

ENCALADO Y FERTILIZACION NITROFOSFORADA
EN PAPA (*Solanum tuberosum* L.)

RAUL ANTONIO QUINTANILLA RIVERA

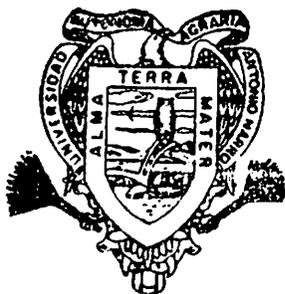
T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN SUELOS

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



B I B L I O T E C A



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
JUNIO DE 1997

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada

como requisito parcial, para optar

al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

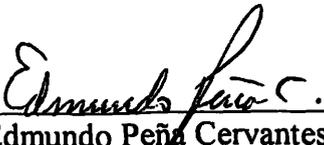
EN SUELOS

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:


M.C. Ricardo Requejo López

Asesor:


Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor:


M.C. Rosalinda Mendoza Villarreal


Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 1997

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido lograr un triunfo más en mi vida, iluminándome el camino y poder alcanzar esta meta.

Al Supremo Gobierno de El Salvador a través del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), que asignó recursos y me contempló dentro de su programa de capacitación de personal científico.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, especialmente al personal de la Subdirección de Postgrado, administrativo, docente y demás colaboradores que integran los Departamentos de Suelos, Estadística y Horticultura.

Al M.C. Ricardo Requejo López, por compartir sus conocimientos como docente, confianza y sugerencias en aporte al desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes, por compartir sus conocimientos como docente y aporte al desarrollo del presente trabajo.

Al M. C. Rosalinda Mendoza Villarreal, por su colaboración de asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez por sus sugerencias, confianza, apoyo logístico y administrativo durante el periodo de estudiante.

Al M.C. Rommel de la Garza Garza por su amistad, docencia y colaboración en el establecimiento del presente trabajo.

DEDICATORIA

A mis Padres:

**Margoth Quintanilla
Pedro Rivera (QEPD)**

*Por su amor incondicional, bendiciones y apoyo moral
para afrontar los retos de esta etapa que culmina*

A mis hijos:

**Oscar Raúl Quintanilla
Fernando José Quintanilla**

*Con todo mi amor, como agradecimiento a su
comprensión por mi ausencia*

A mis hermanos:

**Eduardo, Sonia, Carlos
Oscar, Nelly y Haydee**

*Con mucho amor, por sus atenciones y aliento
al deseo de superación*

A mi Institución

CENTA

*Con mucho cariño por el apoyo otorgado
durante mi especialización en Suelos*

**MI MAS PROFUNDO AGRADECIMIENTO
A TODOS USTEDES**

COMPENDIO

ENCALADO Y FERTILIZACION NITROFOSFORADA EN PAPA

(Solanum tuberosum L.)

Por:

RAUL ANTONIO QUINTANILLA RIVERA

MAESTRIA

SUELOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO DE 1997.

M.C. Ricardo Requejo López - Asesor -

Palabras Clave: Suelo ácido, Encalado, Nitrógeno, Fósforo, Papa.

En el ciclo invierno de 1995 al verano de 1996, se estableció un experimento en uno de los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con la finalidad de evaluar dosis de cal dolomita para disminuir factores limitantes del desarrollo de plantas, cuantificar en suelo y planta el fósforo mineral aplicado, seleccionar fuentes de

nitrógeno mineral que incrementen el rendimiento de papa, sin alterar significativamente el pH del suelo en estudio y determinar el mejor balance nutrimental.

Se utilizó el diseño experimental bloques al azar en arreglo factorial completo irregular: $3 \times 2 \times 2 = 12$ tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluaron: 43, 57 y 71 g de cal dolomita sobre 9.5 kg de suelo respectivamente, niveles de 100 y 200 kg de P_2O_5 ha⁻¹ y 150 kg de N ha⁻¹ en sulfato de amonio y en urea corriente respectivamente.

Se midieron nueve variables en suelo y planta. Lo más sobresaliente fue que la técnica de encalado mejoró características químicas del suelo favorables para las plantas, donde la dosis 43 g cal dolomita por 9.5 kg de suelo ocupó el primer lugar, determinándose en cmol kg⁻¹: 9.60 de calcio, 3.24 de magnesio, 1.28 de acidez intercambiable y pH 6.11, entre otros. El aplicar 100 kg de P_2O_5 ha⁻¹ favoreció su disponibilidad en suelo y planta, pero no se presentó respuesta en rendimiento de tuberculillo a una fertilización más intensa. La utilización de nitrógeno como NH_2-N , produjo un incremento ligero mayor de tuberculillo con 80.93 g por planta y 10.76 por ciento de materia seca, además conservó ligeramente el pH del suelo, mientras la fuente NH_4-N lo disminuyó significativamente. Según DRIS, se obtiene mejor balance nutrimental con tratamiento: dosis baja de cal y alta de fósforo con NH_4-N .

En virtud de la naturaleza de esta investigación, se sugiere un siguiente trabajo, utilizando otra especie vegetal como planta indicadora, adicionar el potasio como factor de estudio y realizarlo en campo, donde se incluya el análisis económico.

ABSTRACT

Liming and nitrophosphorus fertilizer in potato

(Solanum tuberosum L.)

By:

RAUL ANTONIO QUINTANILLA RIVERA

MASTER OF SCIENCE

SOILS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, JUNE 1997.

M.C. Ricardo Requejo López - Advisor -

Key words: Liming, acid soil, nitrogen, phosphorus, potato.

This research was carried in Spring of 1995 to Summer of 1996, in a greenhouse of the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, with the following objectives: liming level uptake can to determine for factors to decrease its development the plants limits, to efficiency in soil and plant the fertilizer phosphorus and to choose

sources of mineral nitrogen to increase yield of potato without affecting pH of soil significantly and it to determine the major nutrient balance.

It was used hazard block experimental design factors arrangement irregular complete: $3 \times 2 \times 2 = 12$ treatments with four repetitions adding up 48 experiment units. First factor was levels: 43, 57 and 71 g lime ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) per 9.5 kg soil respectively, second factor was level 100 and 200 kg P_2O_5 per hectare and last factor was 150 kg N per hectare of ammonium sulfate and common urea respectively.

Nine variables in soil and plant were measured. The most important fact was its technic of liming got major chemical characteristic of soil that help plants, with optimal level 43 g lime per 9.5 kg soil as best was in cmol kg^{-1} determined: calcium = 9.60, acidity= 1.28, magnesium = 3.24 and pH 6.11. Applying 100 kg P_2O_5 per hectare protect its available in soil than high level, however it not was presented its responses in yield of tuber to fertilization more intense. Using nitrogen source $\text{NH}_2\text{-N}$ obtained its a major high yield of 80.93 g per plant with 10.76 per cent the dry matter, besides kept higher pH of soil while source of nitrogen $\text{NH}_4\text{-N}$ decreased significantly. According DRIS, the treatment: low level liming and phosphorus high with $\text{NH}_4\text{-N}$ is get up it major nutrient balance.

For the nature of research present it is suggested a next work using other vegetable species as indicator plant, adding potassium as factor of study and carried on it the field where its will include the economic analysis.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
Indice de cuadros	xi
Indice de figuras.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	4
Toxicidad de Aluminio	4
Causas de Acidificación.....	6
Cultivos en Suelos Acidos.....	6
Materiales para Encalado	7
Necesidades de Cal y pH.....	9
Fósforo en Suelos Acidos.....	11
Acidez por Abonos Nitrogenados.....	13
Nutrición de la Papa.....	15
Interpretación de Datos Observados.....	18
MATERIALES Y METODOS	19
Descripción del Sitio Experimental.....	19
Localización del Experimento.....	19
Condiciones del Invernadero	20
Suelo	20
Descripción del Experimento.....	22
Factores y Niveles de Estudio.....	22
Diseño Experimental	23
Diseño de Tratamientos.....	23
Unidad Experimental.....	24
Descripción del Material de Encalado.....	24
Descripción del Material Vegetativo.....	25
Descripción del Material Fertilizante	26
Conducción del Experimento	26
Cronología.....	26
Preparación del Suelo.....	27
Encalado	27
Siembra y Fertilización.....	27
Protección Vegetal.....	28
Riego	28
Cosecha	28
Variables Medidas.....	29
Análisis de suelo y planta.....	29

Determinación de Materia Seca	29
Determinación de Rendimiento	29
Análisis DRIS	30
Cálculo de Valores de Función	30
Cálculo de Valores Indices	31
Valores Indices de Relaciones Inversas	31
Valor de Función para Materia Seca	31
Indice para Materia Seca	32
Combinación de Relaciones de Funciones	32
Valores Indices de M-DRIS.....	32
Análisis Estadístico	33
Modelo Estadístico	33
Prueba de Rango Múltiple	34
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 35
Análisis Estadístico	35
pH	35
Nitrógeno Total	40
Fósforo	44
Potasio	47
Calcio	49
Magnesio	52
Acidez Intercambiable (H + Al).....	53
Materia Seca.....	55
Rendimiento	55
Estado Nutricional	56
 CONCLUSIONES.....	 59
 RESUMEN.....	 60
 LITERATURA CITADA.....	 62
 APENDICE.....	 65

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1	Resultados de análisis en primera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996 22
3.2	Factores y niveles de estudio en experimento de papa. UAAAN. 1996..... 23
3.3	Valores codificados y reales de tratamientos en experimento de papa. UAAAN. 1996..... 24
4.1	Cuadros medios y de significancia estadística de variables medidas en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996. 36
4.2	Efecto del encalado y prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996. 36
4.3	Cuadros medios y significancia estadística para variables medidas en plantas del experimento de papa. UAAAN. 1996. 37
4.4	Medias observadas y prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en plantas del experimento en papa. UAAAN 1996..... 39
4.5	Cuadros medios y significancia estadística para variables medidas en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996..... 39
4.6	Prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996. 41
4.7	Concentración de datos obtenidos mediante análisis DRIS en experimento de papa. UAAAN. 1996. 43
4.8	Análisis de varianza para probar la hipótesis $H_0: \beta_1 = 0$ contra $H_a: \beta_1 \neq 0$ Experimento de papa. UAAAN. 1996..... 52
A.1	Efecto del encalado sobre pH mediante incubación del suelo. UAAAN. 1995..... 66
A.2	Descripción cronológica de principales actividades realizadas durante el desarrollo del experimento de papa. UAAAN. 1996. 67
A.3	Descripción de métodos empleados en análisis de suelos en experimento de papa. 1996..... 68

A.4	Descripción de métodos empleados en análisis de tejido vegetal en experimento de papa. 1996.....	69
A.5	Normas DRIS para papa (Según Beverly, 1991).....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
4.1	Comportamiento de cal dolomita sobre el pH en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.....	38
4.2	Comportamiento de fuentes nitrogenadas sobre pH en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.....	38
4.3	Comportamiento del fósforo residual en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.	45
4.4	Línea de regresión para pH del suelo en respuesta al encalado en experimento de papa. UAAAN. 1996.	51

INTRODUCCION

Los suelos de áreas tropicales húmedas se encuentran sometidos a altas temperaturas, a un exceso de lluvia y meteorización, lo que resulta en una acidificación creciente, presentando problemas de fertilidad que en general han restringido el desarrollo de una agricultura exitosamente económica en las áreas donde se encuentran.

Sin embargo, cada día es mayor la necesidad de producir más alimentos para una población mundial que se multiplica en relación geométrica, pero los suelos agrícolas son cada vez más escasos. Por consiguiente, la labor de los investigadores de suelos es inconmensurable.

La siembra en suelos con pH menor a 5.0 aumenta la inversión en insumos como fertilizantes y otros agroquímicos, por esto la investigación debería enfocarse hacia la búsqueda de alternativas tecnológicas de mejoramiento hacia la reacción del suelo y adaptación de cultivares a este medio.

La papa es una de las principales hortalizas producidas en México y El Salvador, entre otras. Para el primero, en 1995 la producción nacional total fue de 1,361,110 ton, en una superficie de 74,720 ha con un rendimiento de 18.20 ton ha⁻¹ y un consumo per cápita de 10 a 12 kg anuales.

Los suelos tropicales se caracterizan por presentar cargas negativas en la superficie de los coloides: arcilla y materia orgánica, las cuales atrapan iones de cargas positivas (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ y Al^{3+}). La filosofía de la fertilidad del suelo es definida como el manejo de cargas negativas y positivas del suelo (Pavan y Torres, 1995).

La aplicación de cal agrícola forma parte de prácticas agrícolas para mantener la fertilidad del suelo con el fin de obtener mejores cosechas (Aguilar *et al.* 1994).

Se considera que la planta de papa no posee facultad de liberar exudados en sus raíces y aprovechar nutrimentos de la solución del suelo, haciendo importante el estudiar detalladamente esta interrelación, así como identificar las características del suelo relacionadas con su fertilidad. Lo expuesto anteriormente y debido a su importancia, fue motivo para realizar el presente estudio metodológico cuyos objetivos son los siguientes:

- Evaluar dosis de cal dolomita en suelo ácido para disminuir factores limitantes del desarrollo de plantas de papa.
- Cuantificar en suelo y planta, la disponibilidad de fósforo mineral aplicado a suelo encalado y su efecto en plantas.
- Seleccionar fuentes de nitrógeno mineral que incrementen el rendimiento sin alterar significativamente al pH del suelo.

- Determinar el mejor(s) balance nutrimental como efecto de los factores de estudio.

Para el logro de los objetivos antes mencionados, se planteó la hipótesis de trabajo siguiente:

- Si el encalado en suelos ácidos está dirigido hacia la neutralización de la acidez intercambiable ($H + Al$) y que a su vez mejora la fertilidad del mismo. Entonces habrá mayor aprovechamiento del fósforo y nitrógeno mineral aplicado para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas.

REVISION DE LITERATURA

Toxicidad de Aluminio

Abruña *et al.* (1970), determinaron en suelos ácidos que el aluminio es el principal responsable de la reducción del rendimiento en algunas solanáceas por su toxicidad, cuando se encuentra en alta concentración en la solución del suelo; además, el crecimiento deficiente también puede deberse a deficiencias directas de calcio o magnesio. Cuando el aluminio se precipitó por encalamiento a un pH de 4.6 con CaCO_3 , el crecimiento de las raíces prosiguió normalmente.

