

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**DINÁMICA QUÍMICA DEL FÓSFORO EN DIFERENTES
SUELOS CALCÁREOS**

P O R :

JAIME GARCÍA RODRÍGUEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. FEBRERO 1999

TESIS

Que somete a consideración de H. Jurado examinador como requisito
parcial para obtener el Título de
Ingeniero Agrónomo en Suelos

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal: _____

DR. EDMUNDO PEÑA CERVANTES

Asesor :

M.C. ROGELIO A. ALDACO NUNCIO

Asesor:

ING. ANTONIO ILLIZALITURRI VERÁSTEGUI

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

ING. JESÚS VALENZUELA GARCÍA

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México. FEBRERO 1999

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme permitido concluir mis estudios.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes. Por su amistad, apoyo, valiosa colaboración y disponibilidad en la realización de este trabajo.

Al M.C. Rogelio A. Aldaco Nuncio. Por su gran amistad, comprensión, valioso asesoramiento, apoyo brindado, conducción, elaboración y revisión del presente.

Al ing. Antonio Illizaliturri Verástegui. Por sus aportaciones y revisión de este estudio

A mis Maestros del Departamento de Suelos por su ayuda brindada durante el transcurso de mi carrera profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a **Dios** por darme la oportunidad de vivir.

A mi **Madre**. Bertha Luz Rodríguez Abadía, por su amor, confianza, sacrificio, comprensión; que me ha brindado para terminar mi carrera profesional.

A mi **Hermana**. Gabriela, con amor, por el apoyo eterno que me brindó.

A mis compañeros y amigos de la generación 85 del Departamento de Suelos.

A mis amigos :

Carlos Amezcua E.

Adela L. Delgado J.

Gustavo M. G. Carreri.

Eduardo González G.

Miguel A. Hernández P.

Eugenio Hernández

Bonifacio Martínez A

Homero Castellanos D.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pá g.
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Suelos Calcáreos.....	3
2.2 Características de los Suelos de las Regiones de Navidad Nuevo León, Arteaga y Parras Coahuila.....	4
2.3 Cultivo de la Papa.....	6
2.3.1 Generalidades.....	6
2.3.2 Antecedentes.....	6
2.3.3 Importancia económica.....	7
2.4 Fósforo.....	8
2.4.1 Aspectos generales.....	8
2.4.2 Funciones.....	9
2.4.3 En el suelo.....	10
2.4.4 En el cultivo de papa.....	11
2.4.5 Fijación del fósforo.....	16
2.5 Isotermas de Adsorción	20
III MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Localización del Sitio Experimental.....	22
3.2 Materiales.....	22
3.2.1 Suelos.....	22
3.3 Análisis de Suelo.....	23
3.4 Pruebas de Laboratorio.....	26
3.5 Pruebas de Laboratorio al Final del Experimento del Invernadero.....	26
3.6 Experimento de Invernadero.....	27
3.6.1 Preparación de macetas.....	27
3.6.2 Tratamiento del tubérculo.....	27
3.6.3 Siembra	27
3.7 Diseño Experimental.....	30
3.8 Modelo Estadístico.....	30
3.9 Labores de Cultivo.....	31
3.9.1 Riegos.....	31

3.9.2 Control de malezas.....	31
3.9.3 Plagas y enfermedades.....	31
3.10 Variables Evaluadas.....	32
3.10.1 Altura de la planta.....	32
3.10.2 Número de tallos por planta.....	32
3.10.3 Número de peciolo promedio por planta.....	32
3.10.4 Peso seco de planta.....	33
3.10.5 Número de tubérculos	33
3.10.6 Peso promedio de tubérculo.....	33
3.10.7 Peso total de tubérculos.....	33
3.10.8 Diámetro polar y ecuatorial.....	33
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1 Altura de la Planta	34
4.2 Número de Tallos por Planta	36
4.3 Número de Peciolo Promedio por Planta	39
4.4 Peso Seco de Planta	42
4.5 Número de Tubérculos	44
4.6 Peso Promedio de Tubérculo	47
4.7 Peso Total de Tubérculos	50
4.8 Diámetro Ecuatorial de tubérculo.....	53
4.9 Diámetro Polar de tubérculo.....	55
4.10 Pruebas de Laboratorio Preliminares.....	58
4.10.1 Isotermas de Temkin.....	58
4.10.2 Curvas de Desorción.....	59
4.11 Pruebas de Laboratorio al Terminar el Experimento.....	61
V CONCLUSIONES	69
VI RESUMEN	71
VII LITERATURA CITADA	73
APÉNDICE	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
4.1 Altura de planta (cm) de los cuatro sitios estudiados.....	36
4.2 Número de tallos por planta de los cuatro sitios estudiados.....	39
4.3 Número de peciolo promedio por planta de los cuatro sitios estudiados.....	41
4.4 Peso seco de planta (g) de los cuatro sitios estudiados.....	44
4.5 Número de tubérculos por planta en cuatro sitios de estudio.....	47
4.6 Peso promedio de tubérculos (g) de los cuatro sitios estudiados.....	49
4.7 Peso total de tubérculos (g) de los cuatro sitios estudiados.....	53
4.8 Diámetro ecuatorial de tubérculo (cm) de los cuatro sitios estudiados.....	55
4.9 Diámetro polar de tubérculo (cm) de los cuatro sitios estudiados.....	57
4.10 Isotermas de adsorción de Temkin.....	59
4.11 Curvas de desorción de fósforo.....	60
4.12 Fósforo en solución Método de Vander Paauw	62
4.13 Fósforo extractable método Olsen	63
4.14 Altura de planta en función del fósforo liberado	64
4.15 Peso total de tubérculos en función de fósforo liberado	65
4.16 Isotermas de adsorción de acuerdo al modelo de Temkin.....	66
4.17 Desorción de fósforo en función de los tratamientos.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
3.1. Métodos de los análisis de suelo para los diferentes suelos.....	24
3.2. Resultados de los análisis físicos y químicos de suelos de los cuatro suelos en estudio.....	25

3.3.	Dosis de productos químicos para la prevención de enfermedades del cultivo de la papa.....	28
3.4.	Tratamiento del experimento con diferentes concentraciones de fósforo.....	29
3.5.	Dosis de elementos mayores que se utilizaron en el experimento	29
3.6.	Dosis de micronutrientes utilizados en el experimento.....	29
4.1.	Número de tratamientos y concentración de los valores de altura de planta en orden descendente, centímetros.....	35
4.2.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de altura de planta en las cuatro localidades estudiadas.....	35
4.3.	Número de tratamientos y concentración de los valores de número de tallos por planta en orden descendente.	37
4.4.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de número de tallos por planta en cuatro localidades.....	38
4.5.	Número de tratamientos y concentración de los valores de número de peciolo promedio por planta en orden descendente .	40
4.6.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de número de peciolo promedio por planta en cuatro localidades.....	40
4.7.	Número de tratamientos y concentración de los valores de peso seco de planta en orden descendente, gramos.....	42
4.8.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso seco de planta en cuatro localidades.....	43
4.9.	Número de tratamientos y concentración de los valores de número de tubérculos en orden descendente.....	45
4.10.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de número de tubérculos en cuatro localidades.....	46
4.11.	Número de tratamientos y concentración de los valores de peso promedio de tubérculos en orden descendente, gramos.....	48
4.12.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso promedio de tubérculos por planta en cuatro localidades.....	48
4.13.	Número de tratamientos y concentración de los valores de peso total de tubérculos en orden descendente, gramos.....	51
4.14.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso total de tubérculos por planta en cuatro localidades.....	51
4.15.	Número de tratamientos y concentración de los valores de diámetro ecuatorial de tubérculo en orden descendente, cm.....	54
4.16.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de Diámetro ecuatorial de tubérculo en cuatro localidades.....	54
4.17.	Número de tratamientos y concentración de los valores de diámetro polar de tubérculo en orden descendente, cm.....	56
4.18.	Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de diámetro polar de tubérculo en cuatro localidades.....	57

I INTRODUCCIÓN

En el Norte de México existe una gran superficie de suelos áridos y semiáridos, las características del clima han contribuido notablemente a la formación de suelos que tienen limitaciones en cuanto a erosión, profundidad, texturas arcillosas, pH básicos, altos contenidos de carbonatos, poca materia orgánica, y presencia de sales solubles.

Estas limitaciones generan varios problemas relacionado con la nutrición de los cultivos, la más destacada es la fertilización fosfatada, la cual debe tomar en cuenta la interacción entre los factores Intensidad, Cantidad y Capacidad amortiguadora, para la determinación de la relación entre el P disponible y el estado del fósforo en el suelo, el factor Intensidad (I), se considera que está altamente correlacionado con la disponibilidad del fósforo en la planta, el factor Cantidad (Q) es la cantidad de fósforo que es adsorbido en la superficie del suelo y la Capacidad amortiguadora es la relación que existe entre los dos factores anteriores. Dada por la gran capacidad de fijación de fósforo que poseen los suelos que interfiere en el desarrollo de los mismos.

En la región de Saltillo, se siembran 5,550 hectáreas de papa, donde este cultivo es redituable; una tercera parte del costo de producción corresponde a la fertilización fosfatada que se aplica en mayor cantidad que los demás nutrimentos y algunos productores aplican 400 kg de P_2O_5 por hectárea.

Una fuente viable para cubrir los requerimientos de este nutrimento es el ácido fosfórico (H_3PO_4) debido a su bajo costo, además su característica ácida puede bajar el pH de los suelos de ésta región, y por otro lado el fósforo insoluble que se encuentra en el suelo cambiará a fósforo disponible.

OBJETIVOS:

Determinar la capacidad de fijación y desorción del fósforo en los suelos estudiados.

Evaluar la producción de biomasa en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) bajo la aplicación de diferentes niveles de fósforo en condiciones de invernadero.

HIPÓTESIS:

Existen algunas propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en el proceso de fijación de fósforo.

El proceso de fijación de fósforo limita la producción de biomasa en el cultivo de papa.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Suelos Calcáreos

El suelo funciona como fuente de alcalinidad de aquellas sustancias que al reaccionar con el agua originan iones hidróxilo (OH^{-1}) el Al^{+3} e H^{+1} adsorbidos por el complejo de cambio; y se reemplazan por elementos alcalinos y alcalinos térreos, como calcio, magnesio, potasio y sodio. La concentración de H^{+1} en la solución del suelo disminuye y aumenta la concentración de OH^{-1} y pH. Los cationes metálicos, calcio magnesio, potasio y sodio influyen directamente en la concentración de OH^{-1} por medio del equilibrio que existe entre el complejo de cambio y la solución del suelo. Cuanto mayor es la participación de los elementos alcalinos y alcalino térreos en la cubierta del complejo, mayor será el pH del suelo (Fassbender, 1975.).

Los principales problemas que se presenta en los suelos calcáreos cultivados, están relacionados con la disponibilidad de ciertos nutrimentos para las plantas. Los elementos que normalmente presentan baja disponibilidad en estas condiciones son: fósforo, hierro, zinc, manganeso, cobre y boro (Mortvedt, 1983; Russell y Russell, 1968; y Sprague, 1964.).

Cuando un suelo calcáreo contiene carbonato de calcio y se le agrega HCl puede observarse una reacción (burbujeo) que demuestra el desprendimiento de CO_2 . El CaCO_3 es relativamente insoluble, pero cuando

está presente en el suelo, forma una presión constante para saturar el intercambio con calcio, de tal forma que los suelos calcáreos están 100 por ciento saturados con bases y el pH está controlado principalmente por la hidrólisis del carbonato de calcio (Miller et al., 1972 y León, 1984.).

La disponibilidad del fósforo en suelos calcáreos es baja debido a que el CaCO_3 produce inmovilización temporal o permanente del ion fosfato; los fosfatos aplicados en el fertilizante son cambiados a formas menos solubles, debido a precipitación y adsorción(Rone y Cajuste, 1980; citado por Narro, 1985.).

2.2 Características de los Suelos de las Regiones de Navidad Nuevo León, Arteaga y Parras Coahuila

En la región de Navidad N.L., se encuentran lomeríos y sierras, en los extremos del valle provienen de rocas sedimentarias de lutitas-areniscas las cuales provocan acumulación de materiales que mediante el acarreo de materiales de partes altas a partes bajas, originando, suelos aluviales.

De acuerdo a las cartas del INEGI (CETENAL), el suelo que predomina en donde se siembran el cultivo de papa es:

Hg-Is/2 Xerosol gípsico de textura media ligeramente salino de 4-8 dS/m a 25 ° C. Estos suelos presentan un horizonte A ócrico y un régimen de humedad árido y además presentan un horizonte gípsico en los primeros 125 cm.

En la Sierra de Arteaga, Coahuila; la mayor parte está formada por rocas sedimentarias lutitas-areniscas, la cual provoca en los terrenos con pendientes pronunciadas suelos delgados en su mayoría.

Los suelos que predominan en ésta región de acuerdo a las cartas del INEGI (CETENAL) son los siguientes:

I+e/2 Litosoles con intrusión de rendzinas de textura media.

Son suelos poco profundos donde sobreyace inmediatamente material calcáreo con equivalente de carbonato de calcio mayor del 40 por ciento.

E +I/2 Rendzinas con intrusión de litosoles de textura media.

Suelos en los cuales se presenta material calcáreo subyacente a un horizonte A mólico.

Los suelos encontrados en extensiones muy pequeñas; generalmente en pequeños valles o mesetas son:

Hg/2 Xerosoles gípsicos de textura media.

Suelos que presentan un horizonte A ócrico y con presencia de un horizonte gípsico en los primeros 125 cm dentro del perfil del suelo; presenta en dichos suelos fase física, petrocálcica y petrocálcica profunda.

2.3 Cultivo de la Papa

2.3.1 Generalidades

La papa se encuentra difundido en Bolivia, Chile, Guatemala, Perú, Norte de México y el Sur de los Estados Unidos, varias especies se utilizan como producto alimenticio e industrial. El tubérculo que se forma sobre los estolones subterráneos es de diferentes longitudes y se presenta con aspecto de pulpa compactada de formas variadamente redondas, de tamaños diferentes, recubiertas de una cáscara de diversos colores, provistas de pequeñas cavidades, en las cuales se alojan las yemas con funciones germinativas. (Howkes y Hjerting, 1969.).

2.3.2 Antecedentes

Se considera que en la cordillera de los Andes, en América del Sur es el lugar de origen de la papa (Alsina, 1972.).

Se cree que el único centro de origen es en los Andes de América y un tiempo después este cultivo se extendió a México, Virginia, etc. (Wittmarck, 1975.).

2.3.3 Importancia económica

El cultivo de la papa presenta características de gran interés al compararlo con cereales o leguminosas tradicionales, pues lo supera ampliamente en rendimiento, principalmente carbohidratos, producido por unidad de superficie y calidad, ya que el cultivo produce más proteína por hectárea después de la soya. Su proteína es balanceada con alto contenido de lisina, posee minerales, tales como el calcio, hierro magnesio, potasio y cantidades substanciales de vitamina C y riboflavina (Maldonado, 1982.).

