5.955

RESPUESTA DE SORGO A LAS APLICACIONES DE CARBONATO CALCICO, SILICATO
CALCICO Y POLVILLO.

Ninguna de las aplicaciones de estos compuestos al suelo Guanuma de la República Dominicana produjeron aumentos significativos en los rendimientos, comparados con el testigo. Sin embargo, en este suelo se pudo observar una tendencia a rendimientos mayores con silicatos cálcicos, especialmente a bajos niveles de aplicación de fósforo (ver tabla No. 5).

La aplicación de 2260 Kg/Ha del polvillo de la Fábrica Dominicana de Cemento, produjo un aumento 0.656 gramos por tarro sobre el tratamiento o aplicación de este material. Este aumento se produjo en el nivel P2 de aplicación de fósforo y pudo determinarse su significación estadística al nivel 1% de probabilidades.

La falta de respuesta a las aplicaciones de carbonato cálcico y silicato cálcico en estos suelos puede atribuirse al bajo contenido de aluminio intercambiable en el mismo.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en el suelo Nipe de la República Dominicana muestra un efecto significativo sobre los rendimientos producidos por los niveles de carbonato cálcico y silicato cálcico, aplicados. Este efecto fue significativo al nivel de 1% de probabilidad estadística.

El análisis también demostró un efecto significativo (al nivel 5% de probabilidad estadística) en la interacción del tratamiento de fósforo con la aplicación de carbonato cálcico o silicato cálcico utilizado.

Al nivel de aplicación de fósforo P1, la adición de 2260 Kg/Ha de los materiales de calcio no tuvieron ningún efecto en los rendimientos; sin embargo, cuando esta aplicación se aumentó a 4520 Kg/Ha se obtuvo un aumento significativo en los rendimientos (5% probabilidad).

TABLA NO. 8.- MATERIA SECA COSECHADA (GR./TARRO) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS AL SUELO NIPE (PUERTO RICO).

FOSFORO (KG./HA)	MATERIAL CALCICO.	NIVEL MATERIAL CALCICO (KG/HA)		
		0	2260	4520
		----- (Gr/Tarro) -----		
0	-	.595		
33.9	CaSiO ₃	.702	.767	.808
33.9	CaCO ₃	.702	.599	.765
226.0	Polvillo	1.554	2.017	1.834
226.0	CaSiO ₃	1.554	1.509	2.340
226.0	CaCO ₃	1.554	2.051	2.255

En este suelo, aplicaciones de 2260 Kg/Ha de carbonato cálcico, silicato cálcico o polvillo al nivel P2 de fósforo, produjeron incrementos significativos de la cantidad de materia seca cosechada (nivel 1% de probabilidad). Este aumento fue con relación al tratamiento en que solo se aplicó el nivel P2 de fósforo, sin materiales de enmienda. Sin embargo, se pudo notar que no existían diferencias significativas en los aumentos producidos por los tres materiales. Tampoco pudo encontrarse ninguna diferencia cuando el nivel de los materiales aplicados se aumentó a 4520 Kg/Ha.

Esta respuesta a los materiales de enmienda podemos atribuirla a la alta concentración de aluminio intercambiable, el cual ocupa un 65.5% del sistema de intercambio de este suelo.

En el suelo Jalonga de la República Dominicana no pudo detectarse ningún efecto significativo en los rendimientos como consecuencia de las aplicaciones de los tres materiales de enmienda. Si nos referimos a la tabla No. 3(propiedades químicas del suelo Jalonga) podemos dar una fácil explicación a este resultado. En estos datos se puede observar que el aluminio intercambiable solo ocupa un 2.57% del sistema de intercambio aún y cuando el pH del suelo es 4.9.

En el suelo Nipe de Puerto Rico pudo observarse un efecto significativo (1% de probabilidad) en la producción de materia seca, con las aplicaciones de carbonato cálcico o silicato cálcico. También pudo encontrarse una interacción significativa entre el tratamiento de fósforo y el nivel de los materiales de calcio utilizados. Esta interacción solo pudo verificarse en el nivel P2 de fósforo, ya que al nivel P1 de este elemento ningún material de calcio produjo aumento significativo en los rendimientos, debido probablemente a una gran deficiencia de fósforo en el suelo.

En este suelo, al nivel P2 de fósforo, se obtuvo un aumento significativo de los rendimientos por tarros cuando se aplicaron 2260 Kg/Ha de carbonato de calcio (32%). Sin embargo, cuando esta aplicación se

TABLA NO. 9.- MATERIA SECA COSECHADA (GR./TARRO) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS AL SUELO CATALINA (PUERTO RICO).

FOSFORO (Kg/Ha)	MATERIAL CALCICO	NIVEL MATERIAL CALCICO (KG/HA)		
		0	2260	4520
		------(Gr/Tarro)-----		
0	-	2.580		
33.9	CaSiO ₃	4.309	4.645	5.705
33.9	CaCO ₃	4.309	4.855	4.245
226.0	Polvillo	7.965	7.855	8.270
226.0	CaSiO ₃	7.965	7.360	8.853
226.0	CaCO ₃	7.965	6.950	8.305

Aumentó a 4520 Kg/Ha no pudo obtenerse ningún aumento sobre el obtenido a la aplicación de 2260 Kg/Ha.

Las aplicaciones de silicato cálcico al nivel P2 de fósforo en este suelo no produjeron ningún efecto significativo cuando se aplicaron 2260 Kg/Ha. Sin embargo, cuando esta cantidad se aumentó 4520 Kg/Ha se produjo un aumento en el rendimiento por tarro con relación al tratamiento donde solo se utilizó el nivel P2 de fósforo. Este aumento fue estadísticamente significativo al nivel de 1% de probabilidad estadística.

Sivarajasingham encontró que en el suelo Nipe de Puerto Rico, los metales pesados se encuentran en cantidad que pueden resultar tóxica para el desarrollo de los cultivos.

El mismo investigador pudo determinar que los óxidos de hierro, especialmente Goethita, ocupa hasta un 48% de la capa superficial del suelo.

En base a estos resultados podemos atribuirle el efecto del carbonato cálcico y silicato cálcico en estos suelos a una reducción en la toxicidad de estos metales pesados, lo que evidentemente se refleja en un aumento de los rendimientos de los cultivos.

En el suelo Catalina no se pudo obtener ningún aumento significativo en los rendimientos de materia seca en las aplicaciones de carbonato cálcico o silicato cálcico. Estos resultados son consistentes con trabajos previos realizados en estos suelos. En investigaciones anteriores, la Universidad de Cornell había comprobado una falta de respuesta del maíz a varios tratamientos de enmienda en estos suelos, lo que fue atribuido al bajo contenido de aluminio intercambiable y a la alta concentración de calcio y magnesio intercambiable.