Boul *et al.* (1975), indican que la saturación de aluminio mayor que el 60 por ciento es tóxico para la mayoría de los cultivos. La saturación con aluminio aumenta cuando disminuye la cantidad de los otros cationes, ejemplo suelos latosólicos de Brasil con 0.6 meq Al/100 g puede representar más de 35 por ciento de saturación. Los suelos ácidos son, como regla general de baja fertilidad, principalmente son bajos en calcio.

López y Cox (1977), verificaron en 518 muestras de suelo en Brasil, que el contenido medio de Al^{3+} cambiante era 0.56 meq/100 g y la saturación con aluminio era 59 por ciento, debido a la cantidad baja de bases.

Valente (1987), indica que en las regiones en donde la precipitación supera la evapotranspiración, las sales solubles y los cationes son lavados del suelo. Los cationes básicos son sustituidos por H^+ y el suelo se vuelve ácido. En medio ácido, los minerales del suelo son inestables y liberan aluminio. La cantidad de aluminio es determinada por medio de la extracción con una solución 1.0 M de KCl y se expresa en por ciento de saturación.

Tisdale y Nelson (1991), indican que la solubilidad del aluminio, hierro y manganeso, aumenta cuando aumenta la acidez del suelo.

Foth (1992), señala que el elevado contenido de aluminio intercambiable restringe el crecimiento de las raíces en muchos subsuelos. Las plantas, aun las variedades de la misma especie, muestran diferencias en tolerancia de altas concentraciones de aluminio, hierro o manganeso, así como otras condiciones del suelo asociadas con el pH del mismo. Ello da origen a preferencias de las plantas por cierto pH del suelo.

Fassbender y Bornemisza (1994), manifiestan que el factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad del Al, particularmente cuando el pH es inferior a 5.0.

Sánchez (1981), señala que los problemas de acidez del suelo están asociados con niveles de pH menores de 5.5 y la presencia de aluminio intercambiable en el suelo. El nivel de Al intercambiable puede ser tolerable por cultivos específicos o variedades.

Causas de Acidificación

Palmer y Troeh (1970), consideran que la lixiviación en zonas húmedas se traduce en la pérdida de cationes básicos como Ca^{++} y Mg^{++} y su sustitución con H^+ . Así el porcentaje relativo de iones H^+ aumenta y el suelo se vuelve ácido, con $\text{pH} \leq 4.0$.

Aguilar *et al.* (1994), reportan como origen de la acidez del suelo: material parental según su relación de Al: (Ca + Mg + K), lixiviación de bases intercambiables del suelo, remoción de Ca, Mg, K, por los cultivos, descomposición de materia orgánica del suelo, uso de fertilizantes, acidez generada por las raíces y lluvia ácida.

Fassbender y Bornemisza (1994), manifiestan que en áreas tropicales húmedas, particularmente cuando se practica una agricultura intensiva, la acidificación progresiva de los suelos se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) por iones H y Al. Este reemplazo resulta de la percolación de agua, extracción de los cationes cambiables y uso de abonos de carácter ácido.

Cultivos en Suelos Ácidos

Gaucher (1971), señala que la actitud de una absorción preferentemente de nitrógeno amoniacal, depende del metabolismo de la planta y de su edad. En estado joven, los vegetales asimilan mejor el ion amonio con determinado pH en el suelo.

Núñez (1985), determinó que la superficie total de suelos ácidos en México es de 13,128,300 ha, equivalente al 6.69 por ciento del territorio nacional. Se localizan en la zona intertropical, con abundante precipitación pluvial, que atraviesa el país desde los Tuxtlas hasta Nayarit y Colima. Otros en zona lluviosa de Tabasco, Chiapas y Sur de Veracruz. Dedicados a cultivos de pastizales, café, cacao, arroz, yuca, plátano, caña de azúcar y piña. Los de zona templada se dedican a bosques de coníferas, maíz y papa.

Simpson (1991), menciona que los cultivos de raíces y de brassicas que crecen en suelos ácidos sin realizar encalado, se enanizan y mueren muchas plantas, pudiendo deberse a la fijación de fósforo que es muy intensa. Bordes de hojas se doblan hacia adelante y pueden volverse amarillas, debido a una escasa mineralización del N orgánico.

Materiales para Encalado

Cepeda (1991), indica que cuando se aplica una base al suelo los iones H^+ de la micela son sustituidos por los cationes de la base y pasan a la solución del suelo donde reaccionan con iones OH^- para formar agua. Los cambios de pH del suelo deben hacerse en forma gradual y un tiempo en el que el trastorno biológico sea el menos grave, o sea que no halla cultivo. Es necesario considerar propiedades del suelo, como la cantidad y naturaleza de la arcilla, también considerar el contenido de materia orgánica.

Simpson (1991), menciona que la caliza dolomítica ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) evita la carencia de magnesio en los cultivos. El encalado tiene como objetivo elevar el pH del suelo hasta un valor óptimo para los cultivos a sembrar, debido a las pérdidas de calcio y magnesio por lavado y la absorción por los cultivos; es necesario mantener el nivel de cal mediante aplicaciones periódicas. Aplicaciones de 5.0 a 5.5 ton/ha de caliza molida cada tres a cuatro años para suelos arenosos y cada cinco a seis años para suelos arcillosos.

Tisdale y Nelson (1991), indican que la reacción de la cal, está relacionada con el tamaño de las partículas individuales. Si son gruesas, la reacción será lenta, pero si son finas la reacción puede ser muy extensa, y requiere de dos a seis meses para reaccionar con el suelo. Su reactividad se determina por su pureza, tamaño de las partículas, dureza y su contenido de magnesio. El efecto de la cal sobre la disponibilidad del fosfato y de los microelementos, nitrificación, fijación de nitrógeno y estructura del suelo, influencia de muchas maneras la producción de los cultivos. En regiones húmedas y suelos de textura gruesa, el uso de materiales con alto contenido de calcio, pueden dar como resultado un desfavorable equilibrio de Ca-Mg y un desarrollo consecuente de síntomas de deficiencia de Mg en ciertos cultivos en crecimiento sobre estos suelos.

Foth (1992), señala que cuando se añade una base al suelo ácido el H^+ en solución es neutralizado y se ioniza algo de hidrógeno intercambiable para restablecer el equilibrio y el pH aumenta lentamente. La resistencia del pH del suelo al cambio, da origen al fenómeno de amortiguación. Los suelos que tienen mayor capacidad de intercambio de cationes presentan más resistencia a los cambios de pH.

Pavan y Torres (1995), señalan que con el empleo de materiales alcalinizantes es posible neutralizar los iones H^+ asociados a las cargas negativas de la materia orgánica, los cuales pueden ser sustituidos por cationes básicos (Ca^{++} y Mg^{++}) aportados en cal dolomita, en práctica de encalado. De esta manera se puede recuperar la capacidad productiva de suelos fuertemente ácidos.

Necesidades de Cal y pH

Fassbender y Molina (1969), determinaron que el carbonato de $Ca + Mg$ en el nivel 5.25 meq/100 g suelo, más 400 ppm de P_2O_5 produjo más materia seca (13.25 g por planta de tomate). Si se usa solo $CaCO_3$, se suprime la absorción de Mg a causa del antagonismo por la relación Ca/Mg . El cambio de pH 5.1 a 5.6 se logra al aplicar cal en dosis de 16 meq $Ca + Mg/100$ g suelo, esto se explica en base a formación de cargas electronegativas dependientes del pH en la materia orgánica, arcilla e hidróxidos.

Jones *et al.* (1991), mencionan que la adición de materiales de encalado tiende a aumentar concentraciones de: Ca , Mg (si es cal dolomítica) y Mo , mientras las concentraciones de Al , B , Cu , Fe , Mn , Na y Zn decrecen. Los efectos sobre el N , P y K , varía dependiendo de las características del suelo original (pH) y de la planta.

Palmer y Troeh (1970), consideran que tanto el conocimiento de intercambio de cationes como el porcentaje de saturación de bases y el pH, resultan necesarios para

poder calcular la cantidad de CaCO_3 requerida para elevar el pH a lo deseado.

Sánchez (1981), determinó que por cada miliequivalente de aluminio intercambiable presente, debe aplicarse 1.5 meq de Ca o 1.65 ton/ha del equivalente de CaCO_3 . La aplicación de este concepto ha reducido considerablemente las dosis de encalado en suelos: Oxisoles y Ultisoles, bajos en capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE). Casos donde hay presentes de 1.0 a 3.0 meq de Al intercambiable, la aplicación de cal es ahora del orden de 1.6 a 5.0 ton/ha.

Finck (1987), estima que la reacción óptima del suelo (pH), es más bien el resultado de una relación de equilibrio entre los diversos óptimos de factores relacionados con la disponibilidad de los nutrimentos en la solución del suelo y liberar diversas formas de disponibilidad de los nutrimentos para las plantas. La patata se considera que es una planta acidófila o sea sensible a la cal.

Simpson (1991), menciona que la cantidad de cal necesaria para elevar el pH al valor deseable de un determinado sistema de cultivo depende de su pH actual y de su capacidad de intercambio catiónico, la que a su vez, es regulada por las cantidades y por el tipo de arcilla y materia orgánica que contiene. El encalado debe tener como objeto, elevar el pH del suelo.

Castañón (1993), considera que la modificación de la capa arable de un terreno, con pH 5.0 a pH 5.5 para un suelo migajón-limoso, se consigue mediante

aplicación de cal agrícola, aplicando necesariamente 6,272 kg de cal por hectárea para modificar la acidez del suelo.

Foth (1992), señala que la acidez del suelo se debe en gran parte a los ácidos de las arcillas coloidales, es esencial que la cal quede en contacto en cuanto sea posible con todas las partículas del suelo para mejores reacciones químicas.

Wild (1992), sugiere para determinar necesidades de cal (meq CaCO_3 /100 g de suelo) = [Al intercambiable inicial - % residual de Al (Al + Ca + Mg intercambiable)], para cuatro suelos Ultisoles de Carolina del Norte y determinado por incubación.

Fósforo en Suelos Acidos

Alvarado y Cajuste (1996), experimentaron en dos suelos de Ario de Rosales, Michoacán, México. Primer suelo con pH 5.7 y capacidad de retención de P=88 por ciento, segundo suelo con pH 6.2 y capacidad de retención de P=75 por ciento. Determinaron efecto significativo para fuente de cal y aplicación de P sobre el rendimiento de materia seca en Rye grass, además, para P residual en el suelo.

Arca (1987), menciona que en el trópico se ha logrado incrementar el rendimiento de los cultivos como respuesta a la aplicación de P en suelos encalados, debido a que la cal incrementa los valores de pH y con esto disminuye la capacidad de

retención de P por parte de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

Hojito *et al.* (1987), argumentan que la dosis extrema de cal conduce a alta presencia de Ca^{++} en el suelo, esto contrarresta el efecto del incremento de pH en el suelo sobre la retención de P, debido a formación de fosfato de calcio.

Valente (1987), confirma que la mayoría de suelos ácidos, con altos contenidos de aluminio son bajos en P y éste debe ser aplicado. Cuando se aplicó P, el Al activo se perdió de la solución, lo que explica la menor toxicidad del Al en la solución nutritiva. La precipitación de fosfatos de Al disminuye substancialmente la concentración de P en la solución y la deficiencia de P puede enmascarar el efecto del Al tóxico.

Cepeda (1991), menciona que la cal hace más aprovechable al fósforo. Esto sucede principalmente, porque en los suelos ácidos el fósforo es fijado por el hierro y el aluminio solubles. El encalado reduce la solubilidad de ambos y por consiguiente, retiene menor cantidad de fósforo en aquellas formas insolubles e inaprovechables.

Tisdale y Nelson (1991), indican que con valores bajos de pH en suelos ricos en aluminio y hierro, los fosfatos son convertidos a menos disponibles a causa de su reacción en estos compuestos. La adición de cal a estos suelos inactiva al hierro y al aluminio, aumentando así el nivel de fósforo disponible para las plantas. Si el pH del suelo es aumentado mucho por exceso de cal, la disponibilidad del fosfato será disminuida de nuevo, a causa de su precipitación como fosfato cálcico o magnésico.

Bonilla (1993), menciona que la deficiencia de fósforo se confirma estudiando los resultados de análisis de suelo, donde puede observarse que los suelos Oxisoles y Ultisoles son extremadamente deficientes en fósforo aprovechable (< 11.0 ppm), extraído mediante la solución extractora de Carolina del Norte o de Mehlich.

Bertsch (1995), manifiesta que el P-soluble en la solución del suelo es del orden de 0.2 ppm y se presenta en dos formas aniónicas (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), variando su predominancia según el pH del suelo. Entre pH 2.0 y 7.0 , predomina la forma H_2PO_4^- correspondiente a suelos tropicales.

Acidez por Abonos Nitrogenados

Gaucher (1971), señala que debe observarse que la absorción del N en forma de iones NH_4^+ , reduce por antagonismo la concentración en la planta de los otros cationes, particularmente Ca^{++} y Mg^{++} . La forma nítrica no tiene el mismo efecto.

Jones *et al.* (1991), experimentaron en naranja Washington, fertilización con sulfato de amonio por 19 años, resultando un pH de 4.5 en el suelo.

Simpson (1991), menciona que los abonos nitrogenados que contienen compuestos de amonio acidifican el suelo. La urea y el amoniaco, son transformados rápidamente a la forma amónica y producen cierta acidificación del suelo. La acidez es

debida a la liberación de iones hidrógeno en el suelo durante el proceso de conversión del amoníaco en nitrato por acción de la bacteria nitrificante.

Tisdale y Nelson (1991), indican que la mayoría de organismos responsables de la conversión de amoníaco a nitratos requiere grandes cantidades de calcio activo, favoreciendo la nitrificación a un pH de 6.0 a 6.5. La descomposición de residuos de plantas y degradación de la materia orgánica del suelo son también más rápidos que en suelos ácidos. El nivel aumentado de nitrógeno del suelo conduce a un alto contenido de materia estable orgánica y a un aumento general en el estado de fertilidad de la tierra.