Se menciona que la importancia a nivel mundial indica el área que se dedica al cultivo de la papa, que es alrededor de 22 millones de hectáreas con una producción media de 13.3 ton/ha (M.P.E.A. en 1982). Partiendo de lo anterior, se razona que la papa es la planta dicotiledónea más importante como fuente de alimentación humana; ocupando el cuarto lugar entre los principales cultivos alimenticios del mundo. Siendo que el rendimiento en proteína por unidad de área excede al trigo, arroz y maíz (Rángel, 1987.).

Su alto rendimiento unitario, así como su gran valor nutritivo se expresa en un elevado contenido de carbohidratos, vitaminas y proteínas, lo que hace que la papa sea considerada la hortaliza de mayor importancia en la actualidad (Sánchez, 1988.).

2.4 Fósforo

2.4.1 Aspectos generales

El desarrollo de la industria de los fertilizantes fosfatados se inicio propiamente con la demostración de Liebig (1840), mencionando que el valor fertilizante de los huesos podría aumentarse al aplicarles un tratamiento con ácido, posteriormente Jhon B. Lawes (1942) patentó un procedimiento, por medio del cual la roca era acidulada con ácido sulfúrico para la obtención de superfosfato (Cabido, 1979.).

Al fósforo se le llama la llave maestra de la agricultura, ya que la baja producción de los cultivos es directamente proporcional a la falta de fósforo, y no a la de cualquier otro elemento, exceptuando tal vez, del nitrógeno (Tamhane et al; 1978.).

El nitrógeno, fósforo y azufre, forman aniones complejos con el oxígeno, pero la solubilidad de los fosfatos es baja, lo cual disminuye prácticamente su disponibilidad, constituyendo una desventaja. El pH que favorece la disponibilidad del fósforo se encuentra a la neutralidad o ligera acidez. En condiciones débilmente alcalinas, existe calcio en abundancia en el suelo, lo cual favorece la conversión de fósforo soluble en hidroxiapatito $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ u otros fosfatos de calcio poco solubles. En pH cercano a 8 o levemente superior, la solubilidad de estos materiales es tan baja, que con frecuencia se presentan deficiencias. Puede así, existir una abundancia de compuestos sólidos de fósforo en el suelo, al tiempo de satisfacer los requerimientos de los cultivos. La

mayor parte de los cultivos, utilizan cada año entre 10 y 30 kg/ha de fósforo (Thompson y Troeh, 1980.).

2.4.2 Funciones

Fundamentalmente, al igual que el nitrógeno no existe otro elemento tan decisivo para el crecimiento del cultivo como el fósforo, esto se debe a las funciones que cumple dentro de las plantas, por ejemplo, contribuye favorablemente a la división y crecimiento celular, la formación de albuminas, la floración, fructificación, formación de semillas, desarrollo radicular, también la deficiencia de fósforo que ocasiona el grado de disponibilidad de otros nutrimentos (Buckman y Brady, 1977.).

El fósforo es un macroelemento que participa en la fisiología de la planta, el proceso más importante que constituye del ácido nucleico, la fitina y los fosfolípidos, y favorece el crecimiento rápido y vigoroso en el crecimiento de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1980.).

El fósforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El fósforo mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y además es vital para la formación de la

semilla. El fósforo está involucrado en la transferencia de características hereditarias de una generación a otra (INPOFOS, 1997.).

2.4.3 En el suelo

Para obtener altos rendimientos, es necesario aplicar fertilizantes fosfóricos a la mayoría de los suelos. En otras palabras, los suelos no son capaces de proporcionar por si mismos suficientes fosfatos para el crecimiento óptimo de los cultivos durante el periodo de vegetación de éste. Por lo tanto, éste es un problema importante en la agricultura e inquieta seriamente las mermadas reservas mundiales de fosfatos minerales (Collis-George et al; 1971.).

Los suelos de las regiones áridas donde la presencia de calcio es elevada y la región del suelo alcalino el principal mineral fosforado lo constituye el apatito que es un compuesto casi insoluble. Mientras que en los suelos de las regiones húmedas el fósforo se encuentra principalmente como variscita $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y strengita $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Thompson y Troeh, 1980).

El fósforo que se encuentra en el suelo, se clasifica como orgánico cuando proviene de residuos vegetales y animales del terreno, e inorgánico cuando procede del mineral apatito $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, el cual es un constituyente común de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Buckman y Brady, 1970; García y García, 1982; León, 1984.).

2.4.4 En el cultivo de papa

En estudios realizados sobre fertilización de papa, Odlan (1956) menciona que el fósforo desempeña un papel importante en la nutrición vegetal, ejerce un papel primordial en la síntesis de carbohidratos y en el metabolismo de las grasas en general, éste elemento al igual que el nitrógeno, aumenta el crecimiento de las raíces, influyendo así en la producción de tubérculos por la planta, pero no en el tamaño de los mismos.

Lazcano (1981), realizó un estudio en suelos calcáreos de la región de Derramadero, Coahuila; en el cultivo de la papa, probando niveles de nitrógeno, fósforo y potasio siendo los niveles de fósforo desde 50-290 kg/ha de P_2O_5 y no encontró respuesta estadística significativa al agregarle este nutrimento, sin embargo, al analizar económicamente la producción de cada uno de los tratamientos, encontró que la aplicación de 130 kg de P_2O_5 por hectárea es una buena opción para productores.

Trabajando en suelos calcáreos de la región de Navidad, N.L.; en el cultivo de papa probando las dosis de fósforo de 150, 300 y 450 kg/ha, de P_2O_5 con cuatro mejoradores del suelo (vermiculita y perlita en dosis de 2 ton/ha, y azufre y guano de murciélago en dosis de 1 ton/ha), Méndez (1982) encontró

diferencias altamente significativas en la producción de tubérculos, siendo los mejores tratamientos, vermiculita combinada con 450 kg/ha de P_2O_5 con rendimiento de 41.3 ton/ha, y azufre combinado con 150 kg/ha de P_2O_5 con una producción de 34.7 ton/ha.

Se realizaron estudios en la región de Navidad, N.L. con diferentes dosis de fertilizante fosfatado y diferentes niveles de vermiculita sobre desarrollo y rendimiento de la papa se encontró que el contenido de fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes como el fierro, manganeso, cobre y zinc aparentemente se incrementa en presencia de vermiculita, siendo mayor su contenido en la medida que aumenta la cantidad de mejorador. Además los parámetros de la planta (altura, peso seco de: raíz, tubérculo, follaje y total) fueron estimulados por la adición de vermiculita y fósforo y que los resultados encontrados en el estudio, aunque de ninguna manera son concluyentes, al aparecer, evidencian que se logró quebrar la curva de respuesta del fósforo en el cultivo de papa, en el nivel de 450 kg/ha de P_2O_5 combinado con 2 ton/ha de vermiculita (Ortíz 1983.).

Para cubrir los requerimientos externos del cultivo de papa correspondiente a la intensidad de 0.2 mg/kg de fósforo en la solución del suelo las dosis de fertilización fosfatada recomendadas en base a las isotermas de adsorción de Temkin, fue 464 kg/ha para el suelo del Bayonero (Ortega, 1986.).

En una investigación en macetas, utilizando suelos de Shimla, Kufri y Galoo de Pradesh, India, en el cultivo de papa de la variedad Kufri Jyoti, se evaluó 0, 100 y 200 mg/kg de P_2O_5 , con una dosis base de 100 mg/kg de nitrógeno y 100 ppm de K_2O ; y 0, 200 y 100 mg/kg de nitrógeno y 80 mg/kg de P_2O_5 . Se incrementó el rendimiento de materia seca total con aplicaciones de fósforo en el suelo de Kufri; sin embargo, en los dos ciclos posteriores el fósforo residual no afectó la producción de materia seca en ningún suelo. La absorción de fósforo se incrementó en el suelo de Shimla únicamente (Sud y Negi, 1991.).

En Cuba, los experimentos de campo en un suelo ferralítico rojo compactado, en el cultivo de papa de variedad Desiree, la absorción de Zn, Mn, N, P y K, incrementaron al aumentar el nitrógeno. Las concentraciones de Zn, Mn y B fueron más altas mientras que la de fósforo fue más baja en tallos que en tubérculos, el rendimiento de tubérculos fue correlacionada con la absorción de todos los elementos excepto el Mn (Arozarena, et al. 1991.).

En experimentos de campo en siete localidades en Strevlage, Alemania, en 1987-89, en el cultivo de papa variedades Adretta, Astilla, Karat y Koretta, se hicieron aplicaciones en primavera de 0, 20, 40 y 60 kg/ha de P/ha y en

otoño se aplicaron 40 kg de fósforo con superfosfato o superfosfato triple. Los contenidos iniciales de fósforo y potasio fueron de 5.1 a 13.5 y de 8.0 a 15.0 mg/100 g de suelo respectivamente, a una profundidad de 0 a 20 cm obteniendo un promedio de los tres años de la producción de materia seca de tubérculos de 5.3 ton/ha sin aplicar fósforo; y con una aplicación de fósforo en otoño de 5.7 ton/ha y 6.2, 6.7 y 6.8 ton/ha aplicando 20, 40 y 60 kg de fósforo en primavera respectivamente. Los rendimientos correspondientes de almidón fueron 3.8, 4.1, 4.4, 4.9 y 4.7 ton/ha respectivamente, y la absorción de fósforo (tomando como referencia el rendimiento de tubérculo) fue 10.7, 12.1, 13.4, 14.7 y 15.0 kg/ha (Röhricht, 1992.).

En las temporadas de invierno de 1989-91, en experimentos de campo en suelo migajón arenoso en Kalyani, en el oeste de Bengala, el cultivo de papa variedad Kufri Badsmah, fue fertilizado con el 75 y 100 por ciento de la dosis de fertilización recomendada de NPK (100-100-100), aplicando fósforo con superfosfato simple y fosfato diamonio. La producción de materia seca a los 60, 80 y 100 días después de la siembra y el rendimiento de tubérculos fue más alto con el 100 por ciento de la dosis de fertilización aplicando el fósforo con fosfato diamonio. Las absorciones de N, P, K y S fueron más altas con el 100 por ciento de la dosis de NPK aplicando el fósforo con superfosfato simple (Mondal et al., 1993.).

Los niveles de fósforo disminuyen durante la etapa de crecimiento en las diferentes partes de la planta, cuando estos son deficientes, bajos, suficientes, altos y tóxicos de fósforo (Walworth y Muñiz, 1993.).

Un experimento realizado en suelos calcáreos en las localidades de Navidad, N.L. y la Sierra de Arteaga, el porcentaje de fósforo en las partes de plantas analizadas fue muy bajo, la eficiencia de absorción de fósforo fue negativa, esto indica que en este estudio, no se detectó un incremento de fósforo en el suelo con la aplicación de fertilizantes líquidos ácidos y sólidos, en una forma medible a través de la eficiencia de absorción por el cultivo de papa. Además, en rendimiento no hubo diferencias significativas entre tratamientos en las dos localidades, en la Sierra de Arteaga se obtuvieron rendimientos de 28.952 kg/parcela útil y en el testigo hasta 36.096 kg/parcela útil en el tratamiento cinco, en Navidad, N.L., de 9.944 kg/parcela en el testigo hasta 13.816 kg/parcela en el tratamiento (Morales, 1996.).

2.4.5 Fijación de fósforo

Estudios realizados en doce suelos argentinos, sin fertilización, se determinó el efecto de los fosfatos nativos adsorbidos sobre la descripción de la adsorción de fosfatos según la ecuación de Freundlich y la capacidad

amortiguadora del suelo hacia los fosfatos. Se usaron dos tipos de medidas de los fosfatos nativos adsorbidos: un coeficiente adicional de la ecuación de Freundlich y los fosfatos isotópicos intercambiables. Ambos fueron incluidos en la ecuación como un término interceptor. La inclusión de las dos medidas mejoró la descripción de la adsorción de los fosfatos en la mayoría de los suelos. Cuando se tomó en consideración cualquiera de las dos mediciones, se observó un desplazamiento hacia abajo de la curva de adsorción y un aumento en la inclinación de esa curva. Consecuentemente, se observaron diferencias apreciables en los valores de capacidad "buffer" de fosfatos obtenidos entre las curvas de adsorción, especialmente cuando se midió la capacidad amortiguadora a bajas concentraciones de fosfatos. Esto sugiere que al caracterizar la capacidad "buffer" de los suelos, se debe considerar la estimación del fósforo nativo adsorbido, antes de decidir su inclusión en los cálculos (Mendoza, 1989.).

Raven y Hossner, (1993) desarrollaron una investigación para evaluar las características de la desorción de P de cinco diferentes suelos de Texas, EUA., al mismo tiempo se compararon varios modelos empíricos para describir las curvas de desorción Q/I. Estos investigadores encontraron que la capacidad de liberación de P de los suelos estudiados, fue relativamente baja.

Los mismos autores (1994), compararon los parámetros de adsorción y de desorción así como los índices de disponibilidad de P del suelo, en cinco

suelos de Texas, EUA. Los datos de adsorción y de desorción de P fueron relacionados al crecimiento del maíz y a los resultados de absorción de P de un experimento de invernadero. Los factores Intensidad y Capacidad derivados de las curvas de adsorción y desorción Q/I no fueron buenos indicadores de la capacidad de suplementar P del suelo, pero el Q_{max} fue mejor relacionado al crecimiento de la planta y a la absorción de P. Estos resultados sugieren que un parámetro cuantitativo específico, ganado de las relaciones de desorción de P (Q/I) es más útil y significativo que cualquier parámetro obtenido de las curvas de adsorción de P, cuando se evalúa la disponibilidad de P en el suelo.

Al evaluar cuatro métodos (Bray P-2, Olsen, Soltanpour, y Mehlich) para la extracción de P disponible en 12 suelos alcalinos en el Valle de Cocula, Guerrero, determinando; carbonato de calcio total, carbonato activo, pH y contenido de arcilla, pesando dos kg de suelo aplicando tres niveles de fósforo 0, 300, 600 mg/kg y como fuente de P ácido fosfórico. Solís et al., (1992) suponen que el carbonato de calcio activo contrariamente al $CaCO_3$ total, probablemente esté asociado con algunas de las formas de P extraídas por los métodos empleados en este estudio. Debido a que el carbonato de calcio activo y total, pH, y arcilla del suelo fueron las características que resultaron asociadas de manera significativa con el rendimiento de materia seca y la extracción de fósforo por la planta.

En un experimento realizado a nivel invernadero, se utilizó un suelo vertisol recolectado en Villa de Ayala, Mor. Las características de este suelo

fueron, pH 8.6 y 22, 515 mg/kg de Ca soluble. El suelo con tres repeticiones se colocó en bancales y fue sometido a un periodo de inundación de 45 días y cada 15 días, se tomaron muestras para evaluar cambios en fosfatos y fosfatos de hierro; al final del experimento se evaluó la cantidad de fósforo disponible, luego se dejó secar el suelo y se sembró sorgo, el cual se desarrolló durante 60 días, al cosecharlo se determinó su peso seco. La inundación favorece la conversión de formas no solubles de fósforo a fósforo disponible y al aumentar el fósforo disponible permitió un desarrollo normal de sorgo en el tratamiento de inundación (Vergara,1992.).

Se estudió en laboratorio el efecto de la aplicación de cal y P sobre la retención y extracción de este último en suelo derivado de cenizas volcánicas en Tancitáro, Michoacán, Mex. Se evaluó el P extractable y se estimaron los parámetros b (capacidad máxima de adsorción) y k (constante relacionada con la energía de enlace) de la isoterma de Langmuir. El efecto de la aplicación de P sobre la extracción de P y el parámetro b no fue significativo, aunque se observó una ligera reducción de la adsorción de P en algunos suelos. La energía de enlace disminuyó con el encalado y la aplicación de fósforo (Alvarado, 1993.).

Agbenin y Tiessen (1995), investigaron el tiempo dependiente de la adsorción de P y la transformación de cinco suelos de la parte semiárida del Noreste de Brasil con la ayuda de los modelos cinéticos y extracción secuencial, concluyendo que la ecuación simplificada de Elovich estima

adecuadamente la cantidad de P inmovilizado por coloides inorgánicos y orgánicos durante un séptimo período.

Aldaco (1989) menciona que la máxima adsorción (b) de P en suelos de Navidad, N.L., fue de 478.01 mg/kg y constató que al aplicar los tratamientos de P_2O_5 en estudio las cantidades fueron relativamente bajas, éstas incrementaron ligeramente la intensidad de P en la solución del suelo ya que la mayoría del mismo fue fijado.

El mismo autor, señala que la retención de fósforo en los suelos de Derramadero y Navidad, N.L.; no está en función únicamente de la capacidad máxima de fijación (b) si no más bien de un conjunto de factores, inherentes al tipo de suelo, así como también a factores de tipo ambiental lo que propició a lo largo del ciclo que el (P) no haya sido el único factor del cual dependiera totalmente el rendimiento del cultivo.

2.5 Isotermas de Adsorción

Las Isotermas de adsorción describen la fijación de solutos por los sólidos a temperaturas constantes y en términos cuantitativos. La Isoterma de adsorción enseña la cantidad de adsorbato fijada por un adsorbente como una función de la concentración de equilibrio del adsorbato (Ortega, 1986).

López – Hernández et al., (1981) concluyen que preferentemente hay que utilizar los diagramas de partición que incluyen los factores Q conocidas como Isotermas de Adsorción. El modelo de la Isoterma de Langmuir se ajusta bien en las bajas dosis de 0-5 mg/kg de P, mientras que el modelo de Temkin permite ajustar hasta 12 mg/kg de P en la solución de equilibrio. Además de encontrar que la retención de P en los suelos estudiados está relacionada con los niveles de Fe, Al y con algunas características texturales.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Sitio Experimental

El experimento se realizó en el Laboratorio de Química de Suelos del Departamento de Suelos y en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual se localiza geográficamente a 25° 22' Latitud Norte, y 100° 00' Longitud Oeste con 1742 msnm, en Buenavista Saltillo, Coahuila.

3.2 Materiales

3.2.1 Suelos

Para este experimento se realizó una identificación y selección de los puntos de estudio, en seguida se procedió a hacer la obtención de las muestras acorde a los principios del muestreo de suelo utilizando las cartas de suelos en diferentes escalas, para ubicar los sitios de muestreo.

Se utilizaron suelos que se ubican en las principales zonas agrícolas, situadas dentro del área de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Siendo estas, la región de Derramadero, Coahuila y Navidad, Nuevo León, ubicadas geográficamente entre 25° 02' y 25° 17' de Latitud Norte

y de Longitud Oeste respecto al meridiano de Greenwich $100^{\circ} 37'30''$ y $101^{\circ} 17'45''$, los ranchos son los siguientes; "El Bayonero" de Arteaga Coah., "El Venado" de Parras, Coah., "El Potrero" de Navidad, N. L y "El Erial" de Galeana, N. L.

Después se trasladó el suelo a la Universidad, se extendió para obtener un rápido secado, posteriormente se tamizó con una malla de 0.5 cm y de 0.2 mm para los análisis de suelo.

3.3 Análisis de Suelo

Se determinaron las propiedades físicas y químicas de los diferentes suelos en estudio (Cuadro 3.1).

En el Cuadro 3.2 se muestran los resultados de los análisis físicos y químicos de los diferentes suelos. Se pueden observar algunas características del suelo que de acuerdo a la literatura influyen en forma notable en la capacidad máxima de retención de fósforo. Así para el suelo del Bayonero destacaron la cantidad de arcilla (45 %) y el pH (7.8); en el suelo del Venado el contenido de materia orgánica (3.18%), de bicarbonatos, (5.3 meq/L) y la capacidad de intercambio catiónico (73.42 meq/100 g); en el suelo del Potrero el porcentaje de arcilla, la densidad aparente (1.14 g/cm^3) y los carbonatos totales en segundo término; y en el suelo el Erial destacaron el pH, carbonatos totales, calcio, magnesio, sulfatos, no obstante que su valor de contenido de arcilla es el más bajo.

Cuadro 3.1. Métodos de los análisis de suelo para los diferentes suelos.

Características	Unidades	Método
Materia orgánica	%	Walkley y Black
Nitrógeno total	%	Kjeldahl
Fósforo aprovechable	mg/kg	Olsen
Potasio intercambiable	%	Cobaltinitrito de sodio
Carbonatos totales	%	Volumétrico
pH	2:1	Potenciómetro
CIC	meq/100 g	Acetato de amonio
Extracto de salinidad		
CE	dS/m	Puente de Wheastone
Calcio	meq/L	Volumétrico
Magnesio	meq/L	Volumétrico
Carbonatos Solubles	meq/L	Volumétrico
Bicarbonatos	meq/L	Volumétrico
Cloruros	meq/L	Volumétrico
Sulfatos	meq/L	Gravimétrico
Densidad aparente	g/cm ³	Probeta
Textura	%	Hidrómetro de Boyoucos

Cuadro 3.2. Resultados de los análisis físicos y químicos de suelos de los cuatro suelos en estudio.

	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
Materia orgánica (%)	2.84	3.18	3.01	2.49
Nitrógeno total (%)	0.28	0.29	0.30	0.28
P aprovechable (mg/kg)	51.99	50.72	43.11	31.35
K intercambiable (kg/ha)	986.22	939.94	720.11	847.4
Carbonatos totales (%)	16.16	13.93	20.04	25.26
pH 2:1	7.80	7.70	7.70	7.80
CIC (meq/100 g)	41.73	73.42	63.47	68.78
CE (dS/m)	1.01	1.80	1.80	3.90
Extracto de salinidad				
Calcio (meq/L)	8.50	15.50	12.70	24.00
Magnesio (meq/L)	3.50	0.80	8.80	19.50
Carbonatos solubles (meq/L)				
Bicarbonatos (meq/L)	0.00	0.00	0.00	0.00
Cloruros (meq/L)	4.00	5.30	4.50	3.80
Sulfatos (meq/L)	5.00	5.00	5.00	8.50
Densidad aparente (g/cc)	28.70	17.10	32.60	64.3
Arena %	1.11	1.09	1.14	1.08
Limo %	10.45	48.10	35.90	48.40
Arcilla %	44.55	29.40	40.35	49.10
Textura	45.0	22.50	23.80	2.50
	Arcillo limoso	migajón	migajón	m.arenoso

3.4 Pruebas de Laboratorio

Se colocaron 50 g de cada suelo seco y tamizado de 2 mm en frascos de

plástico de 100 mL de capacidad, los niveles utilizados en las pruebas de desorción de fósforo fueron los siguientes 0, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 1000, 1500 2000 y 2500 mg/kg de P por duplicado; como fuente de P se agregó la solución $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a la superficie del suelo y las muestras se incubaron a 25 °C por 31 días, manteniéndolas a capacidad de campo. Posteriormente, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente destruyéndose los terrones y dejando listas las muestras para efectuar las pruebas de desorción. El fósforo hidrosoluble se determinó por el método modificado de Vander Paauw, y el fósforo extractable por el método de Watanabe y Olsen, estas pruebas se corrieron por duplicado y desarrollando la coloración azul del complejo fosfomolibdico utilizando el ácido ascórbico como reductor, ya que éste método produce coloración estable por 24 horas.

3.5 Pruebas de Laboratorio al Final del Experimento

Al concluir el experimento de invernadero, se tomaron muestras de los suelos, para determinar la cantidad de P en solución por los métodos de Vander Paauw y Osen, las Isotermas de Temkin, las relaciones de desorción de fósforo, las relaciones de fósforo liberado con respecto al peso total de tubérculos y altura de planta, dichas pruebas se efectuaron para cada tratamiento y repetición.

3.6 Experimento de Invernadero

3.6.1 Preparación de macetas

El trabajo de invernadero se inició con el traslado de las muestras de suelo de los cuatro sitios al invernadero, el cual se extendió para secarse, se tamizó y esterilizó con bromuro de metilo y en seguida se procedió a llenar las macetas de plástico colocando cinco kg de suelo.

3.6.2 Tratamiento del tubérculo

Con el propósito de evitar enfermedades los tubérculos se trataron con los productos Tecto 60, Agromyquo, y Qufuran (Cuadro 3.3), sumergiendo los tubérculos durante tres minutos en un recipiente y dejándolos secar al aire.

3.6.3 Siembra

Se procedió a sembrar el tubérculo variedad Alpha a una profundidad de cinco cm, esto se realizó en Febrero de 1998, arregladas las macetas en el invernadero en un diseño completamente al azar.

Cuadro 3.3. Dosis de productos químicos para la prevención de enfermedades del cultivo de la papa.

Producto	Dosis
Agromyquo	1 g por litro de agua
Tecto 60	1 g por litro de agua
Qufuran	4 mL por litro de agua

Al momento de la emergencia de las plantas, se procedió a aplicar el tratamiento con una solución de 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 mg de fósforo/kg usando como fuente de fósforo el ácido fosfórico (H_3PO_4) (Cuadro 3.4). Además, se aplicaron otros nutrientes como 100 mg N, K y S /kg respectivamente, 60 mg Ca/kg, 40 mg de Mg por kg, (Cuadro 3.5); y micronutrientes de acuerdo a los niveles de solución nutritiva Hoagland's H_3BO_3 2.86, $MnCl_2 \cdot 4 H_2O$ 1.81, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.22, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.08, $H_2MnO_4 \cdot H_2O$ 0.02 g/L de agua (Cuadro 3.6) tomando de ésta solución un mL aforado a un litro de agua, y posteriormente se aplicó a los tratamientos.

La solución de hierro consistió de 0.08 g de NaEDTA + tres mL de $FeCl_3$ al 10 por ciento y aforar a 360 mL, de ésta solución se agregaron 10 mL por litro y a su vez se aplicó a los tratamientos, cuidando que todas las soluciones aplicadas se distribuyeran alrededor del tubérculo.

Cuadro 3.4. Tratamiento del experimento con diferentes concentraciones de fósforo.

Tratamiento	Concentración mg/kg
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100
6	125
7	150

Cuadro 3.5. Dosis de elementos mayores que se utilizaron en el experimento.

Nutrientes	Concentración mg/kg
N	100
K	100
S	100
Ca	60
Mg	40

Cuadro 3.6. Dosis de micronutrientes utilizados en el experimento.

Micronutrientes	Concentración g/L de agua
H₃BO₃	2.86
MnCl₂.4H₂O	1.81
ZnSO₄.7H₂O	0.22
CuSO₄.5H₂O	0.08
H₂MnO₄.H₂O	0.02

3.7 Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado para ésta investigación fue un completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, dando 28 unidades experimentales para cada suelo en estudio.

3.8 Modelo Estadístico

El modelo estadístico que se utilizó en este experimento se ajusta a la ecuación siguiente.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, t$ tratamientos.

$j = 1, 2, 3, \dots, r$ repeticiones.

$$\varepsilon_{ij} \approx \text{NI} (0, \sigma^2)$$

Y_{ij} = respuesta del tratamiento i -ésimo en su repetición j -ésima.

μ = media general común a cada una de las unidades experimentales.

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error experimental a la cual se le asume distribución normal e independencia con media cero y varianza constante σ^2 .

3.9 Labores de Cultivo

3.9.1 Riegos

Los riegos fueron aplicados con una regadera diariamente o cada tercer día, siendo estos ligeros para mantener el cultivo a capacidad de campo.

3.9.2 Control de malezas

Durante el desarrollo de la papa se llevaron deshierbes realizados manualmente, aún cuando estas no presentaron buen desarrollo debido a que el suelo se fumigó previamente.

3.9.3 Plagas y enfermedades

Con la finalidad de prevenir el ataque de plagas y enfermedades sobre el cultivo, se aplicó Confidor para la mosquita blanca (*Trialeurodes*); Tecto 60, Agromyquo y Qufuran para enfermedades causadas por hongos y bacterias, estos productos se aplicaron con mochilas aspersoras con las dosis indicadas en las etiquetas de los productos químicos (Cuadro 3.3).

3.10 Variables Evaluadas

Las variables a evaluar se realizaron a los 90 días después de la siembra.

3.10.1 Altura de planta

Se realizó las mediciones con una cinta métrica desde 0.5 cm hasta el brote apical de cada planta, obteniéndose una media para todas las plantas en cada maceta.

3.10.2 Número de tallos por planta

Para esta variable se contabilizaron los tallos y se obtuvo una media para cada repetición.

3.10.3 Número de peciolo promedio por planta

En esta variable se realizó un conteo de los peciolo obteniéndose un promedio por planta para cada repetición.

3.10.4 Peso seco de planta

Para ésta variable se realizaron los cortes con navajas al ras del suelo eliminando las raíces y los tubérculos, quedando la parte aérea de la planta, para determinar la materia seca, las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 70 °C por un tiempo de 24 horas.

3.10.5 Número de tubérculos

Esto se llevó a cabo contabilizando los tubérculos por repetición.

3.10.6 Peso promedio de tubérculos

Esta variable se cuantificó pesando el rendimiento de tubérculos de cada repetición, dividido por el número promedio de tubérculos.

3.10.7 Peso total de tubérculos

Esta variable se llevó a cabo pesando el total de los tubérculos por repetición, en la balanza del Laboratorio de Química de Suelos.