Foth (1992), considera que la disponibilidad de nitrógeno en los suelos está relacionada con el efecto del pH sobre la descomposición de la materia orgánica.

Bohn *et al.* (1993), señalan que genera menos acidez el NH_4NO_3 por unidad de nitrógeno que el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, debido a que solo la mitad del N presente en el NH_4NO_3 se puede oxidar posteriormente. El uso continuo de fertilizantes amoniacaes puede producir condiciones ácidas mediante la intervención de los microorganismos que propician la siguiente reacción: $\text{NH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$.

Cao y Tibbitts (1994), experimentalmente encontraron que la papa desarrolla similarmente en suelo con pH 4.5 a 7.0. Las concentraciones de P en brotes fueron extraordinariamente altas en pH 7.0 y 7.5 con una u otra forma de N. Sin embargo, con NO_3^- a pH de 7.0 presentaron clorosis y tallos cortos, con nitrógeno foliar de solamente

46.9 mg g⁻¹, lo que supone una posible deficiencia más que una toxicidad. Ambas formas de N redujeron significativamente concentraciones de Ca en brotes. Las plantas de papa pueden utilizar cualquiera de las formas NO₃⁻ ó NH₄⁺ como sus fuentes de N.

Fassbender y Bornemisza (1994), manifiestan que como resultado del abonamiento pueden producirse en el suelo ácidos fuertes, como los ácidos nítrico y sulfúrico, los que pueden formarse cuando se usa el sulfato de amonio. Este se nitrifica según la reacción: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 4\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$. Produciendo tanta acidez que para su neutralización se requieren 5.35 de CaCO₃ por cada kg de N aplicado.

Nutrición de la Papa

Gaucher (1971), señala que todas las plantas superiores necesitan para desarrollarse el N en forma mineral y generalmente nítrica. Sin embargo, está probado que el N amoniacal también puede ser usado directamente por ellas, sin que sea necesaria la nitrificación.

En la revista: Potash y Phosphate Institute (1988), se señala que cultivos como papa y soya, pueden verse afectados por enfermedades y/o deficiencias de micronutrientes si el pH del suelo es menor o mayor que los requerimientos individuales, sin importar la zona geográfica. Valores de pH del suelo alejados del rango óptimo reducen la disponibilidad de nutrientes, tales como: P y Mo.

Micro-Macro Publishing (1991), menciona las formas disponibles de N en el suelo para la absorción de raíces: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+).

Jones *et al.* (1991), reportan porcentajes suficientes de elementos nutrimentales encontrados en hojas completamente recién desarrolladas de papa: N=4.5 - 6.0, P=0.29 - 0.50, K=9.30 - 11.50, Ca=0.76 - 1.0 y Mg=1.0 - 1.2. La frecuente aplicación de nitrógeno con fósforo, aumenta la concentración de P en plantas, pero el incremento varía con el tipo de N y condiciones del suelo. Generalmente, los incrementos de P son mayores con $\text{NH}_4\text{-N}$ que con $\text{NO}_3^- \text{-N}$. Además compararon el crecimiento de plantas de patata a 5°C y 29 °C, donde los contenidos de P, K, Ca, Mg, Mn y Fe fueron muy altos en brotes de plantas en condiciones de alta temperatura. Sin embargo, solamente el contenido de P en raíces se presentó altísimo a muy alta temperatura.

Salisbury y Ross (1994), indican que del 15 al 20 por ciento de las plantas no leñosas consiste en elementos nutrimentales y el resto es agua. Las muestras vegetales se calientan de 70°C a 80°C durante uno o dos días para eliminarles casi toda el agua.

Simpson (1991), menciona que los abonos amoniacales aplicados antes de siembra de patatas, al principio tendrán un efecto significativo mucho mayor.

Foth (1992), considera que un pH de alrededor de 6.5 es favorable para la disponibilidad de nutrientes para las plantas en conjunto. Es preciso el mantenimiento de un 10 por ciento aproximado de acidez de suelos para controlar la roña de las patatas.

Castaños (1993), recomienda en suelos con contenido por debajo de 18 ppm: aplicar 135 kg de P_2O_5 por ha, en banda a 5.0 cm debajo de los tubérculos. Las dosis más comunes varían de 170 a 340 kg de nitrógeno por ha. Los muestreos foliares deben hacerse: al inicio, mediados y finales de temporada, obteniendo el pecíolo de la cuarta hoja a partir del punto de crecimiento.

Porta *et al.* (1994), consideran que las patatas crecen mejor en suelos ligeramente ácidos, dado que en estas condiciones de medio disminuye el desarrollo de enfermedades provocados por actinomicetes.

Pavan y Torres (1995), señalan que la filosofía de la fertilidad del suelo es definida como el manejo de las cargas negativas y positivas del suelo. En pH ácido, la capacidad de intercambio catiónico total (CICT), en gran parte está compuesta por cationes ácidos ($H^+ + Al^{3+}$) y con un contenido menor de cationes básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+); con el incremento en los valores de pH se mejoran los contenidos en la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) y disminuyen de esta manera los niveles en la acidez de reserva. Con los aumentos del pH también se logra mejorar los contenidos en la CICE, a tal grado que puede estar representado en la totalidad de la CICT, trasladándose al suelo la característica de poseer mayor productividad.

Interpretación de Datos Observados

Núñez (1985), describe enfoques para interpretar resultados de análisis vegetal, como valor crítico e intervalo de suficiencia, índice de balance de Kenworthy y DRIS.

Beverly (1991), describe el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS), como un método de interpretación del contenido nutrimental en tejido vegetal y fue desarrollado por Beaufils en 1973. Ha sido determinado para proveer confianza en los diagnósticos rápidos de cosechas agronómicas y huertos, aplicable en cualquier lugar.

Navvabzdeh y Malakouti (1993), preliminarmente determinaron normas DRIS para papa, desarrollados en 1991 en Damavand, a 70 km Noroeste de Teherán, cultivos de patata de 50 ranchos en estado de prefloración fueron muestreados y que tuvieron alto rendimiento; encontrándose concentraciones de: N=5.22, P=0.38, K=4.20, Ca=1.50 y Mg=0.65 por ciento respectivamente, y concentraciones para: Fe=150, Mn=50, Zn=40, Cu=11 y B=38 ppm respectivamente.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó durante el ciclo de invierno de 1995 al verano de 1996, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Descripción del Sitio Experimental

Localización del Experimento

La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se encuentra ubicada en Buenavista a 7.0 km al sur de la ciudad de Saltillo, la cual está localizada en la región sur del Estado de Coahuila.

Geográficamente se encuentra a 25° 22' de Latitud Norte y 101° 02' de Longitud Oeste a una altitud de 1742 msnm Mendoza (1993), con temperatura media anual de 19.8 °C, precipitación pluvial media anual de 443.5 mm, el tipo de clima de acuerdo a la clasificación de Köpen, modificada por García (1973), es de acuerdo a la fórmula [Bwhw (x') (e)], es muy seco, semicálido con invierno fresco extremo, presencia de lluvia en verano superior al 10 por ciento del total anual.

Condiciones del Invernadero

La estructura del invernadero obedece a una forma circular, el anclaje de las cubiertas es continuo, de fibra de vidrio flexible montado sobre una estructura de hierro, provisto en su interior de dispositivos para controlar y/o regular condiciones climáticas, dispone de buen acceso al interior de forma que permite la entrada de personas con su equipo necesario para realizar prácticas de cultivo correspondiente. Altura en cumbre de 3.80 m con puerta de acceso en la parte frontal.

La capacidad de renovación del aire es de tres ciclos por hora, calculado en ausencia de viento y con una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del invernadero de 10 °C.

Se registraron temperaturas máximas diurnas externas de 38°C e internas de 28 °C y temperatura mínima nocturna interna de 20 °C, asociadas con 13 horas de luz solar.

Suelo

El suelo donde se estableció el experimento procedió de Cotaxtla, municipio de Medellín, Veracruz, México. Geográficamente localizado a 18° 50' de Latitud Norte y 96° 10' de Longitud Oeste con respecto al Meridiano de Greenwich. Elevación de 30 msnm, a 10 km del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuaria (INIFAP).

Geológicamente el área se encuentra en la provincia geográfica de la Llanura Costera del Golfo de México. Los suelos son azonales y se han formado por las deposiciones de las corrientes, que convergen hacia el mar. Presentan un relieve sensiblemente plano (0.2 - 8.0 por ciento de pendiente), en la parte norte del área pasa el Río Cotaxtla que posee un caudal medio anual de 35.8 m³/seg. La vegetación natural pertenece a la selva baja perennifolia combinada con palmares.

Los datos meteorológicos del Campo Experimental Cotaxtla registraron una temperatura media anual de 25.4°C, una precipitación media anual de 1,425 mm, una evaporación media de 1,352 mm y presencia de vientos moderados. El clima según el doctor C.W. Thornthwaite y datos estadísticos de la región meteorológica, resultó ser C2 W A' a' o sea C2 semihúmedo, W con moderada deficiencia invernal, A' cálido, a' con un régimen normal de calor. Clima con buena aptitud para cultivos de ciclo corto. Actualmente predominan cultivos de: piña, caña de azúcar, pastos y otros, además, crianza de ganado bovino encastado (doble propósito).

Estos suelos son en general de origen aluvial y lacustre. Profundos y con textura media sobre horizontes más compactados, libres de pedregosidad y poco erosionados, poseen un pH < 5.0, son medios en materia orgánica y bajos en nitrógeno total. El fósforo se encuentra muy bajo y el potasio alto. El calcio y el magnesio asimilables son pobres, y posee buena capacidad de retención de humedad. Los resultados del análisis de suelo en su primera evaluación se presentan en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Resultados de análisis en primera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN, 1996.

Profundidad (m)	Textura al tacto	pH	mg kg ⁻¹		(%)	Ca	cmol(+) kg ⁻¹		
			P	K	M.O.		Mg	Al	H+Al
0.25	Arcillo-arenoso	4.15	11	82	3.0	4.0	2.24	3.0	7.23

Fuente: Laboratorio PROCAFE. El Salvador C. A.

Descripción del Experimento

Factores y Niveles de Estudio

Los niveles evaluados fueron determinados mediante una práctica de incubación del suelo en estudio, desarrollada en un laboratorio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se evaluaron siete niveles de cal dolomita: 0, 0.16, 0.31, 0.45, 0.60, 0.74 y 0.89 g/100 g de suelo, y se determinó el valor de pH en agua cada cuatro días. Los resultados se presentan en el cuadro A.1.

Los factores y niveles de estudio evaluados fueron:

- Cal dolomita: 43.0, 57.0 y 71.0 g por 9.5 kg de suelo \cong 13.5, 18 y 22.5 ton ha⁻¹
- Fósforo: 100 y 200 kg P₂O₅ ha⁻¹
- Nitrógeno: Sulfato de amonio y Urea a razón de 150 kg de N ha⁻¹

Diseño Experimental

El diseño experimental empleado, fue bloques al azar con cuatro repeticiones, donde el Factor A correspondió a los niveles de cal dolomita, el Factor B constituyó las dosis de fósforo y el Factor C fueron las fuentes nitrogenadas, lo que conforman los 12 tratamientos (Cuadro 3.2) que se obtienen al combinar los niveles de cada uno de los factores de estudio.

Cuadro 3.2. Factores y niveles de estudio en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Factor	Nivel			Unidades
	Bajo = 0	Medio = 1	Alto = 2	
Cal dolomita	43	57	71	g/ 9.5 kg de suelo
Fósforo	100	200	-----	kg ha ⁻¹
Nitrógeno	Sulfato de amonio	Urea corriente	-----	Cualitativa

Diseño de Tratamientos

Para la selección de los tratamientos se utilizó un factorial: completo irregular de 3 x 2 x 2, resultando 12 combinaciones con cuatro repeticiones, resultando un total de 48 tratamientos. Las combinaciones resultantes así como sus valores codificados y reales, se muestran en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Valores codificados y reales de tratamientos en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Nº Tratamiento	Valor codificado			Valores reales		
	Cal dolmita	P	N	Cal dolomita (g/9.5 kg suelo)	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	N (Fuente)
1	0	0	0	43	100	S. Amon.
2	0	0	1	43	100	Urea
3	0	1	0	43	200	S. Amon.
4	0	1	1	43	200	Urea
5	1	0	0	57	100	S. Amon.
6	1	0	1	57	100	Urea
7	1	1	0	57	200	S. Amon.
8	1	1	1	57	200	Urea
9	2	0	0	71	100	S. Amon.
10	2	0	1	71	100	Urea
11	2	1	0	71	200	S. Amon.
12	2	1	1	71	200	Urea

Notación: 0=Bajo, 1=Medio, 2=Alto

S. Amon: Sulfato de Amonio.

Unidad Experimental

Se usaron macetas hechas con bolsas de polietileno negro de 0.25 m de ancho por 0.30 m de altura, conteniendo 9.5 kg de suelo, dispuestas en línea y en cada una de ellas se colocó un tubérculo brotado de tamaño uniforme y peso promedio de 60 g y cada una constituyó la parcela útil.

Descripción del Material de Encalado

El material de encalado fue cal dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ con el siguiente análisis: contenido de calcio = 26.0 y magnesio = 9.0, valor neutralizante en relación al CaCO_3 puro = 103 por ciento. Además, análisis granulométrico en porcentaje consistente en:

partículas menores de 2.36 mm (tamiz 8) = 100, menores de 0.25 mm (tamiz 60) = 99 y menores de 0.15 mm (tamiz 100) = 96.