3.10.8 Diámetro polar y ecuatorial

Los diámetros polar y ecuatorial de los tubérculos fueron medidos con un Vernier, obteniendo así, una media para cada tratamiento.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de Planta

La altura de planta en los suelos de Bayonero, Venado y Potrero los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas, mientras que en el suelo del Erial si presentaron diferencias altamente significativas. Sin embargo, en el análisis matemático las mejores alturas de planta se observaron con la dosis de $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo, en el suelo del Venado y una altura de 58.53 cm, para el suelo del Bayonero la altura fue de 55.55 cm a una concentración de $25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo, el suelo del Potrero el tratamiento de $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ produjo una altura de 52.70 cm y el suelo del Erial la altura de planta fue la más baja con 52.53 cm, a una concentración de fósforo de $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Cabe destacar que en el suelo del Potrero el testigo superó a la media general, mientras que en los otros sitios no sucedió así. Al suelo del Erial se le tiene que agregar un alto contenido de fósforo para obtener una buena altura de planta ya que la capacidad fijadora de este suelo se ve influenciada por sus altos contenidos de carbonatos totales y calcio, más no por su bajo contenido de arcilla, siendo esto contrario a los suelos restantes. Silveyra (1984) señala que los altos valores de altura de planta están relacionados con bajos valores de rendimiento, cumpliéndose esto en forma exacta en los suelos del Bayonero y el Venado, mientras que en los suelos del Potrero y el Erial de manera parcial.

Cuadro 4.1. Número de tratamientos y concentración de los valores de altura de planta en orden descendente, centímetros.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
2	55.5	3	58.53	3	52.70	5	52.53 a
4	51.90	7	57.95	5	48.23	4	49.63 a
3	50.75	2	56.60	1	47.83	7	48.00 a
5	48.05	5	56.43	M	46.45	6	41.25 ab
6	47.50	6	56.33	6	45.43	2	41.06 ab
M	46.88	M	55.66	4	44.93	M	40.79
1	41.88	1	53.83	2	44.30	1	28.59 bc
7	32.60	4	50.00	7	41.73	3	24.44 a

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de altura de planta en las cuatro localidades estudiadas.

FUENTE DE VARIACIÓN	L O C A L I D A D E S			
	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	2.3791 NS	0.1260 NS	0.4950 NS	4.9049**
C. V. %	20.98	29.44	21.56	23.64

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

En la Figura 4.1 se presentan los datos de altura de planta, donde se destaca que las plantas producidas en el suelo del rancho el Venado fueron las más altas en todos los tratamientos, en el rancho el Bayonero los tratamientos ejercieron un efecto adverso en la altura de las plantas ya que a medida que se incrementaron los niveles de concentración de fósforo, la altura de las plantas disminuyó, este efecto se presentó también en el rancho el Potrero pero con menor intensidad, mientras que en el rancho el Erial se presentaron las plantas

de más corta talla en los tres primeros niveles de fósforo y plantas de porte intermedio con concentraciones de 75 y 100 mg·kg⁻¹ de fósforo.

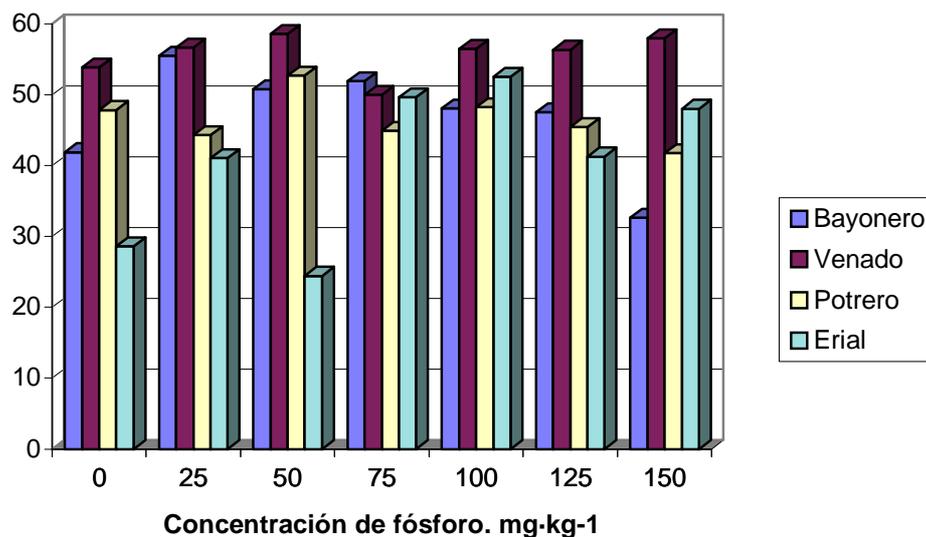


Figura 4.1 Altura de planta (cm) de los cuatro sitios estudiados.

4.2 Número de Tallos por Planta

Para este variable en las cuatro localidades estudiadas, no se presentaron diferencias significativas en los análisis estadísticos, pero si hubo respuesta en los análisis matemáticos.

El suelo del Venado presentó la mejor respuesta con un promedio de 3.5 tallos por maceta a una concentración de 75 mg·kg⁻¹ de fósforo. El Bayonero con la concentración de 150 mg·kg⁻¹ de fósforo obtuvo un promedio de 3.25 tallos por maceta; el Potrero con el tratamiento 2 (25 mg de P·kg⁻¹) obtuvo un

promedio de 3 tallos por maceta y el Erial con el tratamiento testigo produjo de 2.5 tallos por maceta, siendo el valor más bajo en los cuatro sitios de estudio Ortega (1986), menciona que no encontró diferencias significativas en esta variable y los valores promedio fluctuaron de 2 a 6 tallos por planta.

Cuadro 4.3. Número de tratamientos y concentración de los valores de número de tallos por planta en orden descendente.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
7	3.25	4	3.50	2	3.00	1	2.50
3	3.00	5	3.25	5	2.75	6	2.25
4	2.25	2	3.00	4	2.50	3	2.00
M	2.21	3	3.00	7	2.50	M	1.89
1	2.00	6	2.75	M	2.25	2	1.75
5	2.00	M	2.57	3	1.75	5	1.75
6	1.75	1	2.00	6	1.75	7	1.75
2	1.25	7	2.00	1	1.50	4	1.25

Cuadro 4.4. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de número de tallos por planta en cuatro localidades.

	L O C A L I D A D E S			
FUENTE DE VARIACIÓN	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	0.9926 NS	0.6665 NS	1.2766 NS	0.5829 NS

C. V. %	24.20	26.46	18.86	20.69
---------	-------	-------	-------	-------

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

En la Figura 4.2, se observan los resultados que corresponden al número de tallos por planta, los tratamientos de 150, 75, 25 mg·kg⁻¹ de fósforo aplicados a los suelos de los ranchos el Bayonero, el Venado y el Potrero respectivamente produjeron plantas con el mayor número de tallos, mientras que en el rancho el Erial ningún tratamiento logró superar la respuesta que ofreció el testigo, observándose plantas con menos de dos tallos por maceta en forma general. Se puede decir que las mejores respuestas se obtuvieron con valores intermedios de niveles de fósforo en los sitios de estudio, a excepción del Bayonero que produjo plantas con más tallos en el nivel más alto de fósforo.

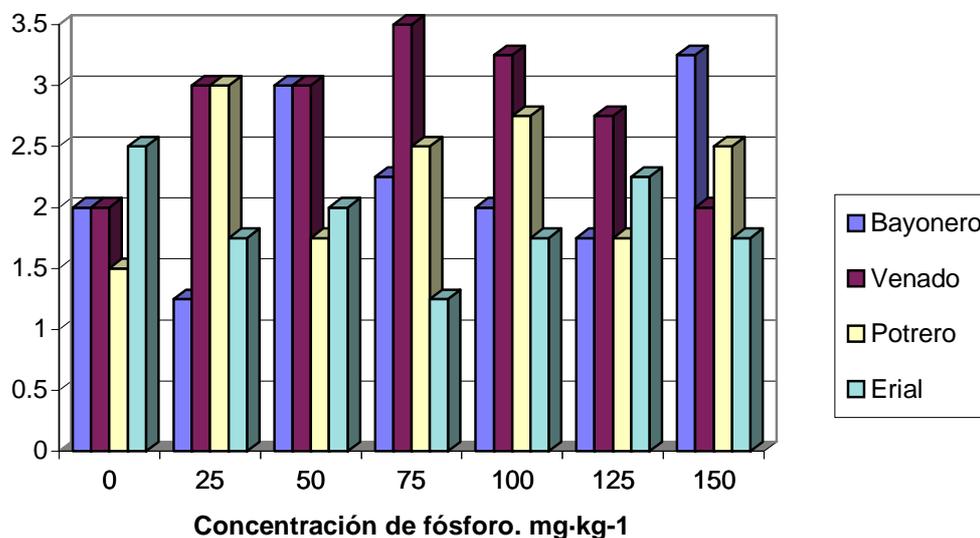


Figura 4.2 Número de tallos por planta de los cuatro sitios estudiados.

4.3 Número de Peciolos Promedio por Planta

El suelo del Bayonero con 25 mg de P·kg⁻¹ obtuvo el mejor valor con 16.75 peciolos por planta, el Erial con una concentración de 75 mg de P·kg⁻¹, produjo un valor de 15.5 peciolos, El Venado con una concentración de 100 mg de P·kg⁻¹, generó un valor de 14 peciolos y el Potrero con una concentración de 125 mg de P·kg⁻¹, produjo 13 peciolos por planta. El tratamiento testigo en el suelo del Potrero superó a la media general. En general se establece que dadas las características de fijación de fósforo de los suelos en estudio, este elemento no quedó suficientemente disponible para la planta lo que no favoreció el crecimiento rápido y vigoroso de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1980).

Cuadro 4.5. Número de tratamientos y concentración de los valores de número de peciolos promedio por planta en orden

descendente.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
2	16.75	5	14.00	6	13.00	4	15.50
5	15.75	2	13.00	3	12.75	5	14.75
6	15.75	7	12.75	4	12.25	2	13.75
3	15.50	4	12.50	1	12.00	M	12.64
M	14.89	M	12.43	M	11.93	6	12.50
1	14.25	1	12.00	5	11.50	7	12.25
4	14.25	3	11.75	7	11.25	1	10.00
7	12.00	6	11.00	2	10.75	3	9.75

Cuadro 4.6. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de número de peciolos promedio por planta en cuatro localidades.

FUENTE DE VARIACIÓN	L O C A L I D A D E S			
	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	1.3630 NS	0.4815 NS	0.3854 NS	1.7342 NS
C. V. %	17.87	22.38	21.95	26.57

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

La Figura 4.3, muestra los valores del número de peciolos promedio por planta, observándose que a niveles altos de concentración de fósforo el número de peciolos se ve reducido en las plantas producidas, comparadas con otras generadas a niveles intermedios de fósforo, aquí se destaca que las plantas producidas en el suelo del Bayonero generaron un mayor número de peciolos,

que aquellas de otros ranchos en la mayoría de los niveles de fósforo en estudio, incluso en el testigo. Prácticamente la respuesta de los tratamientos en el rancho el Venado fue regular, poca variabilidad y discreta. En lo que respecta al rancho el Erial las mejores respuestas se obtuvieron a los niveles de 75 y 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo. También se puede observar que los tratamientos no produjeron diferencias estadísticas significativas en este parámetro en los cuatro sitios.

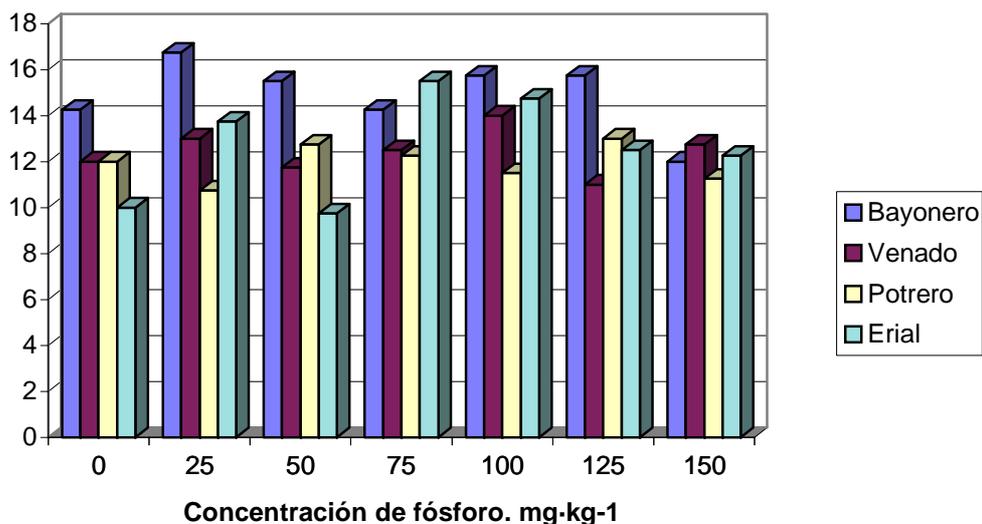


Figura 4.3 Número de peciols promedio por planta de los cuatro sitios estudiados.

4.4 Peso Seco de la Planta

Con una concentración de 100 mg de $\text{P}\cdot\text{kg}^{-1}$, los suelos del Venado y el

Potrero generaron valores de peso de materia seca de 31.45 y 29.48 gramos respectivamente. Los tratamientos en el suelo del Erial generaron diferencias altamente significativas en el peso de materia seca, observándose que con un nivel de 125 mg de P·kg⁻¹ se obtuvo un valor de 28.08 gramos. En el Bayonero no hubo diferencia estadísticas significativas en tratamientos, sin embargo se obtuvo un peso de 28.64 gramos de materia seca con una concentración de 75 mg de P·kg⁻¹. Ortega (1986), indica que no hay una relación directa en el peso seco del follaje con el rendimiento del tubérculo. Lo que se ratifica en esta investigación.

Cuadro 4.7. Número de tratamientos y concentración de los valores de peso seco de planta en orden descendente, gramos.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
4	28.65	5	31.45	5	29.48	6	28.08 a
3	27.55	6	29.13	7	28.18	5	26.58 ab
7	27.18	2	28.75	2	27.75	7	25.33 bc
5	26.83	3	28.68	M	26.76	4	24.93 bc
M	26.69	M	28.40	3	26.10	M	24.65
1	25.78	4	28.13	6	26.03	2	23.45 cd
6	25.53	7	27.53	4	25.15	1	23.10 cd
2	25.30	1	25.18	1	24.63	3	21.10 d

Cuadro 4.8. Cuadros medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso seco de planta en cuatro localidades.

	L O C A L I D A D E S			
FUENTE DE VARIACIÓN	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	1.6840 NS	1.1107 NS	1.5225 NS	7.7229 **
C. V. %	7.06	12.58	10.63	6.79

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

En la Figura 4.4, se observa que los datos de la producción de materia seca aérea de las plantas del suelo del Venado fueron relativamente superiores, en los niveles intermedios de fósforo, a los presentados por los otros sitios de estudio, de manera contraria las plantas del Erial presentan los valores más bajos a excepción de aquel del nivel de $125 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo. La producción de materia seca por el testigo no fue superior a la generada por los tratamientos en los cuatro ranchos, con la excepción de las producciones de los tratamientos de 25 y 50 mg de $\text{P}\cdot\text{kg}^{-1}$ en el Bayonero y el Erial respectivamente. Sin embargo, la anterior situación no fue suficiente para producir diferencias estadísticas significativas en las respuestas de los tratamientos en este parámetro.

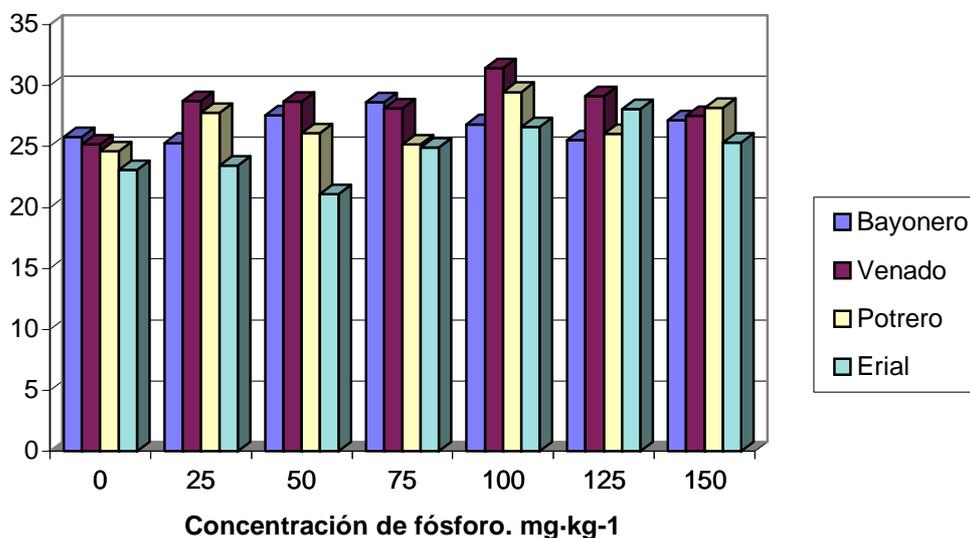


Figura 4.4 Peso seco de planta (g) de los cuatro sitios estudiados.

4.5 Número de Tubérculos

En los análisis estadísticos los tratamientos en los suelos de las cuatro localidades no presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo se presentaron breves diferencias matemáticas en esta variable.

A una concentración de 75 mg de P·kg⁻¹ los suelos del Bayonero y el Venado generaron en promedio 4.5 y 3.5 tubérculos respectivamente. Para los suelos del Potrero y el Erial con concentraciones de 25 y 100 mg de P·kg⁻¹ se obtuvieron 2.75 y 3.0 tubérculos por planta respectivamente. Observándose que a concentraciones intermedias de fósforo el número de tubérculos por planta

tiende a incrementarse en el Bayonero, el Venado y el Erial, pero a concentraciones muy altas de fósforo el número de tubérculos se vio disminuido a uno por planta en los ranchos del Venado, el Potrero y el Erial, no así en el Bayonero.

En el Potrero y el Erial, sus altos contenidos de carbonatos totales, calcio y magnesio influyen en la capacidad de fijación de fósforo, lo que permite que una gran cantidad de este elemento no este disponible para las plantas, provocando así bajos valores en el número de tubérculos por planta.

Cuadro 4.9. Número de tratamientos y concentración de los valores de número de tubérculos en orden descendente.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
4	4.50	4	3.50	2	2.75	5	3.00
6	4.00	5	3.00	5	2.00	3	2.75
7	4.00	2	2.00	M	1.55	1	2.50
5	3.75	M	1.93	1	1.50	4	2.50
M	3.36	6	1.75	3	1.50	2	2.25
3	3.25	1	1.25	4	1.25	M	2.18
2	2.25	3	1.00	7	1.25	6	1.25
1	1.75	7	1.00	6	1.00	7	1.00

Cuadro 4.10. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de

variación de número de tubérculos en cuatro localidades.

	L O C A L I D A D E S			
FUENTE DE VARIACIÓN	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	0.5370 NS	0.7939 NS	0.9669 NS	0.7957 NS
C. V. %	10.36	12.55	23.76	11.24

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

El número más alto de tubérculos por unidad experimental se presentó en los tratamientos de 75, 100,125 y 150 mg·kg⁻¹ de P en el Bayonero, mientras que para el Venado se presentó en niveles medios de fósforo. En tanto que, en el Erial se presentó de bajas a medias concentraciones de fósforo. En el caso del Potrero los tratamientos generaron un efecto adverso ya que a medida que los niveles de fósforo se incrementaron el número de tubérculos tendió a disminuir, contrariamente a lo ocurrido en el rancho el Bayonero que a niveles superiores de fósforo el número de tubérculos aumentó. No obstante, no se presentaron diferencias estadísticas significativas en tratamientos (Figura 4.5).

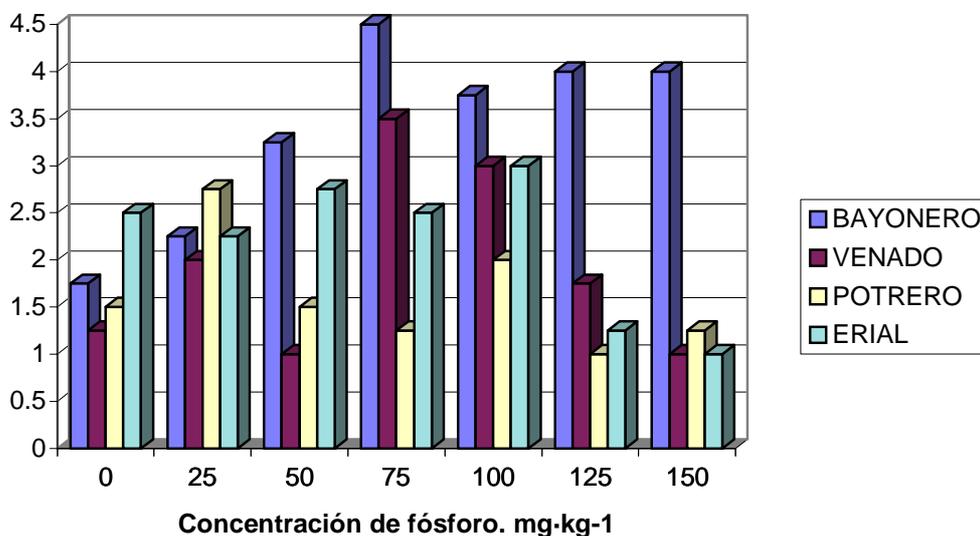


Figura 4.5 Número de tubérculos por planta en cuatro sitios de estudio.

4.6 Peso Promedio de Tubérculos

En los cuatro suelos en estudio los tratamientos generaron diferencias estadísticas significativas en el peso promedio de tubérculos. Los pesos promedio de tubérculos mas altos fueron de 15.63 gramos en el Bayonero con el tratamiento de 150 mg de P·kg⁻¹, de 11.58 gramos en el Erial con una dosis de 75 mg de P·kg⁻¹, 6.25 gramos en el Potrero con el tratamiento testigo y 6.01 gramos en el Venado con 50 mg de P·kg⁻¹.

Cuadro 4.11. Número de tratamientos y concentración de los valores de peso promedio de tubérculos por planta en orden

descendente, gramos.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
7	15.63 a	3	6.01 a	1	6.25 a	4	11.58 a
6	10.26 ab	4	4.35 ab	2	5.15 ab	1	9.51 ab
5	9.11 bc	M	3.01	4	4.08 abc	2	8.52 b
2	8.35 bc	2	2.90 bc	5	3.95 bcd	M	7.14
M	8.03	5	2.34 bc	M	3.80	3	5.92 c
3	7.04 bc	7	2.05 bc	3	2.85 cd	6	5.25 c
4	5.79 bc	1	1.95 bc	6	2.62 cd	5	4.79 c
1	3.79 c	6	1.49 c	7	1.68 c	7	4.46 c

Cuadro 4.12. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso promedio de tubérculos por planta en cuatro localidades.

FUENTE DE VARIACIÓN	L O C A L I D A D E S			
	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	3.74*	9.31**	2.07**	9.81**
C. V. %	24.41	19.39	23.13	24.44

* = Significativo

** = Altamente significativo

En la Figura 4.6 se muestra el peso promedio de tubérculos en el suelo del Bayonero, que generó un buen comportamiento a altas concentraciones de fósforo; 100, 125 y 150 mg.kg.⁻¹ de P. En el caso de los suelos del Venado, Potrero y Erial, los valores altos de peso promedio de tubérculos se presentaron en concentraciones de fósforo bajas a intermedias, obteniendo un efecto

adverso a altos niveles de fósforo (menores de $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), destacando que el suelo del Erial fue el que respondió mejor con el tratamiento de 75 mg de $\text{P}\cdot\text{kg}^{-1}$.

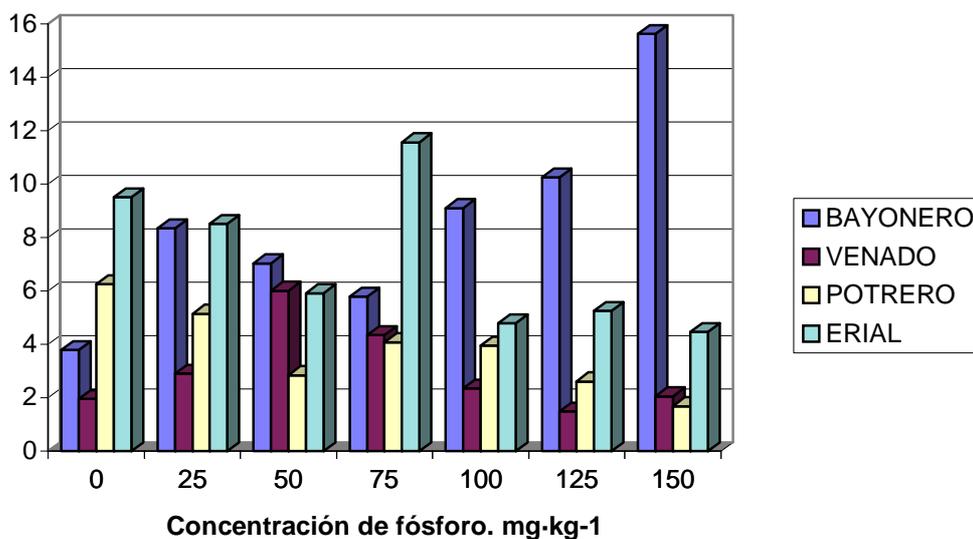


Figura 4.6 Peso promedio de tubérculos (g) de los cuatro sitios estudiados.

4.7 Peso Total de Tubérculos

En el Potrero fue el único sitio donde los tratamientos en el suelo

generaron diferencias altamente significativas en el peso total de tubérculos, pero también aquí se presentó el rendimiento más bajo comparado con las otras localidades. En cambio en el Bayonero con altas concentraciones de fósforo se obtuvo un adecuado incremento en el rendimiento, el cual aumentó conforme se incrementó el nivel de P_2O_5 , atribuyéndose esto a su alto contenido y tipo de arcilla que tiene la capacidad de retener pero también de liberar el fósforo para que este disponible para la planta, coincidiendo con las funciones del fósforo descritas por el INPOFOS (1997) y Silveyra (1984) en el sentido de que el rendimiento es inversamente proporcional con la altura de planta y materia seca.

Con igual nivel de fósforo ($75 \text{ mg de P} \cdot \text{Kg}^{-1}$) en los suelos Erial y Venado se obtuvieron rendimientos de 28.91 y 14.22 gramos respectivamente. Es importante destacar que el suelo del Erial contiene muy bajos porcentajes de arcilla en comparación con el suelo del Venado; pero contiene más calcio y magnesio esto influye en la disponibilidad del elemento para la planta a concentraciones intermedias de P.

Cuadro 4.13. Número de tratamientos y concentración de los valores de peso total de tubérculos en orden descendente, gramos.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA

7	62.51	4	14.22	2	12.79 a	4	28.91
6	38.02	5	7.36	1	9.38 b	1	24.76
5	33.11	2	7.04	5	6.76 bc	2	19.84
M	29.80	3	6.01	M	6.25	M	16.56
4	25.37	M	5.96	4	5.55 bc	3	16.34
3	23.13	6	2.56	3	4.67 bc	5	17.80
2	20.05	1	2.49	6	2.62 bc	6	6.81
1	6.45	7	2.05	7	1.99 c	7	4.46

Cuadro 4.14. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de peso total de tubérculos por planta en cuatro localidades.

	L O C A L I D A D E S			
FUENTE DE VARIACIÓN	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	2.09 NS	1.14 NS	4.61**	1.96 NS
C. V. %	19.97	19.80	15.05	17.47

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

En la Figura 4.7 se presentan los datos de rendimiento de tubérculo, observándose que en el Bayonero los tratamientos de fósforo generaron los más altos valores en el rendimiento de tubérculo y además que todas las respuestas a los tratamientos siempre fueron superiores al testigo, lo que indica que el suelo tiene una buena capacidad amortiguadora o Buffer para administrar adecuadamente altos niveles de P, ya que cuando el elemento es retenido este va siendo liberado en forma paulatina dejándolo disponible para la planta de acuerdo a su requerimiento. En el caso del Venado se observa que el

más alto rendimiento de peso total de tubérculo se obtuvo con el tratamiento de 75 mg de $P \cdot kg^{-1}$ y que el nivel más alto de fertilización generó un rendimiento que fue superado por el del testigo. Por otro lado en el Potrero se muestra una respuesta negativa de los tratamientos, ya que el rendimiento producido por el testigo prácticamente superó a todos los generados por los tratamientos, a excepción del rendimiento de 25 mg $P \cdot kg^{-1}$, observándose claramente que a medida que los niveles de fósforo van en aumento los rendimientos disminuyen, lo que indica que los contenidos de arcilla en el suelo propician una alta capacidad para retener todo o en su defecto la mayoría de fósforo aplicado, generando así una escasa respuesta a los niveles altos de este elemento. En el Erial el mejor peso total de tubérculos se observó con el tratamiento 75 mg de $P \cdot kg^{-1}$ y el segundo mejor rendimiento correspondió al testigo, lo que indica que el suelo no responde a las altas dosis de fertilización fosfatada en virtud de sus características y los muy bajos contenidos de arcilla, por lo que es recomendable aplicar niveles bajos e intermedios de fósforo con el fin de evitar pérdida por percolación y precipitación.