Descripción del Material Vegetativo

El material vegetativo que se utilizó fue papa del cultivar Alpha, la cual es originaria de Holanda, el productor la prefiere por su gran adaptación a estas regiones y a su aceptación en el mercado, la semilla utilizada fue categorizada comercialmente como de tercera. Las características más importantes de este cultivar son:

- **Maduración.** Es tardía con un rango de 110 a 120 días.
- **Rendimiento.** Muy bueno, mayor a 18 ton ha⁻¹ y rica en almidón.
- **Tubérculo.** Grande, redondo oval, piel amarilla clara y pulpa blanca.
- **Planta.** Es de desarrollo robusto, llega a cubrir todo el surco, de follaje verde oscuro, flores blancas y altura de 0.9 a 1.2 m.
- **Durabilidad.** En adecuado almacenamiento tiene buena brotación.
- **Brotación.** Ocurre de 15 a 22 días, con temperaturas de 12 a 14°C
- **Floración.** Ocurre de 37 a 40 días, con una temperatura de 14°C
- **Usos.** En la industria de harinas, hojuelas y consumo fresco.
- **Diversas.** Es tolerante a períodos de sequía, tiene buena calidad culinaria.

Descripción del Material Fertilizante

Para el factor niveles de fósforo se utilizó la fuente nutricional: Superfosfato simple con 20 por ciento de P_2O_5 del cual el 80 por ciento es hidrosoluble y el resto soluble en citrato, contiene ocho por ciento de azufre y 25 por ciento de CaO, con índice salino igual a ocho e índice básico bajo, se obtiene de fluorapatita con ácido sulfúrico. Como fuentes de nitrógeno se utilizaron: Sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$, con 20.5 por ciento de N y 24 de azufre, índice salino de 69 e índice ácido igual a 110, se obtiene del amoníaco anhidro con el ácido sulfúrico. Urea ($NH_2-CO-NH_2$), con 46 por ciento de N y menos de dos por ciento de biuret, se obtiene directamente del amoníaco anhidro y bióxido de carbono sometidos a alta presión, posee un índice salino de 83.

Conducción del Experimento

Cronología

Como una referencia general del desarrollo del experimento, se presentan en el cuadro A.2 las principales actividades realizadas.

Preparación del Suelo

Antes del establecimiento del experimento, se realizó la localización, colecta de capa arable, transporte, desinfección, llenado de bolsas y pesado del suelo, procedente del Estado de Veracruz, México.

Encalado

La aplicación de respectivas dosis de cal se efectuó el 12 de diciembre, donde se incorporó: 43, 57 y 71 g de cal dolomita por unidad experimental y nivel respectivo.

Siembra y Fertilización

La siembra y fertilización fosfatada fue simultánea el 13 de marzo, aplicandose al fondo todo el P_2O_5 en niveles respectivos, separando el tubérculo por 0.05 m de suelo.

La fertilización nitrogenada se aplicó en tres oportunidades. La primera a los 15 días después de la siembra, utilizando una cuarta parte del nitrógeno total, la segunda a los 20 días después de la primera aplicación, utilizando la mitad del nitrógeno total y la tercera a los 55 días posteriores a la siembra, aplicando el nitrógeno restante.

Protección Vegetal

Para evitar la reducción del rendimiento por ataque de posibles patógenos, preventivamente se protegieron las plantas, con aplicación semanal de fungicidas a base de mancozeb, a razón de tres gramos por litro de agua.

Riego

Durante el experimento se mantuvo el suelo a capacidad de campo, recuperando la humedad perdida por diferencia de peso. Se utilizó agua potable desionizada, haciéndose pasar lentamente por un dispositivo eliminador de iones cálcicos.

Cosecha

La cosecha se realizó el 5 de julio en cada una de las unidades experimentales, a los 115 días después de la siembra, considerando el ciclo del cultivo y de acuerdo a su explotación por los productores de la zona inmediata, en la que se realizó la presente investigación.

Variables Medidas

Análisis de suelo y planta

Las variables evaluadas se midieron en suelo y planta, y fueron determinadas mediante análisis químico en cada unidad experimental realizados en los laboratorios del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) y Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE), El Salvador, C.A. En suelo se realizaron tres muestreos, el primero antes de establecer el experimento, el segundo inmediatamente antes de la fertilización fosfatada y siembra de tubérculo y el tercero seguido a la cosecha. El muestreo foliar se realizó en estado de prefloración, donde se tomaron hojas compuestas del tercer período de crecimiento. La metodología se presenta en los cuadros A.3 y A.4.

Determinación de Materia Seca

Se determinó mediante secado en estufa a 70°C por un tiempo determinado, al no presentarse diferencia representativa entre lecturas de peso para una misma muestra.

Determinación de Rendimiento

En este experimento no se obtuvo desarrollo de tubérculo comercial, solamente tuberculillos en todas las unidades experimentales, efecto atribuible a

condiciones adversas de temperatura presentadas durante el ciclo del cultivo.

Análisis DRIS

Los resultados de análisis foliar, fueron procesados en el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), permitiendo diagnosticar el estado nutricional de la planta en nivel de suficiencia e insuficiencia, para obtener los índices DRIS, que es la media de las funciones de todas las relaciones que contienen al nutrimento. Beverly (1991), presenta procedimiento, normas DRIS y coeficientes de variación de los cocientes seleccionados de la población altamente rendidora de cultivo de papa (Cuadro A.5). El cálculo se efectúa aplicando las ecuaciones siguientes:

Cálculo de Valores de Función

Los valores de diagnóstico publicados de medias y coeficientes de variación para relación de nutrimentos en una cosecha particular, son usadas para cálculo de consumo. Las funciones son determinadas mediante una de las dos fórmulas siguientes, dependiendo que tan mayor o menor es el valor en el tejido muestreado (R/S), o sea que tan grande o tan pequeño es con respecto a la correspondiente norma ($X_{R/S}$).

$$\text{Si } R/S > X_{R/S}, \text{ entonces } f(R/S) = \frac{100 (R/S - 1)}{X_{R/S}} \cdot \frac{K}{CV_{R/S}}$$

$$\text{Si } R/S < X_{R/S}, \text{ entonces } f(R/S) = \frac{100 (1 - X_{R/S})}{R/S} \cdot \frac{K}{CV_{R/S}}$$

Cálculo de Valores Indices

$$IN = [+f(N/P) + f(N/K) + f(N/Ca) + f(N/Mg) - f(P/N) - f(K/N) - f(Ca/N) - f(Mg/N)]/n$$

$$IP = [-f(N/P) + f(P/K) + f(P/Ca) + f(P/Mg) + f(P/N) - f(K/P) - f(Ca/P) - f(Mg/P)]/n$$

$$IK = [-f(N/K) - f(P/K) + f(K/Ca) + f(K/Mg) + f(K/N) + f(K/P) - f(Ca/K) - f(Mg/K)]/n$$

$$ICa = [-f(N/Ca) - f(P/Ca) - f(K/Ca) + f(Ca/Mg) - f(Mg/Ca) + f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K)]/n$$

$$IMg = [-f(N/Mg) - f(P/Mg) - f(K/Mg) - f(Ca/Mg) + f(Mg/Ca) + f(Mg/N) + f(Mg/P) + f(Mg/K)]/n$$

Valores Indices de Relaciones Inversas

$$IN = [-f(P/N) - f(K/N) - f(Ca/N) - f(Mg/N)]/n$$

$$IP = [+f(P/N) - f(K/P) - f(Ca/P) - f(Mg/P)]/n$$

$$IK = [+f(K/N) + f(K/P) - f(Ca/K) - f(Mg/K)]/n$$

$$ICa = [+f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K) - f(Mg/Ca)]/n$$

$$IMg = [+f(Mg/N) + f(Mg/P) + f(Mg/K) + f(Mg/Ca)]/n$$

Valor de Función para Materia Seca

El valor de función se obtiene de forma similar para funciones de relaciones directas, la materia orgánica participa como un nutrimento adicional.

Indice para Materia Seca

$$I_{dm} = [-f(N/dm) - f(P/dm) - f(K/dm) - f(Ca/dm) - f(Mg/dm)]/n$$

Combinación de Relaciones de Funciones

$$I_N = [+f(N/P) + f(N/K) + f(N/Ca) + f(N/Mg) - f(P/N) - f(K/N) - f(Ca/N) - f(Mg/N) + f(N/dm)]/n$$

$$I_P = [-f(N/P) + f(P/K) + f(P/Ca) + f(P/Mg) + f(P/N) - f(K/P) - f(Ca/P) - f(Mg/P) + f(P/dm)]/n$$

$$I_K = [-f(N/K) - f(P/K) + f(K/Ca) + f(K/Mg) + f(K/N) + f(K/P) - f(Ca/K) - f(Mg/K) + f(K/dm)]/n$$

$$I_{Ca} = [-f(N/Ca) - f(P/Ca) - f(K/Ca) + f(Ca/Mg) - f(Mg/Ca) + f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K) + f(Ca/dm)]/n$$

$$I_{Mg} = [-f(N/Mg) - f(P/Mg) - f(K/Mg) - f(Ca/Mg) + f(Mg/Ca) + f(Mg/N) + f(Mg/P) + f(Mg/K) + f(Mg/dm)]/n$$

$$I_{dm} = [- (I_N) - (I_P) - (I_K) - (I_{Ca}) - (I_{Mg})]$$

Valores Indices de M-DRIS

$$I_N = [-f(P/N) - f(K/N) - f(Ca/N) - f(Mg/N) + f(N/dm)]/n$$

$$I_P = [+f(P/N) - f(K/P) - f(Ca/P) - f(Mg/P) + f(P/dm)]/n$$

$$I_K = [+f(K/N) + f(K/P) - f(Ca/K) - f(Mg/K) + f(K/dm)]/n$$

$$I_{Ca} = [+f(Ca/N) + f(Ca/P) + f(Ca/K) - f(Mg/Ca) + f(Ca/dm)]/n$$

$$I_{Mg} = [+f(Mg/N) + f(Mg/P) + f(Mg/K) + f(Mg/Ca) + f(Mg/dm)]/n$$

$$I_{dm} = [- (I_N) - (I_P) - (I_K) - (I_{Ca}) - (I_{Mg})]$$

Análisis Estadístico

Una vez obtenida la cosecha y resultados de laboratorio, se realizó análisis de varianza para cada de las variables de respuesta del experimento. El modelo estadístico usado corresponde a un diseño experimental de bloques al azar y un diseño de tratamientos en factorial completo irregular de: 3 x 2 x 2 y cuatro repeticiones.

Modelo Estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + R_l + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_k + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \xi_{ijkl}$$

$$i = 1,2,3$$

i = dosis de cal dolomita

$$j = 1,2$$

j = nivel de fósforo

$$k = 1,2$$

k = fuente de nitrógeno

$$\xi_{ijkl} \approx NI(0, \sigma^2)$$

donde:

Y_{ijkl} = Variable en estudio.

μ = Media general.

R_l = Efecto de i-ésimo bloque.

α_i = Efecto de i-ésimo nivel de cal dolomita.

β_j = Efecto del j-ésimo nivel de fósforo.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto conjunto del nivel i-ésimo de cal dolomita con el j-ésimo nivel de fósforo.

δ_k = Efecto del k-ésimo nivel de nitrógeno.

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Interacción del i-ésimo nivel de cal dolomita con el k-ésimo nivel de nitrógeno.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = Efecto conjunto o interacción del i-ésimo nivel de cal dolomita, el j-ésimo nivel de fósforo y el k-ésimo nivel de nitrógeno.

ξ_{ijkl} = Error experimental de variable aleatoria, a la cual se le asume distribución normal e interdependencia con media cero y varianza constante, σ^2 (suposición de homogeneidad de varianza).

Para la obtención de los coeficientes de variación de cada análisis de varianza se utilizaron las fórmulas:

$$C.V. \epsilon_a = \sqrt{\frac{CM\epsilon_a \times 100}{\bar{x}}} \qquad C.V. \epsilon_b = \sqrt{\frac{CM\epsilon_b \times 100}{\bar{x}}}$$

donde: $CM\epsilon_a$ = Cuadrado medio del error a dado por la interacción $(R \times \alpha)_{ij}$

$CM\epsilon_b$ = Cuadrado medio del error b (ξ_{ijkl})

\bar{x} = Media general

Prueba de Rango Múltiple

Se realizó prueba de Tukey a las diferentes variables de respuesta consideradas en el presente trabajo, siendo necesario para hacer las comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis Estadístico

A los valores de las variables medidas en esta investigación se les realizó análisis de varianza (ANVA) y comparación de medias con prueba de Tukey al 0.05 de nivel de significancia respectivamente, mediante el sistema de análisis estadístico (SAS), los resultados se presentan en los cuadros 4.1 al 4.6. Se omitió el análisis estadístico de la primera evaluación del suelo en estudio por ser un material homogéneo de partida. Las plantas de papa presentaron un comportamiento similar por tratamiento durante el ciclo vegetativo considerado, no observándose síntomas por deficiencias nutrimentales a excepción de potasio con un 20 por ciento aproximadamente.

pH

Esta variable en el análisis de varianza (Cuadro 4.1), reportó diferencia altamente significativa para tratamientos con un coeficiente de variación de 1.17 por ciento en segunda evaluación del suelo. El tratamiento con dosis baja de cal dolomita tiene un valor de pH de 6.04, que es inferior en 0.94 unidades respecto al suelo del tratamiento con dosis alta de encalado y por lo tanto este último alcanzó valor próximo a

la neutralidad, lo que va en desventaja ante la disponibilidad nutrimental (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.1. Cuadros medios y de significancia estadística de variables medidas en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

F. V.	g.l.	pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Acidez Intercambiable
Tratamientos	11	0.541**	2.394**	0.000 ^{ns}	4.259**	0.041**	0.045**
Repeticiones	3	0.008 ^{ns}	0.195 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.095 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Error	33	0.006	0.232	0.000	0.133	0.015	0.003
Total	47						
C.V. (%)		1.17	4.83	5.34	3.39	3.84	4.43

Cuadro 4.2. Efecto del encalado y prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Cal (g /tratam)	pH	P (mg kg ⁻¹)	cmol(+) kg ⁻¹			
			K	Ca	Mg	H + Al
43	6.13c	11.05a	0.22a	9.53c	3.17b	1.30a
43	6.19c	10.40a	0.22a	9.83c	3.28a	1.23a
43	6.03c	10.59a	0.22a	9.50c	3.20a	1.33a
43	6.08c	11.05a	0.23a	9.55c	3.31a	1.28a
57	6.61b	10.07a	0.23a	10.70b	3.23a	1.07b
57	6.58b	9.21b	0.22a	10.28b	3.10b	1.06b
57	6.63b	9.97b	0.21a	11.03a	3.19b	1.05b
57	6.63b	9.54b	0.22a	10.83b	3.13b	1.07b
71	6.95a	9.60b	0.22a	11.93a	3.02c	1.25a
71	6.93a	9.00b	0.22a	12.15a	3.01c	1.29a
71	6.98a	8.88c	0.22a	11.95a	3.06c	1.26a
71	6.98a	9.28b	0.23a	11.88a	3.02c	1.26a

Esta ocurrencia permitió el cumplimiento del propósito del empleo de cal, que neutralizó a los iones H⁺ y Al⁺⁺⁺ en la solución del suelo y a los atrapados en las cargas negativas de coloides del suelo, los que fueron reemplazados por cationes básicos (Ca⁺⁺ y

Mg⁺⁺) aportados en la cal dolomita y recuperar el potencial productivo del suelo.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia estadística para variables medidas en plantas del experimento de papa. UAAAN. 1996.

Fuente de variación	g.i.	N	P	K	Ca	Mg	Materia Seca	Rendimiento
Repeticiones	3	0.383**	0.051**	0.028 ^{ns}	0.048*	0.013 ^{ns}	75.383 ^{ns}	687.130 ^{ns}
Dosis Cal Dolomita (Cal)	2	0.391*	0.048*	0.009 ^{ns}	0.209**	0.005 ^{ns}	38.463 ^{ns}	79.676 ^{ns}
Nivel Fósforo (P)	1	0.132 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.044 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.023 ^{ns}	124.228 ^{ns}	38.772 ^{ns}
Fuente Nitrógeno (N)	1	12.917**	0.044*	0.124 ^{ns}	4.960**	0.238**	399.053**	3002.320**
Cal * P	2	0.134 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.062 ^{ns}	0.064*	0.001 ^{ns}	0.760 ^{ns}	49.228 ^{ns}
Cal * N	2	0.087 ^{ns}	0.010 ^{ns}	0.129 ^{ns}	0.205**	0.013 ^{ns}	14.350 ^{ns}	534.009 ^{ns}
P * N	1	0.002 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.000 ^{ns}	5.740 ^{ns}	243.811 ^{ns}
Cal * P * N	2	0.077 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.085 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.000 ^{ns}	22.570 ^{ns}	36.775 ^{ns}
Error	33	0.085	0.011	0.077	0.014	0.007	34.876	244.210
C.V. (%)		4.18	15.82	12.01	10.89	19.23	12.64	18.23

* y ** = Significancia estadística al 0.01 y 0.05 respectivamente.
ns = No significativo.

El ANVA presentado en el cuadro 4.5 correspondiente a la tercera evaluación del suelo, muestra diferencia altamente significativa tanto para bloques, dosis de cal y fuente nitrogenada con coeficiente de variación de 1.94 por ciento. En el cuadro 4.6 puede apreciarse que los valores medios de pH fueron reducidos con respecto a la evaluación anterior, la diferencia es más definida en los tratamientos con fertilización nitrogenada en forma de NH₄-N, presentado en la figura 4.2. El nivel alto de P₂O₅ influyó sobre esta variable, debido al ion CaO acompañante del superfosfato simple aplicado en el segundo factor de estudio. En la figura 4.1, se observa el comportamiento proporcional de adiciones de cal dolomita sobre el aumento del valor de la reacción del suelo.

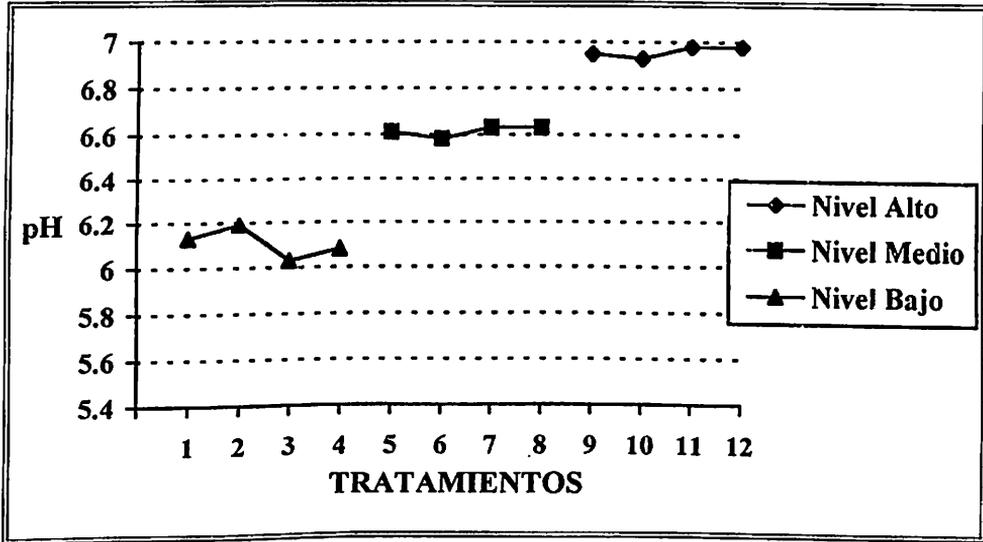


Figura 4.1. Comportamiento de cal dolomita sobre pH en segunda evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

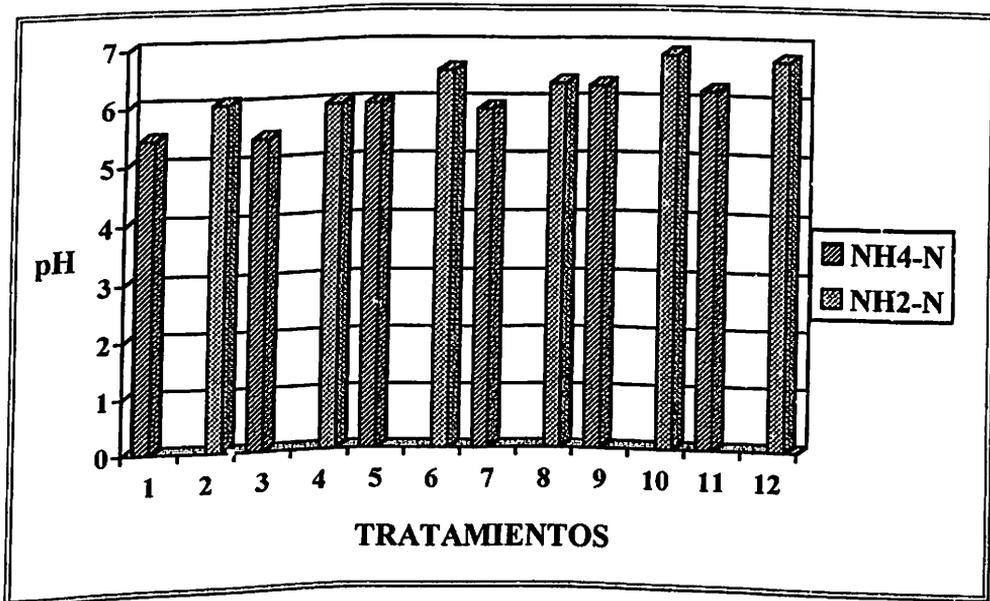


Figura 4.2. Comportamiento de fuentes nitrogenadas sobre pH en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Cuadro 4.4. Medias observadas y prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en plantas del experimento en papa. UAAAN. 1996.

Tratamiento	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Materia Seca (%)	Rendimiento (g/ planta)
Cal ₀ * P ₀ * N ₀	7.53a	0.58a	2.18a	0.71e	0.39ab	12.63a	48.94a
Cal ₀ * P ₀ * N ₁	6.76bc	0.70a	2.33a	1.08cd	0.52ab	11.19a	58.45a
Cal ₀ * P ₁ * N ₀	7.62a	0.62a	2.42a	0.77e	0.32b	12.33a	62.30a
Cal ₀ * P ₁ * N ₁	6.66bc	0.73a	2.33a	1.31bc	0.46ab	10.98a	71.75a
Cal ₁ * P ₀ * N ₀	7.64a	0.55a	2.24a	0.83de	0.40ab	12.17a	73.56a
Cal ₁ * P ₀ * N ₁	6.26c	0.57a	2.40a	1.41b	0.50ab	11.78a	70.98a
Cal ₁ * P ₁ * N ₀	7.37ab	0.59a	2.01a	0.84de	0.38ab	12.02a	52.14a
Cal ₁ * P ₁ * N ₁	6.45c	0.68a	2.47a	1.42b	0.46ab	11.58a	74.91a
Cal ₂ * P ₀ * N ₀	7.19ab	0.66a	2.33a	0.77e	0.38ab	12.80a	59.93a
Cal ₂ * P ₀ * N ₁	6.21c	0.69a	2.18a	1.72a	0.58a	10.76a	80.93a
Cal ₂ * P ₁ * N ₀	7.55a	0.75a	2.36a	0.72e	0.33b	12.87a	52.92a
Cal ₂ * P ₁ * N ₁	6.35c	0.74a	2.44a	1.55ab	0.54a	11.78a	74.78a

Cal₀ = 43 g Cal Dolomita/9.5 kg suelo.

Cal₁ = 57 g Cal Dolomita/9.5 kg suelo.

Cal₂ = 71 g Cal Dolomita/9.5 kg suelo.

Datos promedio de 16 observaciones.

P₀ = 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ N₀ = Sulfato de amonio

P₁ = 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ N₁ = Urea corriente

Datos promedio de 24 observaciones.

Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia estadística para variables medidas en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

F. V.	g.l.	pH	N _{Total}	P	K	Ca	Mg	H+Al
Repeticiones	3	0.103**	0.000 ^{ns}	65.011 ^{ns}	0.002**	0.159 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.016 ^{ns}
Dosis Cal Dol. (Cal)	2	2.506**	0.000 ^{ns}	56.395 ^{ns}	0.001*	13.775**	0.019 ^{ns}	0.704**
Nivel Fósforo (P)	1	0.092*	0.000 ^{ns}	219.971 ^{ns}	0.011**	1.367*	0.008 ^{ns}	0.016 ^{ns}
Fuente Nitrógeno (N)	1	3.575**	0.001**	680.208**	0.003**	40.517**	1.060**	0.981**
Cal * P	2	0.023 ^{ns}	0.000 ^{ns}	363.025**	0.002*	0.885*	0.039 ^{ns}	0.018 ^{ns}
Cal * N	2	0.006 ^{ns}	0.000 ^{ns}	8.774 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.109 ^{ns}	0.119**	0.002 ^{ns}
P * N	1	0.010 ^{ns}	0.000 ^{ns}	117.547**	0.000 ^{ns}	0.677 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}
Ca * P * N	2	0.003 ^{ns}	0.000 ^{ns}	189.892 ^{ns}	0.000 ^{ns}	2.787**	0.031 ^{ns}	0.002 ^{ns}
Error	33	0.014	0.000	62.517	0.000	0.238	0.016	0.006
Total	47							
C. V. (%)		1.94	7.94	14.13	15.08	3.92	3.44	7.12

El análisis de correlación mostró diferencia altamente significativa, obteniéndose mayor valor de pH con adiciones de cal dolomita con $r^2 = 0.96$ y un coeficiente de regresión con valor de 0.03. Además, presentó alta significancia estadística con calcio y fósforo, permitiendo alcanzar mayor valor en el suelo de estudio.

Nitrógeno Total

Esta variable únicamente se determinó en planta y en tercera evaluación del suelo (Cuadro 4.3 al 4.5), el análisis de varianza mostró diferencia altamente significativa para el efecto del factor fuente de nitrógeno, tanto en planta como nitrógeno total residual en el suelo. Además, presentó diferencia significativa para el factor dosis de cal.

El comportamiento que se tuvo al realizar prueba de Tukey fue el siguiente: la mayor concentración en tejido vegetal lo obtuvieron los tratamientos uno, tres, cinco y once con valor de 7.58 por ciento y que estadísticamente son iguales. El efecto es atribuible a que las plantas absorbieron mayor parte de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4\text{-N}$), debido al ion acompañante SO_4 del sulfato de amonio y probablemente a que otros factores contribuyen a reducir las tasas de nitrificación. Esta forma de nitrógeno es más prolongada en el suelo, debido a su carga positiva, el NH_4^+ se adsorbe a los coloides del suelo, mientras que los NO_3^- no son adsorbidos por lo que se lixivian con mucha facilidad y queda fuera del alcance de las plantas. Después en suelos húmedos cálidos el amonio es oxidado aun más por bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrosococcus* a nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) respectivamente, en pocos días luego de su adición como fertilizante.

El suministro de amonio como componente principal de la fuente sulfato de amonio tendió a disminuir el valor de pH en el suelo (Figura 4.2), esto constituye una ventaja en suelos alcalinos donde además, el ion acompañante azufre (SO_4) también ayuda a la disponibilidad de fosfato y fija calcio en estos suelos.

En el cuadro 4.6 se observa el contenido de nitrógeno total residual en el suelo, el cual fue mayor y proporcional a la dosis media de cal dolomita y alto nivel de fósforo con sulfato de amonio, con valor de 0.12 por ciento. Además las fuentes nitrogenadas presentaron efecto sobre el valor de pH del suelo, generando menor valor de pH la fuente nitrogenada urea (Figura 4.2).