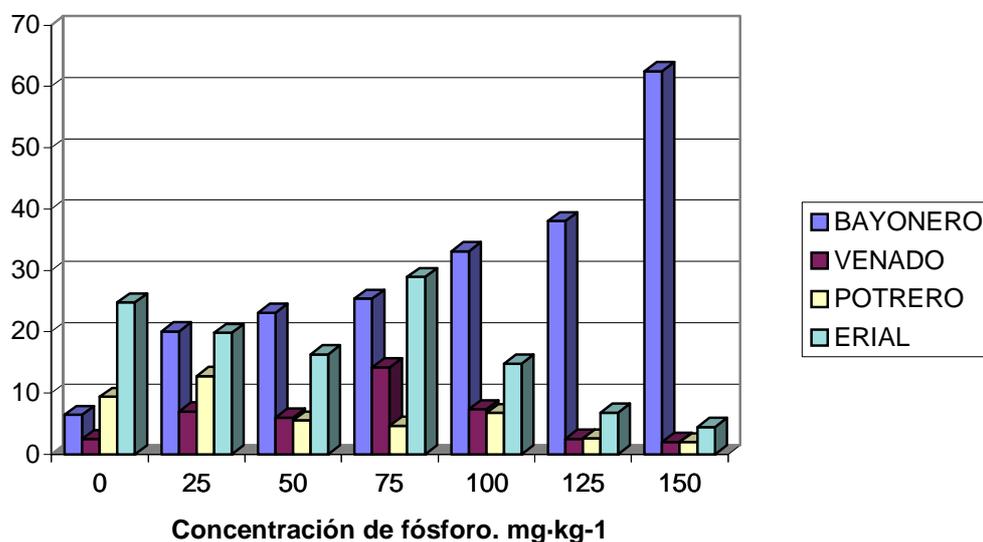


Figura 4.7 Peso total de tubérculos (g) de los cuatro sitios estudiados.

4.8 Diámetro Ecuatorial de Tubérculo

En el Bayonero los tratamientos aplicados al suelo no provocaron diferencias estadísticas significativas en la variable diámetro ecuatorial de tubérculo, sin embargo aquí se obtuvieron las papas con las mejores dimensiones. Los valores de los diámetros ecuatoriales fueron: de 2.50 cm en el Bayonero con 150 mg de P·kg⁻¹, 2.35, 1.72 y 1.72 cm en el Erial, Venado y Potrero respectivamente, con 75 mg de P·kg⁻¹, en estos tres últimos sitios se encontraron diferencias estadísticas significativas. Destacando que el testigo superó la media general en los sitios del Potrero y el Erial.

Cuadro 4.15. Número de tratamientos y concentración de los valores de diámetro ecuatorial de tubérculo en orden descendente,cm.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
7	2.50	4	1.72 a	4	1.72 a	4	2.35 a
6	2.23	2	1.57 b	5	1.72 a	1	2.16 ab
5	2.17	3	1.43 c	1	1.67 a	7	2.09 bc
M	2.07	M	1.42	2	1.65 a	M	2.07
2	2.05	5	1.36 cd	6	1.58 ab	2	2.03 bcd
3	1.93	1	1.31 d	M	1.55	6	2.03 bcd
4	1.86	7	21.28 d	3	1.29 bc	3	1.94 cd
1	1.74	6	1.27 d	7	1.21 c	5	1.84 d

Cuadro 4.16. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de diámetro ecuatorial de tubérculo en cuatro localidades.

FUENTE DE VARIACIÓN	L O C A L I D A D E S			
	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	1.44 NS	21.76**	3.34*	6.07**
C. V. %	20.69	5.08	14.90	6.56

NS = No Significativo

*** = Significativo**

**** = Altamente significativo**

En la Figura 4.8, se muestran los valores del diámetro ecuatorial y de los tubérculos producidos en los cuatro suelos de estudio. Se aprecia que en el Bayonero se obtuvieron los tubérculos de mayor dimensión en todos los tratamientos, pero donde más se acentuó fue en los de 100, 125 y 150 mg.kg⁻¹ de fósforo, mientras que en el Erial éstos se generaron en los tratamientos

bajos e intermedios, las variaciones de tamaño en los tubérculos del Venado, el Potrero y el Erial, prácticamente se vió influenciado en los tratamientos ya que éstos mostraron diferencias estadísticas significativas en esta variable con los aumentos y disminuciones de los niveles de fósforo.

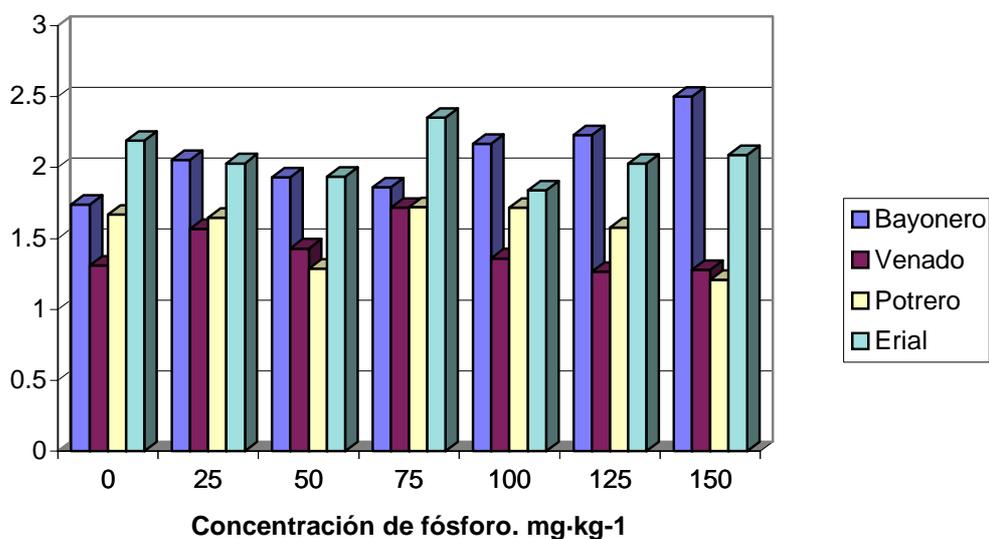


Figura 4.8 Diámetro ecuatorial de tubérculo (cm) de los cuatro sitios estudiados.

4.9 Diámetro Polar de Tubérculo

Los tratamientos aplicados a los suelos en estudio generaron tubérculos cuyas dimensiones mostraron diferencias estadísticas significativas en diámetro polar de tubérculo. En el Bayonero se observó una relación directa entre el rendimiento total de tubérculos y las dimensiones de éstos a altas

concentraciones de fósforo. De acuerdo a lo que señala Ortega (1986).

En los otros sitios de estudio las mejores dimensiones y rendimientos de tubérculos se obtuvieron a concentraciones intermedias de fósforo, por otro lado el testigo produjo papas con dimensiones cuyos valores fueron superiores a los de la media general, así como de aquellos de los tratamientos de 100, 125 y 150 mg de P·kg⁻¹.

Cuadro 4.17. Número de tratamientos y concentración de los valores de diámetro polar de tubérculo en orden descendente, cm.

BAYONERO		VENADO		POTRERO		ERIAL	
T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA	T	MEDIA
7	3.28 a	4	2.20 a	4	2.54 a	4	2.95 a
6	2.80 ab	3	2.03 ab	1	2.45 a	1	2.70 ab
5	2.76 ab	1	1.97 bc	2	2.17 a	2	2.63 bc
M	2.57	M	1.89	5	2.11 a	6	2.50 bc
2	2.52 bc	5	1.86 bc	6	2.06 ab	7	2.43 bcd
3	2.41 bc	7	1.85 bc	M	2.05	3	2.40 cd
4	2.19 bc	2	1.85 c	3	1.51 b	M	2.26
1	2.04 c	6	1.5 d	7	1.51 b	5	2.19 d

Cuadro 4.18. Cuadrados medios de tratamientos y coeficientes de variación de diámetro polar de tubérculo en cuatro localidades.

	L O C A L I D A D E S
--	------------------------------

FUENTE DE VARIACIÓN	BAYONERO	VENADO	POTRERO	ERIAL
C.M. TRATAMIENTOS	3.23*	12.55**	4.58**	6.32**
C. V. %	18.06	6.40	18.69	7.65

* = Significativo

** = Altamente significativo

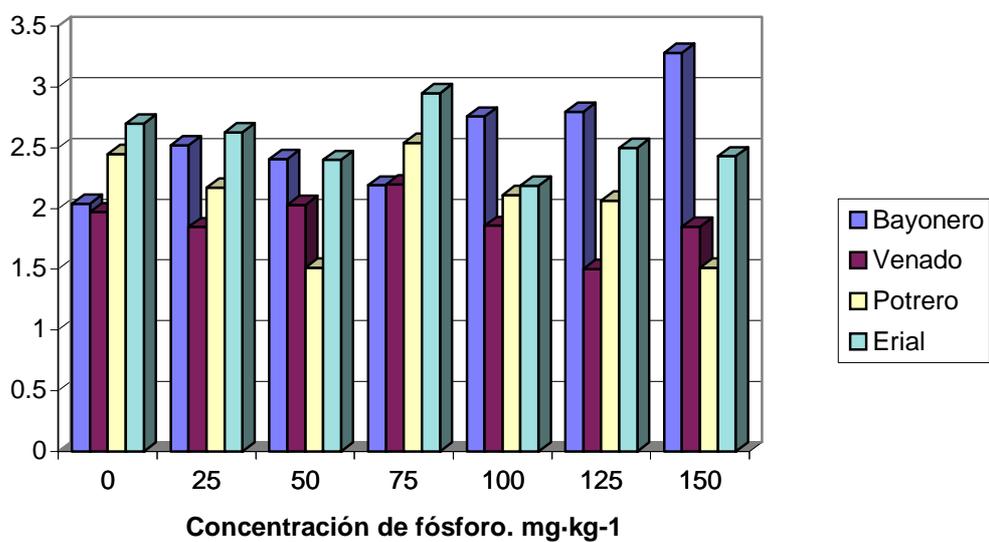


Figura 4.9 Diámetro polar de tubérculo (cm) de los cuatro sitios estudiados.

4.10 Pruebas de Laboratorio Preliminares

4.10.1 Isotherma de Temkin

Algunos autores como López-Hernández y Burnham (1974); Bache (1977) han utilizado las isotermas de adsorción de Temkin. Este modelo se presenta en escala semilogarítmica, siendo el eje (x) los valores de logaritmo de fósforo en solución y en el eje (y) los valores de fósforo adsorbido, expresado como mg de P adsorbido por cada 1000 g de suelo, esto permite estudiar una amplia gama de concentraciones de fósforo inicial. Las pruebas de laboratorio con los suelos de las cuatro localidades, generaron resultados los cuales se ajustaron al modelo de Temkin, encontrándose que las pendientes de la rectas representan la capacidad amortiguadora de los fosfatos en el suelo, siendo estas 1801, 768.035, 612.776 y 524.601 para el Erial, Venado, Potrero y Bayonero respectivamente. Olsen y Watanabe (1970), mencionan que si la capacidad amortiguadora de fosfatos en el suelo es alta, la concentración de fósforo en la solución del suelo disminuye y viceversa. Es decir, que mientras aumenta el valor de la pendiente la concentración de fósforo disponible para las plantas disminuye. Estableciéndose que el nivel de fósforo en la solución del suelo, siguió el orden: Erial, Venado, Potrero y Bayonero, cuyos valores son 0.631, 2.109, 2.799 y 2.979 mg de P·L⁻¹, respectivamente.

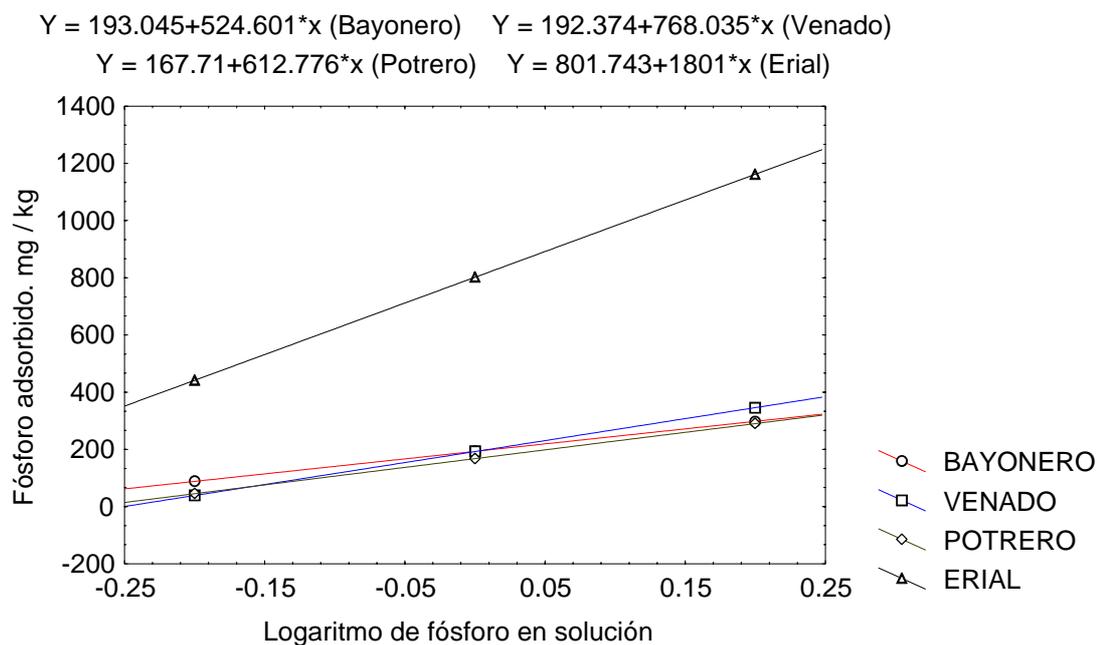


Figura 4.10 Isotermas de adsorción de Temkin.

4.10.2 Curvas de desorción

Las curvas de desorción de fósforo se realizan a partir de los datos de fósforo liberado en el eje de las ordenadas y los niveles iniciales de aplicados al suelo, en el eje de las abscisas los cuales fluctuaron de 0-2500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo.

Al aplicar $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo a cada suelo de las localidades en estudio, el suelo del Potrero libera $10.658 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P y los suelos del Bayonero Venado y Erial liberan menores cantidades de fósforo 10.230 , 9.794 y $4.495 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente. En el rancho el Erial se observa un incremento relativamente pequeño de liberación de fósforo en los niveles bajos de este

elemento ($0-500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), además de que cuando se aplica de $500-2500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo al suelo, la mayor parte de este elemento es fijado por los coloides del suelo, otra parte es transformada a compuestos de un alto grado de insolubilidad y no es aprovechable por la planta y otra fracción es precipitada a los estratos inferiores del suelo o en su defecto, lixiviado por la acción del agua. Se establece que el grado de liberación de fósforo en los suelos de estudio se presenta en el siguiente orden: Potrero > Bayonero > Venado > Erial.