Cuadro 4.6. Prueba de Tukey 5% por tratamiento para variables medidas en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

N° tratam.	pH	N _{total} (%)	P (mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	H + Al
1	5.43c	0.13a	57.46a	0.11b	11.70b	3.85a	1.47a
2	6.03c	0.11b	51.85a	0.09c	10.88c	3.64a	1.11b
3	5.43c	0.13a	66.95a	0.16a	11.90b	3.69a	1.37a
4	6.00c	0.12b	54.96a	0.15a	10.55c	3.62a	1.14b
5	5.98b	0.12b	57.88a	0.13a	13.85a	3.96a	1.17b
6	6.55b	0.12b	41.51a	0.10b	11.18b	3.66a	0.80c
7	5.88b	0.13a	60.05a	0.15a	12.45a	3.84a	1.20b
8	6.33b	0.11b	64.62a	0.13a	11.70b	3.61a	0.97c
9	6.28a	0.12b	62.09a	0.11b	14.02a	3.87a	0.98c
10	6.83a	0.11b	52.10a	0.10b	12.67a	3.48a	0.69c
11	6.20a	0.12b	53.89a	0.12b	14.88a	4.06a	0.99c
12	6.73a	0.11b	48.11a	0.12b	12.18a	3.48a	0.76c

Los resultados obtenidos se deben a que la aplicación de cal dolomita crea condiciones favorables para la actividad microbiana, además, el superfosfato simple y el sulfato de amonio aplicado fue eficiente para las plantas. Ocurrencia que es afín a lo mencionado por Fink (1987), que la reacción óptima del suelo es un equilibrio entre los diversos óptimos para la disponibilidad de nutrimentos, además, la patata es una planta acidófila o sea sensible a la cal; Tisdale y Nelson (1991), indican que el nitrógeno puede afectar el metabolismo de las plantas y la capacidad de las raíces para absorber el fósforo, también las fuentes amoniacaes son generalmente más eficaces que los nitratos; Gaucher (1971), señala que la absorción de $\text{NH}_4\text{-N}$ reduce por antagonismo la concentración de Ca^{++} y Mg^{++} en la planta (Cuadro 4.4), la forma nítrica no tiene el mismo efecto; Jones *et al.* (1991), reporta que generalmente los incrementos de P son mayores con $\text{NH}_4\text{-N}$ que con $\text{NO}_3\text{-N}$.

Para nitrógeno los resultados del análisis DRIS (Cuadro 4.7), reporta el orden de requerimiento para el tratamiento once ($\text{K} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P}$) con valor índice nutrimental de 18.65 y para el tratamiento 10 ($\text{K} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$) con valor índice nutrimental de -20.5, presentándose la máxima deficiencia relativa en el tratamiento 10 y se encuentra más balanceado en el tratamiento 11 (índice más cercano o superior a cero) donde se aplicó $\text{NH}_4\text{-N}$, con ocurrencia de un mayor crecimiento vegetativo sin superar el rendimiento de tuberculillo. El índice de desbalance nutricional (IDN) se obtuvo sumando los valores absolutos de los índices de todos los nutrimentos de la muestra analizada respectiva, con valor de 152.74, indicando mayor desbalance entre los nutrimentos en área foliar, debido a la transferencia de nutrimentos durante la formación de tubérculos y

por tanto se tuvo un mayor rendimiento, el cual fue influenciado desfavorablemente por presencia de altas temperaturas diurnas dentro del invernadero, que promueven el crecimiento de la planta y reducen la transferencia de carbohidratos al tubérculo que es un órgano de reserva.

Cuadro 4.7. Concentración de datos obtenidos mediante análisis DRIS en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Tratamiento		N	P	K	Ca	Mg	M.S.	IDN	Orden de Requerimiento
1	C	7.58	0.58	2.18	0.71	0.39	12.63	84.34	K>Ca>Mg>P>N
	I	17.39	15.73	-31.23	-10.94	9.05			
2	C	6.76	0.70	2.33	1.08	0.52	11.19	85.08	K>N>Ca>Mg>P
	I	-5.02	19.22	-37.52	7.08	16.24			
3	C	7.64	0.62	2.42	0.77	0.32	12.33	66.24	K>Ca>Mg>N>P
	I	15.34	17.78	-24.44	-6.73	-1.95			
4	C	6.66	0.73	2.33	1.31	0.46	10.98	102.36	K >N>Mg>Ca>P
	I	-9.64	22.86	-41.12	18.84	9.90			
5	C	7.62	0.55	2.24	0.83	0.40	12.17	66.80	K>Ca>Mg>P>N
	I	15.60	9.39	-31.50	-1.90	8.41			
6	C	6.26	0.57	2.40	1.41	0.50	11.78	92.76	K>N>P>Mg>Ca
	I	-9.26	6.72	-35.36	26.74	14.68			
7	C	7.37	0.59	2.01	0.84	0.38	12.02	77.49	K>Ca>Mg>P>N
	I	16.32	14.82	-38.75	1.06	6.54			
8	C	6.45	0.68	2.47	1.42	0.46	11.58	99.04	K>N>Mg>P>Ca
	I	-12.70	17.65	-36.82	23.54	8.33			
9	C	7.19	0.66	2.33	0.77	0.38	12.80	71.86	K>Ca>Mg>N>P
	I	8.69	21.93	-28.62	-7.31	5.31			
10	C	6.21	0.69	2.18	1.72	0.58	10.76	152.74	K>N>P>Mg>Ca
	I	-20.50	17.66	-55.87	38.73	19.98			
11	C	7.55	0.75	2.36	0.72	0.33	12.87	103.52	K>Mg>Ca>N>P
	I	18.65	33.11	-35.07	-6.89	-9.8			
12	C	6.35	0.74	2.44	1.55	0.54	11.78	127.34	K>N>Mg>P>Ca
	I	-20.07	21.48	-43.60	27.41	14.78			

C = Concentración en Tejido Vegetal
 I = Valor Índice DRIS
 IDN = Índice de desbalance nutricional

El mayor contenido medio de nitrógeno total residual al final del experimento (Cuadro 4.6), según prueba de Tukey lo obtuvieron los tratamiento siete, uno y tres ($Ca_1 * P_1 * N_0$), con 0.133 por ciento y el menor valor lo mostraron los tratamientos dos, ocho, 10 y 12 ($Ca_2 * P_1 * N_1$), con 0.108 por ciento. Ocurrencia presentada porque la fuente de nitrógeno NH_2-N , se pierde en su conversión a nitrato en los suelos por nitrificación y posteriormente en la desnitrificación, procesos por los cuales, bacterias anaerobias transforman al nitrógeno en las siguientes formas: NH_2 , NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2O , NO y N_2 .

Fósforo

En los resultados de ANVA (Cuadro 4.1) para esta variable se observa diferencia altamente significativa entre tratamientos, debido al efecto de encalado sobre esta variable con un coeficiente de variación de 4.83 por ciento en segunda evaluación del suelo. En planta (Cuadro 4.3) mostró diferencia significativa para dosis de cal y fuente nitrogenada, con valor de coeficiente de variación igual a 15.82 por ciento. Mas, si mostró diferencia altamente significativa el factor fuentes nitrogenadas e interacción: dosis de cal dolomita * niveles de fósforo y niveles de P * fuentes de N, con un coeficiente de variación de 14.13 por ciento en tercera evaluación del suelo (Cuadro 4.5).

La prueba de Tukey mostró significancia estadística entre valores de medias de fósforo en solución del suelo, encontrados en el suelo después del encalado (Cuadro 4.2), con valor máximo de 11.05 mg kg^{-1} correspondiente al tratamiento con dosis baja de cal

dolomita. La fijación ácida de fósforo se disminuye cuando se encala el suelo (Figura 4.3), para que su pH adquiriera valores comprendidos entre 5.50 y 6.50, aquí la solubilidad de fosfatos de calcio es mediana y se supera en suelos alcalinos, mientras los fosfatos de aluminio superan en suelos ácidos.

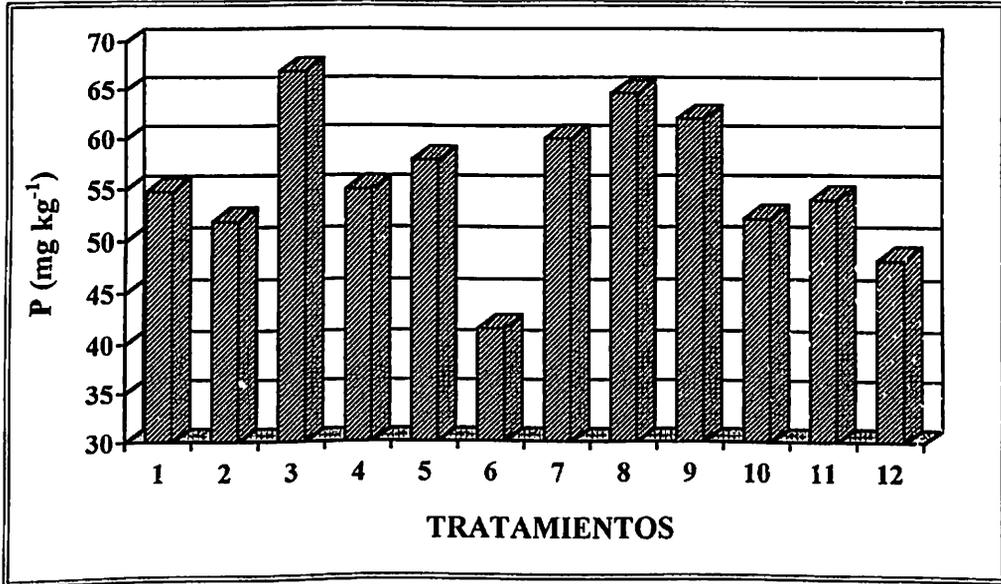


Figura 4.3. Comportamiento del fósforo residual en tercera evaluación del suelo en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Al realizar la prueba de Tukey resultó igualdad estadística entre tratamientos, tanto en tercera evaluación del suelo como en análisis de planta (Cuadros 4.4 y 4.6).

Las dosis evaluadas de 100 y 200 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en comparación con el fósforo que el cultivo retira del suelo, resultaron ser dosis excesivas, ya que rendimientos altos de papa raras veces absorben más de 40-45 kg de P_2O_5 ha⁻¹, se acepta que sólo se utiliza un 25 por ciento del fósforo aplicado. Los niveles estudiados presentaron similar

respuesta, por lo que en futuras siembras debe tomarse en consideración la presencia de este nutriente en el suelo, si bien algunos cultivos extraen fósforo del suelo en una forma más eficaz que otros.

Para esta variable, el análisis DRIS (Cuadro 4.7) reporta el orden de requerimiento para el tratamiento seis ($K > N > P > Mg > Ca$) y para el 11 ($K > Mg > Ca > N > P$). Los índices nutrimentales oscilan de 6.72 a 33.11, presentándose deficiencia relativa en el tratamiento seis y suficiencia en el tratamiento 11 donde se aplicó 200 kg de P_2O_5 ha⁻¹ reduciéndose el riesgo de ser fijado, el valor del IDN fue 103.52 considerado muy alto por el desbalance de los nutrientes donde el P antecede al N; por ello la aprovechabilidad del fosfato que principalmente se absorbe en forma de ion monovalente $H_2PO_4^-$, se absorbe con mayor facilidad en un rango de pH determinado (Figura 4.7). Del mismo modo la precipitación de fosfatos de aluminio, disminuye substancialmente la disponibilidad de P y la deficiencia de P puede enmascarar el efecto del aluminio tóxico.

Los valores medios de P encontrados al final del experimento y según la prueba de Tukey al cinco por ciento de probabilidad no muestran diferencias estadísticas entre tratamientos, ocurrencia debida a que en el suelo el fósforo se desplaza muy lentamente de forma que las raíces de las plantas deben ir en busca del fósforo en la solución del suelo, situación que se agrava dada la capacidad reducida de la planta de papa para desarrollar un amplio y bien ramificado sistema de raíces al inicio del cultivo.

Los resultados encontrados en el presente trabajo se relacionan con la regla esquemática de que la máxima disponibilidad del fósforo para la mayoría de los cultivos ocurre con un pH del suelo que fluctúe de 5.5 a 6.5, al saber que el ion H_2PO_4^- se favorece en un medio más ácido, lo cual se muestra en la Figura 4.3, atribuible a las demás suficiencias en el suelo de: N, Ca, Mg, entre otros.

Lo anterior coincide con Bohn *et al.* (1993) que manifiesta que un máximo aprovechamiento del fosfato sucede en pH entre 6 y 7 para la mayoría de suelos agrícolas; Tisdale y Nelson (1991) menciona el efecto de la cal sobre la disponibilidad del fosfato e influye de muchas maneras en la producción de los cultivos; Jones *et al.* (1991) señala valores de suficiencia para P de 0.29 por ciento a 0.50 por ciento en hojas recién maduras fisiológicamente, además, que la frecuente aplicación de nitrógeno con fósforo aumenta la concentración de P en plantas, pero el incremento varía con el tipo de N y condiciones del suelo; Castaños (1993) recomienda para suelos con menos de 18 ppm, aplicar 135 kg de P_2O_5 por ha y muestreos foliares a mediados de temporada.

Potasio

Los resultados del ANVA (Cuadro 4.5), muestran diferencias altamente significativas sobre esta variable únicamente en la tercera evaluación del suelo para bloques, niveles de fósforo y fuente nitrogenada. Además diferencia estadística para dosis de cal dolomita e interacción de factores: dosis de cal dolomita y niveles de fósforo, con coeficiente de variación igual a 15.08 por ciento.

En planta no se encontró significancia estadística al uno ni al cinco por ciento de probabilidad en fuentes de variación y arrojó valor de 12.01 por ciento para el coeficiente de variación (Cuadro 4.3).

La prueba Tukey mostró significancia estadística (Cuadro 4.6), determinando que al incrementar los niveles de fósforo el contenido de potasio en el suelo obtiene mayores valores, así el valor más alto de este nutrimento correspondió a los tratamientos con nivel alto de fósforo alternando con fuentes de nitrógeno, con valor de 0.16 mg kg^{-1} correspondiente al tratamiento $\text{Ca}_0 * \text{P}_1 * \text{N}_0$. y considerados bajos, debido a que no se aplicó por encontrarse en nivel alto y no ser un factor de estudio.

La retención de potasio en forma menos disponible es de considerable significación en la agricultura. Los resultados coinciden con Tisdale y Nelson (1991), quienes señalan que la adición de cal disminuye la pérdida de potasio cambiante, añade que con el fósforo la conversión del potasio a las formas lentamente disponibles o fijadas reduce su valor inmediato como nutrimento para las plantas; además, el potasio se moverá menos en un suelo apropiadamente añadido en cal agrícola, que aplicado en fertilizante en un suelo ácido porque puede reemplazar al Ca más fácilmente que al H y al Al. Trabajos señalados por él mismo indican que cuando se suministró una dosis adecuada de potasio se produjo un incremento del N en forma proteica y su correspondiente disminución en forma amida.