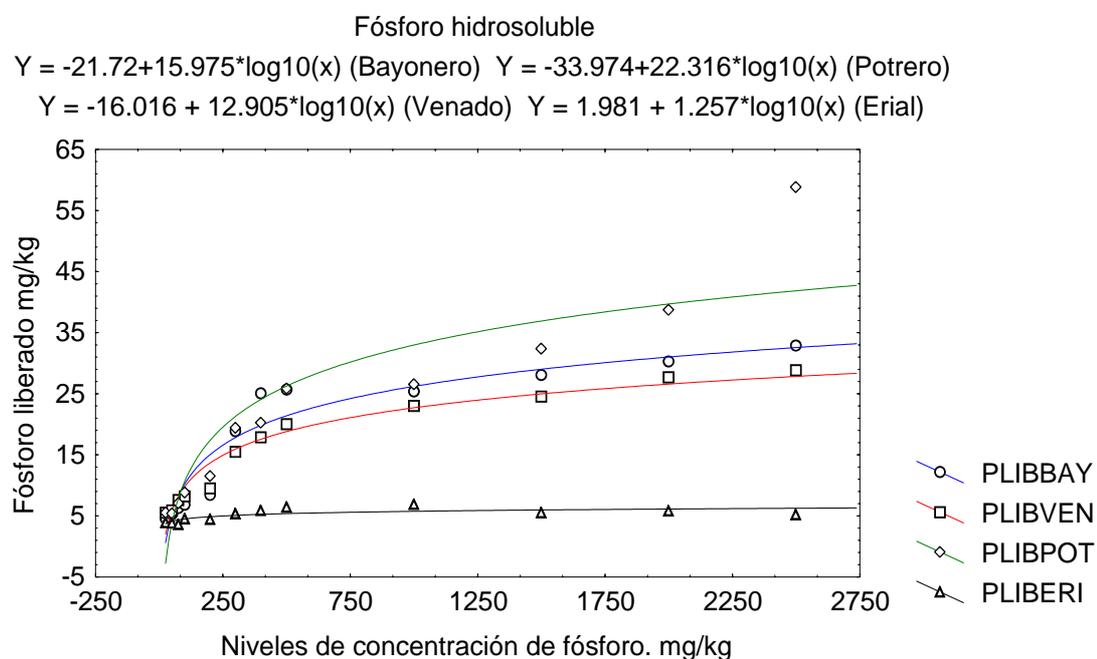


Figura 4.11 Curvas de desorción de fósforo.

4.11 Pruebas de Laboratorio al Terminar el Experimento

La Figura 4.12 muestra la relación entre la concentración de fósforo en

solución y los niveles iniciales de fósforo aplicados al suelo, después de concluir el experimento y utilizando el método del fósforo hidrosoluble. Se observa que el suelo del Venado genera, valores de fósforo en solución ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) superiores a los presentados por los otros suelos, lo que sugiere que el fósforo aplicado al inicio del experimento la mayoría fue retenido firmemente por el material coloidal del suelo y solo una mínima parte del fósforo aplicado fue tomado por la planta.

Los suelos del Bayonero y el Erial presentan valores muy semejantes y concentraciones bajas de fósforo en solución, lo que hace suponer que el fósforo aplicado al inicio fue retenido por los coloides del suelo, pero liberado en forma continua hacia la planta, aunque no totalmente. Por otra parte el suelo del Potrero si respondió positivamente a las aplicaciones de fósforo aparentemente, ya que de valores medios a superiores ($75\text{-}150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) los valores de fósforo en solución tendieron a ser menores, lo que significa que la mayor parte del fósforo fue liberado por el suelo y utilizado por la planta o en el peor de los casos precipitado o lixiviado a lo largo del perfil del suelo.

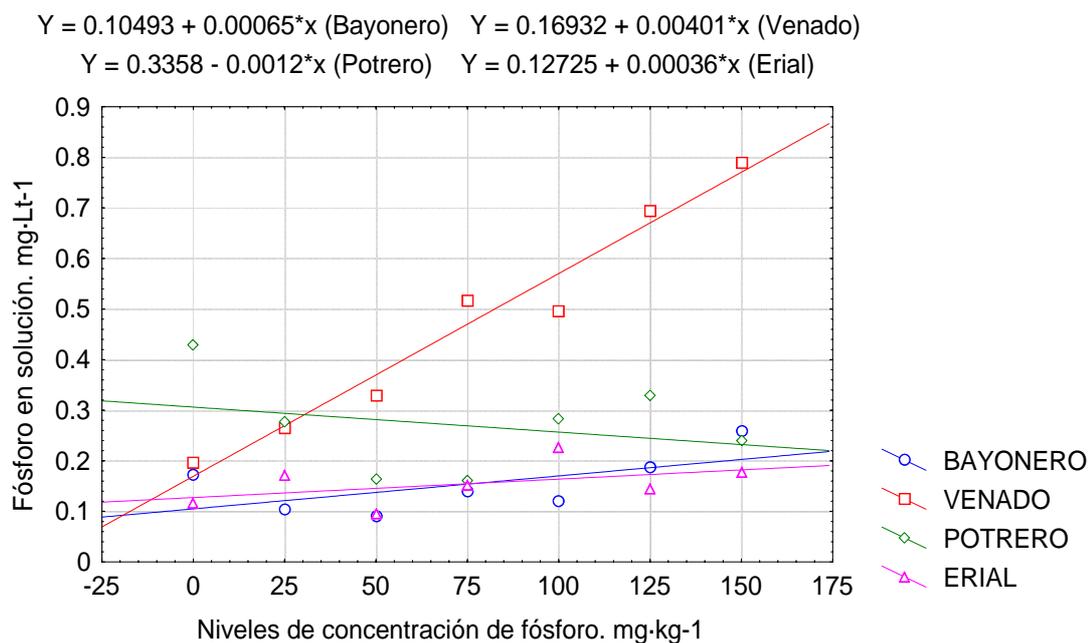


Figura 4.12. Fósforo en solución Método de Vander Paauw

Por el método de Olsen modificado y haciendo uso del Na_2HCO_3 0.5 M a pH igual a 8.5, se determinó la concentración de fósforo en solución, la cual se relaciona con los niveles iniciales de fósforo aplicados al suelo y estos se presentan en la figura 4.13, aquí se observa, en términos generales que el empleo de bicarbonato de sodio para extraer fósforo ofrece mejores resultados que aquellos producidos por el método hidrosoluble; es decir, este extractante permitió determinar valores más altos en todas las pruebas de laboratorio y en todos los suelos en estudio.

Los valores de fósforo en solución para los tratamientos de 0 a 125 mg de

$P \cdot kg^{-1}$ en los suelos, siguió el orden: Bayonero > Potrero > Venado > Erial. Sin embargo, en el tratamiento de $150 \text{ mg } P \cdot kg^{-1}$, el valor de P en solución fue superior en el Venado, igual en el Potrero y Bayonero y finalmente el Erial.

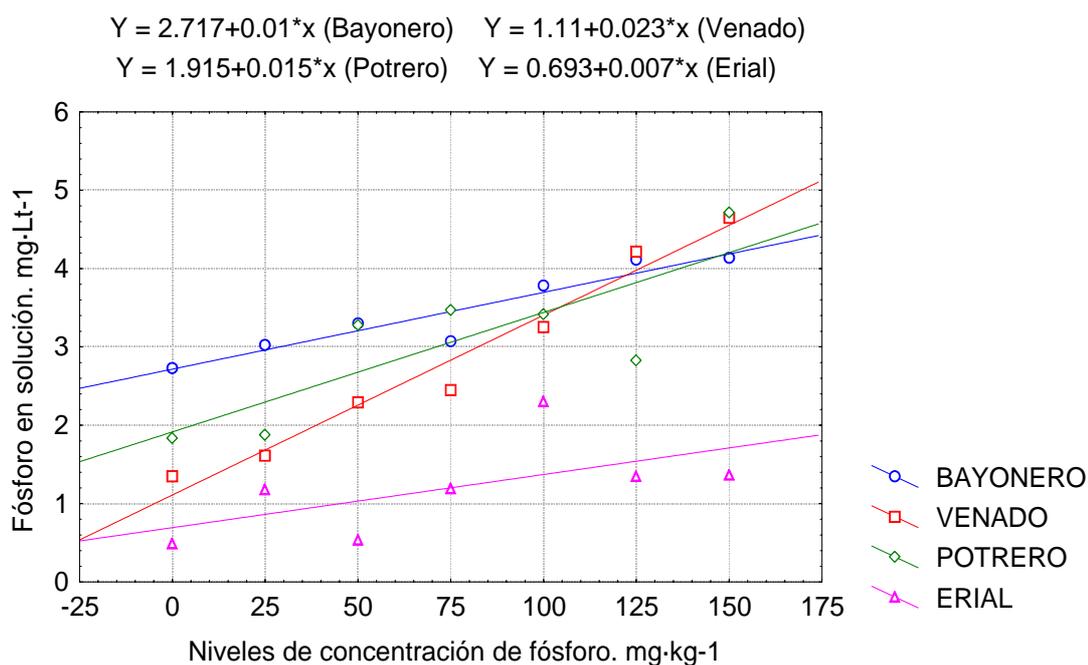


Figura 4.13. Fósforo extraíble método Olsen.

Por otro lado se determinó la cantidad total de fósforo liberado, en cada uno de los tratamientos y en los cuatro suelos en estudio. Este valor se relaciona con los valores de planta y el peso total de tubérculos obtenidos de cada tratamiento. El comportamiento de estas variables se presentan en las figuras 4.14 y 4.15, donde la primera figura muestra que los niveles de fósforo liberado de menor a mayor (eje X) ejercieron un efecto positivo en las plantas

en el suelo del Erial, ya que a mayores niveles de P desorbido las plantas mostraron una mayor altura, mientras que las plantas del Bayonero mostraron un efecto adverso en este sentido y las plantas del Potrero y Venado no fueron afectadas en cuanto altura por los niveles bajos y/o altos de fósforo liberado por el método Olsen.

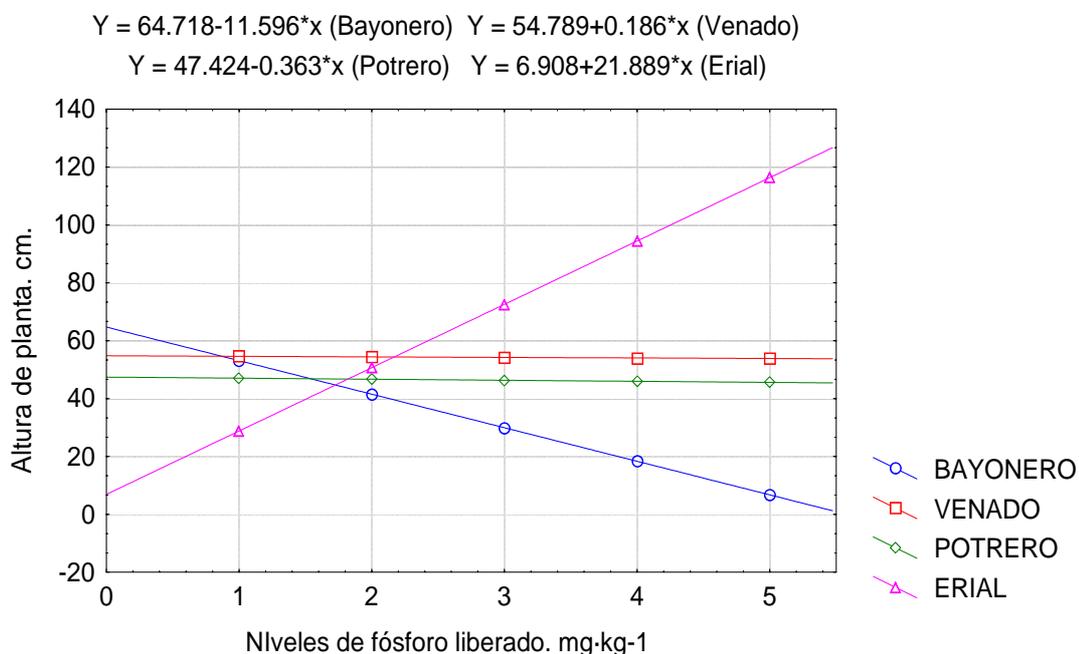


Figura 4.14. Altura de planta en función del fósforo liberado.

En la Figura 4.15, la variable peso total de tubérculos es influenciada por los niveles de fósforo liberado, ya que a medida que los niveles aumentan, también aumenta el peso de tubérculos en el Bayonero y en menor escala en el Potrero. En el suelo del Erial se observó un efecto contrario al anterior y en

menor forma el Venado. De acuerdo a lo anterior, se puede establecer que si bien las plantas del rancho el Bayonero tendieron a las bajas alturas a mayores concentraciones de fósforo liberado, por otro lado su tendencia fue positiva en cuanto peso total de tubérculo. Este efecto fue totalmente opuesto en la planta del rancho el Erial con plantas muy altas y bajos rendimientos a concentraciones mayores de fósforo liberado. Esto concuerda con lo encontrado por Ortega (1986) que menciona que no existió relación entre la altura de planta con el rendimiento de tubérculo.

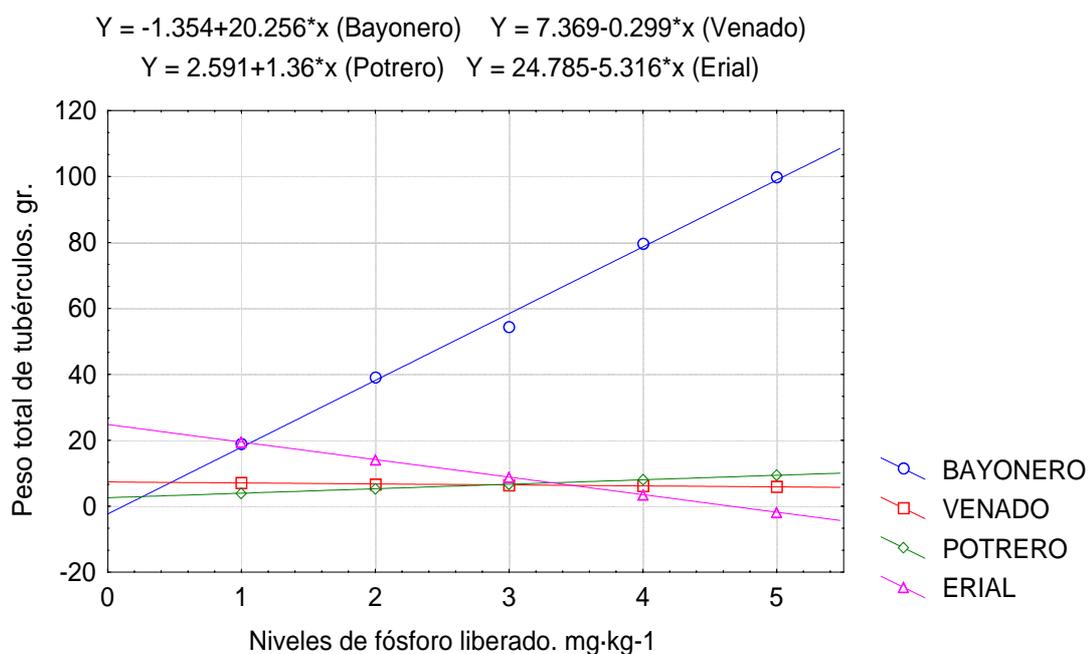


Figura 4.15. Peso total de tubérculos en función de fósforo liberado.