Calcio

Para esta variable el ANVA (Cuadro 4.1) detectó diferencia altamente significativa entre tratamientos y un coeficiente de variación igual a 3.39 por ciento en segunda evaluación del suelo, y de forma similar para dosis de cal dolomita, fuentes de nitrógeno e interacción: dosis de cal dolomita * niveles de fósforo * fuentes nitrogenadas. También presentó diferencia significativa para niveles de fósforo e interacción: dosis de cal dolomita * niveles de fósforo en tercera evaluación del suelo y arrojó un coeficiente de variación de 3.92 por ciento (Cuadro 4.5) en tercera evaluación del suelo.

Al aplicar la prueba de Tukey a los valores medios de cl Intracción en tejido vegetal, se encontró significancia estadística entre tratamientos, así el máximo valor lo presentó el tratamiento 10 ($Cal_2 * P_0 * N_1$) con 1.72 por ciento y el uno ($Cal_0 * P_0 * N_0$) con valor mínimo de 0.71 por ciento e igual los tratamientos 11, tres y nueve. Como puede apreciarse que la dosis alta de cal dolomita aplicada fue capaz de desplazar la acidez intercambiable en el proceso de intercambio catiónico y que además abasteció de cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} a la solución del suelo para disponibilidad de planta de papa, efecto reflejado en un crecimiento vegetal adecuado y sin apreciarse síntomas de deficiencia durante el desarrollo del cultivo, como son los tejidos torcidos y deformados en zonas meristemáticas, como raíces, tallos y hojas, donde hay división celular. El calcio es esencial para las funciones normales de la membrana en todas las células, probablemente como un enlazador de fosfolípidos entre sí o a proteínas de membranas, o sea que es un componente de la pectina, pero además la planta lo requiere para la síntesis de otras

sustancias vegetales.

El resultado de análisis DRIS (Cuadro 4.7), reporta el orden de requerimiento para el tratamiento uno (K>Ca>Mg>P>N) y para el 10 (K>N>P>Mg>Ca) quienes presentan un índice nutrimental que oscila -10.94 a 38.73 presentándose la máxima deficiencia relativa en el tratamiento uno y se encuentra más balanceado en el tratamiento 10, donde se aplicó 71 g cal dolomita/ 9.5 kg de suelo equivalente a 22.5 ton de cal dolomita ha⁻¹, con valor de 10.76 por ciento de materia seca y cuyo valor es menor respecto a los otros tratamientos.

Esta respuesta muestra relación beneficiosa con fuente nitrogenada NH₂-N para el desarrollo de la planta. El tratamiento 10 presentó un IDN = 152.74 considerado muy alto. En cuanto al calcio se puede decir que ocupa el primer lugar entre los nutrimentos menos requeridos cuando se utiliza nivel medio y alto de CaCO₃.MgCO₃ y NH₂-N. Pero ocupa el cuarto lugar cuando cambia la fuente nitrogenada y se antepone el P. De acuerdo a los índices DRIS la ocurrencia se debe a dosis altas de cal dolomita extractable, lo cual se refleja en los niveles altos de este elemento en la planta. Sin embargo, el NH₄-N restringe la disponibilidad del Ca para la planta, como se puede apreciar en el cuadro 4.5.

La prueba de Tukey mostró significancia estadística entre valores de medias de calcio residual en el suelo al final del experimento, con valor máximo para los tratamientos 11 y ocho, con valor de 14.88 y 14.02 cmol kg⁻¹ respectivamente (Cuadro

4.6). El menor valor fue $10.55 \text{ cmol kg}^{-1}$ equivalente a 67.0 por ciento en CICT, correspondiente al tratamiento cuatro ($\text{Cal}_0 * \text{P}_1 * \text{N}_1$). Esta variable presentó efecto definido sobre la reacción del suelo en las dos evaluaciones (Figura 4.1) y cada dosis de cal dolomita tuvo una respuesta lineal de las cuales agrícolamente se prefiere la dosis baja equivalente a 13.5 kg ha^{-1} de cal dolomita, debido a que en ese rango de pH hay mayor número de nutrientes disponibles para diversidad de especies vegetales donde se incluye al cultivo de papa.

Como el ANVA reportó diferencia altamente significativa, se rechaza la hipótesis $H_0: \beta_1 = 0$ y se dice que el factor cal dolomita sí influye sobre el pH del suelo, razón que motivó a realizar una regresión lineal simple, con el objeto de comprobar si las dosis de cal dolomita evaluadas tienen alguna influencia en las características del aumento de valor en pH del suelo, los resultados se muestran en el cuadro 4.8 y su representación se aprecia en la figura 4.4.

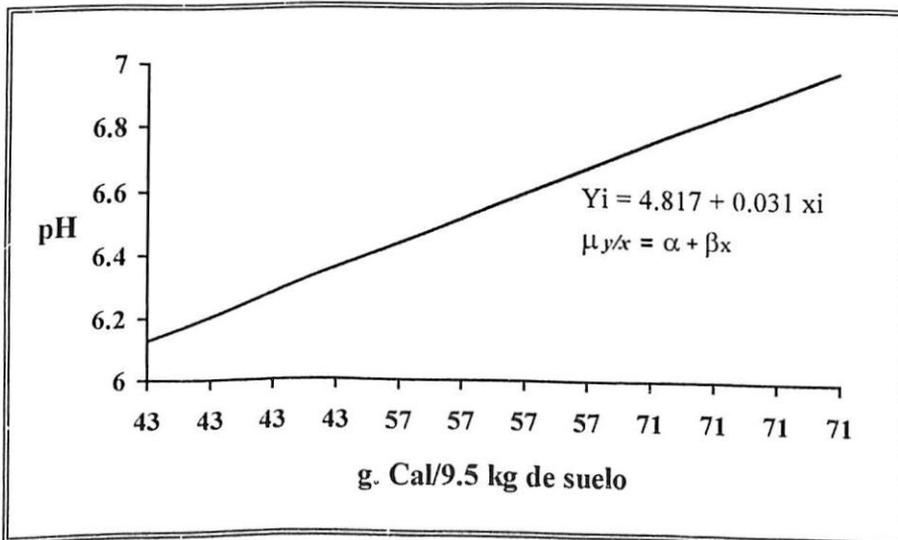


Figura 4.4. Línea de regresión para pH del suelo en respuesta al encalado en experimento de papa. UAAAN. 1996.

Cuadro 4.8. Análisis de varianza para probar la hipótesis $H_0: \beta_1 = 0$ contra $H_a: \beta_1 \neq 0$. Experimento de papa. UAAAN. 1996.

C. V	G. L.	S C	C M	$F_{calculada}$
Regresión (β_1/β_0)	1	1.64	1.64	820**
Residual (E)	10	0.02	0.02	
Total	11	1.66		

El ANVA realizado define la siguiente conclusión: como $F_c \geq F_{\alpha=1\%}$, se rechaza la hipótesis $H_0: \beta_1=0$ y se dice que la regresión es altamente significativa por lo cual se procede al cálculo de la ecuación de predicción:

$$Y_1 = a + b\chi$$

$$= 4.817 + 0.031\chi_i$$

Con valores para χ que van de $43 \leq \chi_i \leq 71$, se sabe que el estimador de β_1 , coeficiente de regresión, es la razón de cambio de la variable Y por cada unidad de incremento de la variable χ . Entonces, la cantidad es el incremento de pH en el suelo por cada unidad de cal dolomita que se adicione a este suelo.

Magnesio

Esta variable para cada uno de los tratamientos estudiados, mostró diferencia altamente significativa y un coeficiente de variación de 3.84 por ciento en la segunda evaluación del suelo (Cuadro 4.1). También mostró diferencia altamente significativa para fuente de nitrógeno e interacción: dosis de cal dolomita * fuente de nitrógeno con un coeficiente de variación de 3.44 por ciento en tercera evaluación del suelo (Cuadro 4.5).

Además, presentó diferencia altamente significativa en planta para fuente de nitrógeno, el coeficiente de variación fue 19.23 por ciento (Cuadro 4.3).

La prueba de Tukey (Cuadro 4.2 y 4.4) mostró diferencia estadística entre valores de medias de magnesio en la segunda evaluación del suelo, obteniéndose valor máximo de $3.31 \text{ cmol kg}^{-1}$ equivalente a 18 por ciento en CICT correspondiente a los tratamientos con dosis baja de cal dolomita. También en planta presentó significancia estadística con mayor valor de 0.58 por ciento para los tratamientos 10 y 12.

Los resultados coinciden con lo señalado por Gros (1992), quien menciona que los suelos demasiado ácidos (ricos en iones hidronios) o demasiado ricos en potasio cambiante o incluso en iones Ca^{2+} , la absorción de magnesio asimilable puede realizarse con dificultad, es lo que se conoce como antagonismo de iones.

Acidez Intercambiable (H + Al)

El resultado de análisis de varianza (Cuadro 4.1) reportó diferencia altamente significativa para tratamientos y un coeficiente de variación de 4.43 por ciento en segunda evaluación del suelo. Además, resultó diferencia altamente significativa para dosis de cal dolomita y fuentes nitrogenadas y su coeficiente de variación fue 7.12 por ciento en la última evaluación del suelo (Cuadro 4.5). Esta variable no mostró significancia estadística para interacciones de factores de estudio.

El comportamiento que tuvo esta variable al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 4.2 y 4.6) fue el siguiente: presentó diferencia estadística tanto en segunda y tercera evaluación del suelo, ya que es una característica sensible a cambios promovidos por adiciones de cal al suelo, así la dosis media de cal dolomita provocó una ligera disminución en su valor de $1.05 \text{ cmol kg}^{-1}$ (siete por ciento en CICT) y máximo para dosis baja de cal dolomita con valor de $1.33 \text{ cmol kg}^{-1}$ equivalente a nueve por ciento en CICT (Cuadro 4.2), similar comportamiento se obtuvo en la tercera evaluación del suelo. En relación a las combinaciones se encontró que los valores más bajos correspondieron a los tratamientos con dosis alta de cal dolomita y baja de fósforo con $\text{NH}_2\text{-N}$ y valores altos en tratamientos con dosis baja de cal dolomita y alta de fósforo con $\text{NH}_4\text{-N}$, con valor inicial de 7.3 cmol kg^{-1} (Cuadro 3.3) y valor final de $0.76 \text{ cmol kg}^{-1}$ (Cuadro 4.6).

Los resultados coinciden con lo señalado por Fassbender y Bornemisza (1994), en que la acidificación se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables (Ca, Mg, K y Na) por iones H^+ + Al, mientras el encalado hace la recuperación de calcio y magnesio; Valente (1987) confirma que la precipitación de fosfatos de aluminio disminuye substancialmente la concentración de P y la deficiencia de fósforo puede enmascarar el efecto del aluminio tóxico; mientras, Simpson (1991) menciona que la acidez es debida a la liberación de iones H^+ en la solución del suelo durante el proceso de conversión del amoníaco a nitrato por acción de bacterias nitrificantes; Porta *et al.* (1994) considera que los problemas son esperables en suelos ácidos en los que la acidez total exceda al 15 por ciento, dentro de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).

Materia Seca

En el análisis de varianza (Cuadro 4.3), sólo reportó diferencia altamente significativa para el factor fuentes de nitrógeno; su coeficiente de variación fue 12.64 por ciento. En comparación de medias, la prueba Tukey no logró mostrar significancia estadística (Cuadro 4.4).

Sin embargo, en el cuadro 4.4 se observa un ligero aumento en las medias de los tratamientos con fuente de nitrógeno en forma de $\text{NH}_4\text{-N}$ e indistintamente de las dosis de cal dolomita y niveles de fósforo evaluados en este trabajo.

Los resultados obtenidos en esta variable fueron relativamente menores por la constitución de la planta de papa que es bastante succulenta, tal como lo señala Salisbury y Ross (1994), quienes reportan que del 15 al 20 por ciento de las plantas no leñosas consisten de elementos esenciales y el resto es agua.

Rendimiento

El componente rendimiento consistió en la obtención de tubérculos no comerciales (tuberculillos). Ocurrencia atribuible a presencia de altas temperaturas diurnas en el interior del invernadero y consideradas extremas respecto a las requeridas por plantas de papa. Las altas temperaturas alteraron la composición de nutrimentos en la planta por aumentos en la disponibilidad de elementos en el suelo, estimulando su

movimiento, traslocación y utilización dentro de la planta.

Para esta variable el análisis de varianza reportó sólo diferencia altamente significativa para el factor fuente de nitrógeno con un coeficiente de variación igual a 18.23 por ciento (Cuadro 4.3). Las medias de esta variable (Cuadro 4.4), al realizar la prueba de Tukey muestran igualdad estadística entre tratamientos. Sin embargo, se aprecia una ligera disminución en valores de los tratamientos con fuente nitrogenada $\text{NH}_4\text{-N}$ con valor de 48.94 g por planta, correspondiente al tratamiento: dosis baja de cal dolomita y de fósforo con $\text{NH}_4\text{-N}$ y máximo valor de 80.93 g por planta para el tratamiento 10.

Los resultados coinciden con Jones *et al.* (1991) quien evaluó plantas de patata a 5°C y 29°C, donde los contenidos de K, Ca, Mg, Mn y Fe, fueron muy altos en brotes de las plantas con alta temperatura y solamente el P en raíces se presentó altísimo, además, K, Mg y Fe disminuyeron su concentración en raíces para altas temperaturas, mientras Ca y Mg no sufrieron cambios a ambas temperaturas.

Estado Nutricional

En el cuadro 4.7 se presentan las concentraciones e índices de los nutrientes N, P, K, Ca y Mg, así como materia seca, IDN y el orden de requerimientos nutricionales de cada uno de los tratamientos aplicados al cultivo de papa. Aunque la prueba de Tukey no encontró diferencia estadística para variables medidas en planta como: concentración

foliar de fósforo y de potasio, materia seca y rendimiento de tuberculillos, se observa ligera diferencia en la variable rendimiento, valores mayores para tratamientos que involucran la aplicación de nitrógeno en forma de $\text{NH}_2\text{-N}$.

Entre el índice de desbalance nutricional y el rendimiento no hay relación estrecha, debido a que no se obtuvo la producción esperada por factores ajenos a la voluntad del tesista.

Los tratamientos más desbalanceados nutricionalmente son: los fertilizados con fuente nitrogenada $\text{NH}_2\text{-N}$ con valor IDN > 85.08 . Lo anterior es comprensible ya que la cal dolomita es fuente de CaCO_3 . MgCO_3 y el $\text{NH}_4\text{-N}$ tiene efecto más tardío con respecto a $\text{NH}_2\text{-N}$. Los valores mayores de IDN fueron para dosis alta de cal dolomita. Conforme a los índices DRIS los nutrimentos K, N y Ca son los más requeridos, mientras que P y Mg son menos requeridos para el cultivo de papa.

Con el tratamiento tres ($\text{Cal}_0 * \text{P}_1 * \text{N}_0$), se obtiene un mayor balance nutrimental, con valor de IDN = 66.24 y orden de requerimiento: $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{N} > \text{P}$, aunque estadísticamente resulta igual al tratamiento uno ($\text{Cal}_0 * \text{P}_0 * \text{N}_0$), con valor de IDN = 84.34 y orden de requerimiento: $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{N}$, este último con la ventaja que demanda menos nivel de fósforo el cual tiene una apreciación económica. Ningún tratamiento pudo presentar balance mayor por la razón de no aplicarse K en este experimento, debido a que se encontró en nivel alto y evitar alteraciones en relaciones de bases cambiables.

Como se puede observar, es difícil interpretar trabajos en los que el factor limitante no es únicamente nutrimental y en estas situaciones el enfoque pierde sensibilidad. Sin embargo, se considera que el DRIS puede detectar los desbalances nutrimentales, por ejemplo el efecto diferente de fuentes nitrogenadas en la planta.

Finalizada la discusión de datos observados en este trabajo, resta decir que los resultados merecen confianza, la cual se ve reflejada en sus respectivos coeficientes de variación. Por lo que estos resultados representan una etapa que sirve como base para la continuidad de futuras investigaciones.

RESUMEN

Los suelos de áreas tropicales húmedas por sus condiciones climáticas presentan una acidificación creciente, donde el pH del suelo tiene incidencia sobre la disponibilidad de nutrimentos y riesgo de toxicidad por otros elementos. La agricultura en estas condiciones aumenta la inversión en insumos como fertilizantes y otros agroquímicos. En otro aspecto, la población se multiplica en relación geométrica y los suelos agrícolas son cada vez más escasos. Por tanto, la investigación deberá enfocarse hacia la búsqueda de alternativas tecnológicas de mejoramiento de las características físico-química del suelo y/o adaptación de cultivares a este medio.

La presente investigación se realizó durante el ciclo de invierno de 1995 al Verano de 1996, en invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con los siguientes objetivos: evaluar dosis de cal dolomita para disminuir en suelo ácido factores limitantes del crecimiento de plantas de papa, cuantificar en suelo y planta el fósforo mineral aplicado y seleccionar fuentes de nitrógeno mineral que incrementen el rendimiento, sin alterar significativamente el pH del suelo. El diseño experimental fue bloques al azar con arreglo factorial completo irregular con cuatro repeticiones. Se evaluaron: 43, 57 y 71 g cal dolomita/ 9.5 kg suelo, 100 y 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ y fuentes de NH₄-N y NH₂-N en 150 kg de N ha⁻¹ respectivamente. Se cuantificó en el suelo: pH, nitrógeno total, fósforo en solución, calcio, magnesio, acidez intercambiable (H+Al),

materia seca y rendimiento. Las variables medidas en planta se analizaron en el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS).

Estadísticamente hay respuesta por tratamiento al encalado y fuente nitrogenada, pero no en niveles fosforados sobre las variables evaluadas. Se concluye que la adición de cal disminuye la acidez intercambiable de la solución del suelo (de 7.23 a 0.69 cmol kg^{-1}) e incrementa el valor pH en suelos ácidos (de 4.15 a 6.83 en dosis alta), el utilizar superfosfato simple en dosis de 100 kg ha^{-1} pone fósforo suficiente a disposición de las plantas, la aplicación de 43 g cal dolomita/ 9.5 kg suelo con 100 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y nitrógeno en forma de $\text{NH}_2\text{-N}$ genera menos acidez en el suelo por unidad de nitrógeno aplicado, además, con la aplicación de dosis baja de cal dolomita y fertilización alta de fósforo combinada con sulfato de amonio se obtiene mejor balance nutrimental, con orden de requerimiento: $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{N} > \text{P}$.

LITERATURA CITADA

- Abruña, F., Pearson, R. W. and Elkin, C. 1970. Qualitive evaluation of soil reaction and base status changes from field applications of residually acid farming nitrogen fertilizer. *Soil Sci. Soc. Amer. USA. Proc.*22:539-542.
- Aguilar, S. A., Alcántar, G. y Etchevers, B. J. D. 1994. Acidez del suelo y encalado en México. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México.* 52 p.
- Alvarado, L. y Cajuste, L. 1996. Fuente de encalado y disponibilidad de fósforo. *Memoria del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Sonora, México.* p. 39
- Arca, M. 1987. Efficient use of phosphorus fertilization in acid tropical soils. *USA.* p. 179-186.
- Beaufils, E. R. 1973. *Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS).* Soil Science Bull. No. 1. University of Natal, South Africa.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.* 83-118.
- Beverly, R. B. 1991. *Diagnosis and Recommendation Integrated System. A practice guide.* Athens, Georgia, USA. p 1 - 32.
- Bohn, H. . McNeal, B. y O'Connor, G. 1993. *Química del suelo.* Arizona, USA. p. 233.
- Bonilla, S. 1993. *Manual de métodos de análisis de suelos.* Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. El Salvador C. A. p. 1-7.
- Boul, S. W., Sánchez, P. A., Cate, R. B. and Granger, M. A. 1975. Soil fertility capability classification. *Soil management in Tropical America North.* Carolina State University. Raleigh. USA.
- Cao, W. and Tibbitts, T. 1994. Responses of potatoes to solution pH levels with different forms of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition.* Madison, Canada. 17(1):109-126.
- Castaños, C. 1993. *Horticultura, manejo simplificado.* Universidad de Chapingo. México, D.F. p. 204-209.

- Cepeda, J. M. 1991. Química de suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 2a. ed. Editorial Trillas. México. p. 113-138.
- Fassbender, H.W. y Molina R. 1969. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un Andosol de Costa Rica. *Fitotecnia Lationamericana*. Costa Rica. 7(1):115-125.
- Fassbender, H. W. y Bornemisza. E. 1994. Química de suelos. Con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Turrialba, Costa Rica. p. 161-183.
- Finck, A. 1987. Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. 2da. ed. Barcelona, España. p. 141-153.
- Foth, H. D. 1992. Fundamentos de la ciencia del suelo. 5a. reimpresión. Michigan, USA. p. 207-222.
- García, E. A. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía de la UNAM. México. p. 246.
- Gaucher, G. 1971. Tratado de pedología agrícola. El suelo y sus características agronómicas. Traducción: Pérez J. M. Barcelona, España. p. 341-355.
- Gros, A. 1992. Abonos, guía práctica de la fertilización. 2ª. Ed. Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Hojito, M., Jigashida, A. Nishimune and Takas. 1987. Effect of liming of grass growth, soil solution composition and microbial activities. *Soil Sci. Plant Nutri.* 33:177-185. USA.
- Jones, B. Wolf, B. and Mills, H. 1991. Plant analysis handbook. Tables of intepretative values. Georgia, USA. p. 184.
- López, A. S. and Cox E. R. 1977. A survey of the fertility status of surface soil under cerrado vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. USA. J.* 41:742-747.
- Mendoza, H. J. M. 1993. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la UAAAN. *Agrometeorología - UAAAN*. México. p. 1-7.
- Micro-Macro Publishing. 1991. Plant nutrition manual. Athens, Georgia. USA. p. 25.
- Navvabzdeh. M. and Malakouti, M. 1993. *Journal of plant nutrition*. Tehran, Iran. 16(8):1409-1416.
- NIVAA. 1990. Catálogo holandés de variedades de papa. 2da. ed. La Haya, Wageningen, Holanda. p. 30-31.

- Núñez, E. R. 1985. Efecto de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado. Serie Cuadernos de Edafología 2. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México, D. F.
- Palmer, R.G. y Troeh, F.R. 1970. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de laboratorio. Traductor: Sánchez F.M. 2a. ed. USA. p. 36-98.
- Pavan, M. y Torres G. 1995. Interpretación de resultados de análisis de suelos y recomendaciones de fuentes orgánicas e inorgánicas para el cultivo del café. PROCAFE. El Salvador C. A.
- Porta, C., López A., y Roquero, L. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 225-241.
- Potash & Pospate Institute. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Potash Phosphate Institute of Canada and Foundation for Agronomic Research. Georgia. USA. p. 16-22.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1994. Fisiología vegetal. 2da. ed. Grupo editorial Iberoamericana. México. P 141-146.
- Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Traducción: Camacho E. Programa de Suelos Tropicales. Universidad Estatal de Carolina del Norte. IICA. San José, Costa Rica. p. 244 -254.
- Simpson, K. 1991. Abonos y estiércoles. 2da. ed. Mundi-Prensa. Zaragoza, España. p. 73-90.
- Tisdale, S. y Nelson, W. 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Traducción: Bolasch J. y Piña C. 2da ed. en Español. editorial UTEHA. New York, USA. p. 444.
- Valente, M. 1987. Condiciones de suelo no favorables al crecimiento de las plantas. Consultoría Embrapa. Brasil. p. 1-37.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Department of Soil Science, University of Reading. USA. p. 602.

APENDICE

Cuadro A.2. Descripción cronológica de principales actividades realizadas durante el desarrollo del experimento de papa. UAAAN. 1996.

Fecha	Actividad
Nov. 95	
16	Localización de suelo con carácter ácido
17	Obtención y transporte de suelo requerido
24	Tamizado del suelo en malla de 0.02 m
25	Desinfección del suelo con bromuro de metilo
Ultimos días	Incubación de suelo en estudio con seis dosis de cal dolomita más testigo para estrechar niveles de encalado a evaluar
Dic. 95	
1eros. días	Primer muestreo de suelo para conocer su fertilidad y capacidad de campo
12	Establecimiento del experimento con aplicación de dosis de cal dolomita
13	Riegos controlados en cantidad y frecuencia a partir de esta fecha
Mar.96	
20	Segundo muestreo de suelo y aplicación del segundo factor de estudio, niveles de P_2O_5 y siembra
Abr. 96	
5	Aplicación del tercer factor de estudio, 25 por ciento de nitrógeno total de cada fuente: $SO_4(NH_4)_2$ y $CO(NH_2)_2$
25	Segunda fertilización con aplicación del 50 por ciento del total de cada fuente nitrogenada.
May.96	
15	Fertilización complementaria con cada fuente nitrogenada evaluada.
Jun.96	
6	Muestreo foliar
Jul.96	
1	Recepa de plantas y determinación de materia seca
5	Cosecha de tuberculillos y tercer muestreo de suelo

Cuadro A.3. Descripción de métodos empleados en análisis de suelos en experimento de papa. 1996.

Elemento	Unidad	Solución Extractora	Componentes	Método Cuantificable
pH	----	Sal Neutra	CaCl ₂ 0.01M	Potenciometría
N _{total}	%	Digestión con H ₂ SO ₄ conc.	Mezcla catalizad. CuSO ₄ .5H ₂ O + K ₂ SO ₄ + FeSO ₄ .7H ₂ O	Semimicrokjeldahl destilación recibiendo en ácido bórico 2%. Titulación con H ₂ SO ₄ 0.05N
P	mg kg ⁻¹	Carolina del Norte	H ₂ SO ₄ 0.025N HCl 0.05N	Espectrofotómetro 680 nm con azul molibdeno
K	cmol kg ⁻¹	Carolina del Norte	H ₂ SO ₄ 0.025N HCl 0.05N	Fotometría de llama Corning 410
Ca	cmol kg ⁻¹	Cloruro K 1N	KCl 1N	Espectrofotometría Absorción Atómica Perkin Elmer 3110
Mg	cmol kg ⁻¹	Cloruro K 1N	KCl 1N	Espectrofotometría Absorción Atómica Perkin Elmer 3110
H + Al	cmol kg ⁻¹	Cloruro K 1N	KCl 1N	Titulación con NaOH 0.01N Indicador Azul Bromotimol

Fuente: Laboratorio PROCAFE. El Salvador C.A.

Cuadro A.4. Descripción de métodos empleados en análisis de tejido vegetal en experimento de papa. 1996.

Elemento	Unidad	Método	Reactivo	Fundamento Químico
N _{total}	%	Digestión y Destilación	Kelpack: K ₂ SO ₄ + CuSO ₄ + MgO	Microkjeldahl
P	%	Digestión Húmeda	(NH ₄) ₆ Mo ₇ .4H ₂ O + NH ₄ VO ₃	Colorimetría
K Ca Mg	%	Digestión Húmeda	Solución: Oxido de Lantano 0.1% . Acidificada con HCl	Absorción Atómica con lámpara de K

Laboratorio: CENTA. El Salvador C. A.

Cuadro A.5. Normas DRIS para papa (Según Beverly, 1991)

Expresión	Media	C.V. (%)
N	6.38	6.7
P	0.48	14.6
K	3.72	19.0
N/P	13.40	13.5
N/K	1.79	23.6
P/N	0.076	12.1
P/K	0.136	26.4
K/N	0.587	21.0
K/P	7.88	27.2
Ca	0.90	23.5
Mg	0.36	42.6
N/Ca	7.56	30.8
N/Mg	20.60	35.3
P/Ca	0.58	37.7
P/Mg	1.57	37.2
K/Ca	4.43	36.4
K/Mg	12.40	43.9
Ca/N	0.14	15.1
Mg/N	0.06	24.7
Ca/P	1.88	19.1
Mg/P	0.75	28.6
Ca/K	0.24	21.3
Mg/Ca	0.10	30.8
Ca/Mg	2.82	33.4
Mg/Ca	0.40	33.0
M.S.	12.00	20.0