La Figura 4.16 muestra las Isotermas de Adsorción de Temkin, para los cuatro suelos en estudio después que se concluyó el experimento. La gráfica, establece el orden que sirve la capacidad amortiguadora de los suelos; de

mayor a menor es el siguiente: Bayonero (245.112) > Venado (237.758) > Erial (123.089) > Potrero (117.174). De acuerdo a esto, Olsen y Watanabe en (1970) mencionan que es muy factible que cuando un suelo posea una alta capacidad amortiguadora, el valor de la concentración de fósforo en la solución del suelo es baja y por consecuencia un alto valor de fósforo en fijado o adsorbido en los coloides del suelo y viceversa.

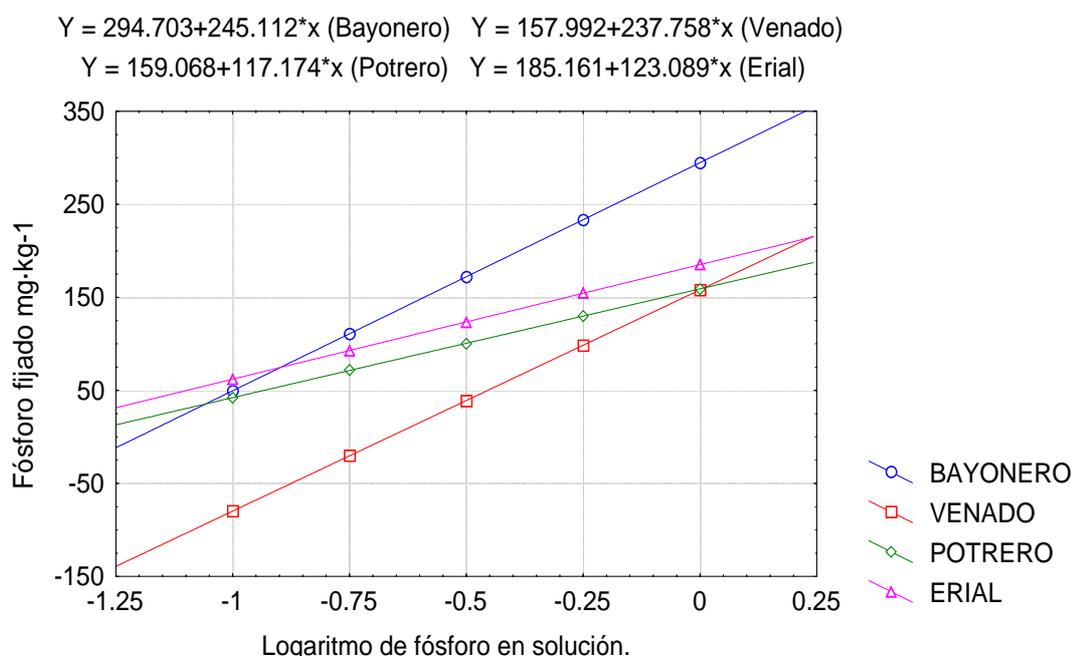


Figura 4.16. Isotermas de adsorción de acuerdo al modelo de Temkin

Los modelos de desorción de fósforo se muestran en la figura 4.17, donde se aprecia que el suelo del rancho el Venado libera los más altos niveles de fósforo en todos los tratamientos, lo que hace suponer que no obstante que posee la segunda mejor capacidad amortiguadora (235.758) que debería tener

casi el último lugar en cuanto a fósforo en solución y por ende también el penúltimo sitio en cuanto a fósforo liberado total. Sin embargo, no es así, tal vez esto sea explicado, por la Isoterma de Adsorción de Temkin (figura 4.16) que muestra los valores más bajos de adsorción de fósforo en todo el rango de concentraciones, lo que explica los valores altos de liberación de fósforo.

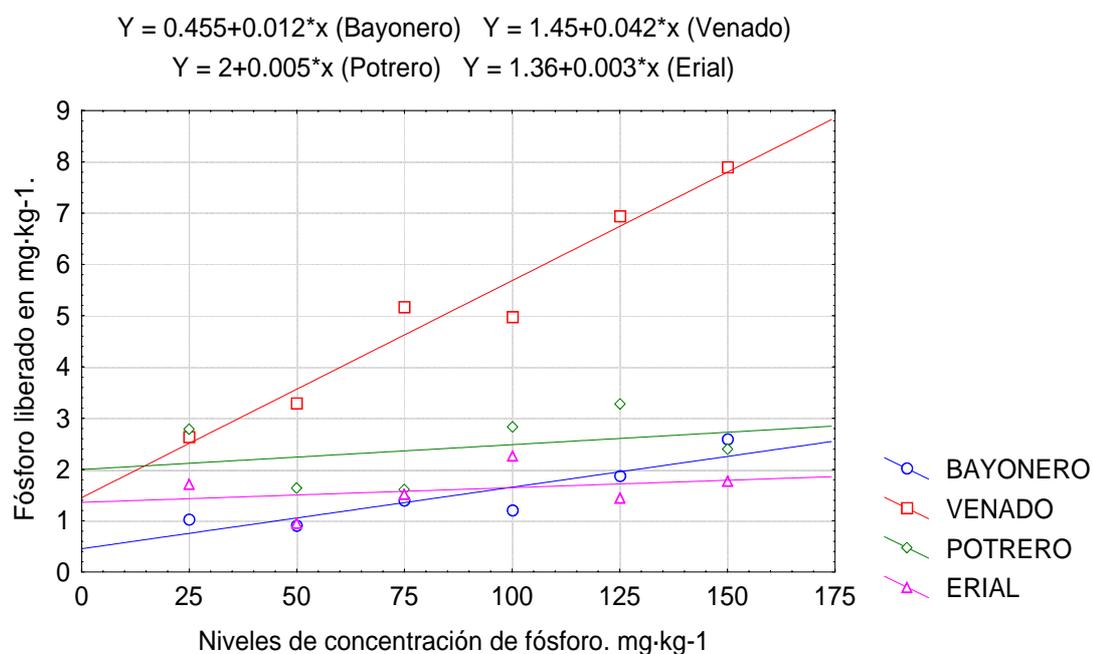


Figura 4.17 Desorción de fósforo en función de los tratamientos.

Los suelos del Potrero y el Erial en cuanto a la capacidad de fijación y liberación de fósforo, desarrollaron un comportamiento intermedio, como se observa en las figuras 4.16 y 4.17, liberando y fijando en su mayoría niveles intermedios de fósforo; situándose el Erial con niveles superiores en todo el rango, de fósforo fijado y de esperarse niveles inferiores de fósforo liberado en

todo el rango, mientras que el Potrero mostrando niveles inferiores de fósforo fijado y niveles superiores de fósforo liberado, en todo el rango.

V CONCLUSIONES

Con base en los resultados y a la discusión de los mismos, se elaboraron las siguientes conclusiones:

* Se acepta la hipótesis planteada: existen algunas propiedades físicas y químicas del suelo que influyen en el proceso de fijación de fósforo, siendo fundamentalmente el contenido de arcilla, de calcio, de magnesio y carbonatos totales, los que determinan esta situación.

* Los suelos del Bayonero, Venado, Potrero y Erial presentaron diferente capacidad de adsorción y desorción de fósforo.

* En el suelo del Bayonero se encontró la más adecuada capacidad de fijación y desorción de fósforo, no estando esto en función de los niveles de fósforo aplicados.

* El proceso de fijación de fósforo limita la producción de biomasa en el cultivo de papa.

* Los suelos del Bayonero, Venado, Potrero y Erial presentaron diferente producción de biomasa en el cultivo de papa con la aplicación de distintos niveles de fósforo.

* Los más altos rendimientos de tubérculo se encontraron con los tratamientos aplicados de 150 mg de $P \cdot kg^{-1}$ en el suelo del Bayonero, 75 mg de $P \cdot kg^{-1}$ en los suelos del Erial y el Venado y 25 mg de $P \cdot kg^{-1}$ en el suelo del Potrero.

VI RESUMEN

En el Norte de México existe una gran superficie de suelos áridos y semiáridos. Las condiciones climáticas de estos suelos, las características físicas y químicas limitan varios problemas relacionados con la nutrición de los cultivos, donde el más destacado es la fertilización fosfatada, por lo cual se aplica en mayor proporción que los demás nutrimentos. Una fuente viable para solucionar este problema es el ácido fosfórico por su característica ácida y bajo costo.

La presente investigación se realizó con los objetivos de determinar la capacidad de fijación y desorción de fósforo y evaluar la producción de biomasa en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en cuatro suelos, con la aplicación de diferentes niveles de fósforo, bajo condiciones de invernadero.

Los niveles de fósforo fueron; 0, 25, 50, 75, 100, 125 y 150 mg/kg, respectivamente, utilizando como fuente el ácido fosfórico (H_3PO_4). Los suelos evaluados fueron el Bayonero, Venado, Potrero y Erial. El diseño experimental fue un completamente al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, generando 28 unidades experimentales para cada suelo, el cual fue realizado en el invernadero de alta tecnología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Las variables evaluada fueron altura de planta, número de tallos por planta, número de peciolo promedio por planta, peso seco de planta, número de tubérculos, peso promedio de tubérculos, peso total de tubérculos, diámetros polar y ecuatorial de tubérculos, respectivamente.

El suelo del Bayonero presentó la más alta fijación y desorción de fósforo, así como un incremento en la producción de tubérculos a medida que se incrementaban los niveles de fósforo.

VII LITERATURA CITADA

Agbenin J. O. and Tiessen H., 1995. Phosphorus sorption at field capacity and soil ionic strength: kinetics and transformation. Soil Sci. Soc. American Journal.

Aldaco N.,R.A. 1989 Uso de Isotermas de adsorción para determinar los requerimientos de fósforo en el híbrido AN-430 R de Maíz (Zea mayz L.) en suelos calcáreos. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México pp 119-121.

Alvarado J. y Cajuste I. J. 1993 Encalado y retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas Turrialba Vol. 43 No. 4 pp 235-241.

Alsina, G. L. 1972. Horticultura Especial. Editorial. Sintesis, S.A, Barcelona España.

Arozarena, N., J., J. G. Hernández., O. Muñiz y R. Deroncele. 1991. Nutrient Relationship in a soil-plant system under conditions of organic and mineral fertilizer application. Agrotecnia de Cuba. Vol. 23 (1-2) 21-27. Cuba. Citado por: Field Crop Abstracts.1993. Vol. 46(7): 578. United states of America.

- Buckman, O.H. y C.N. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. 1ª edición. Montaner y Simón, S.A. Barcelona, España.
- Cabido, H. V. 1979. Fertilizantes y fertilización. Programa de actualización profesional. Centro Nacional de Productividad de México, A.C.
- Collis- George, N., B. G. Daavey y D.E. Smiles. 1971. Suelo, atmósfera y fertilizantes. Editorial, AEDOS. Barcelona.
- Fassbender, H. W. 1975. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. 1ª. Ed. 3ª reimp. San José, Costa Rica.
- Howkes, J. G. y J. B. Hjerting. 1969. The potatoes of Argentina, Brazil, Paraguay y Uruguay. Clarendon Press. Oxford, England. pp 1-144.
- Lazcano, C. C. 1982. Evaluación de diferentes niveles de nitrógeno, fósforo y potasio para el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L) en la región de Derramadero, Coahuila. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, México.
- León, G. A. 1984. Fundamentos científicos naturales de la producción agrícola. 2ª. Ed. Editorial Salvat. Barcelona. Pag 295-299.
- López, H.D., Coronel, I., Alvarez I. 1981ª. Uso de la isoterma de adsorción para

evaluar requerimientos de fósforo I, Turrialba Vol. 31, No. 3, 169-180.

Maldonado, A. V. 1982. Papa alimento base del pueblo mexicano. SARH.

Méndez, G. V. 1982. Efecto de mejoradores del suelo y dosis de fertilización fosfatada en el desarrollo del cultivo de papa en un suelo de pH alcalino Tesis de Maestría. U.A.A.A.N. Saltillo, México.

Mendoza R. (1989). Efecto del fósforo nativo adsorbido en el suelo sobre la medida de la capacidad "buffer" de fosfato. Turrialba Vol. 41 No. 3, pp 350-358.

Miller, et. al. 1972. Fertilidad de suelos. Salvat. España. p477.

Mondal, S. S. , M. Chhtri., S. Sarkar and T.K: Mondal. 1993. Integrated nutrient Management with sulphur bearing fertilizer fym and crop residues in relation to growth and yield of potato. J. Indian potato asocc. Vol. 20 (2) : 139-143. India citado por: Field Crop Abstracts. Vol. 47(6). United States of America.

Morales, Beltrán José A. 1996. Efecto de fertilizantes líquidos ácidos y sólidos sobre el aprovechamiento de fósforo por el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en suelos de pH alcalino. Tesis de maestría. U.A.A.A.N. Saltillo, México.

Mortvedt, J.J. et. al. 1983. Micronutrientes en agricultura. Edición en español. México. Agt editor, S.A.

Narro, F. E. 1985. Mejoradores de suelos calcáreos y fertilización fosfatada en el cultivo de papa. Agraria. Revista científica. U.A.A.A.N. Vol. 1. Num. 1. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 57-70.

Odlan, T. E., R. S. Bell and M. Salomon . 1956. A field comparison of eighth phosphates fertilizers. American Potato Journal.

Ortega, R.M.M. 1986. Evaluación de métodos químicos para predecir el requerimiento de fertilizantes fosfatado del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.), en un suelo calcáreo con y sin perlita. Tesis Maestría de U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 42, 44, 48, 103, 114, 115.

Ortiz, Franco P.1983. Efecto de cuatro niveles de vermiculita y cuatro dosis de fertilizante fosfatado sobre el desarrollo y rendimiento de papa (Solanum tuberosum L.) en la región de Navidad, N.L. Tesis de maestría. U.A.A.A.N. Saltillo, México.

Ortiz, V. B. y S. A. Ortiz. 1980. Edafología, UACH Chapingo, México.

- Potash & Phosphate Institute (PPI). 1997. Manual de fertilidad de los suelos. Norcross, Georgia, U.S.A.
- Rangel, A. M. R. 1987. El cultivo de la papa y su mejoramiento genético. Monografía. U.A.A.A.N. Saltillo Mex. p.1-18.
- Raven, K. P. and Hossner, L. R. 1993. Phosphorus desorption quantity – intensity relationship in soils. Soil Sci. Soc. American Journal.
- Raven, K. P. and Hossner, L. R. 1994. Sorption and desorption quantity – intensity parameters relate to plant-available soil phosphorus. Soil Sci. Soc. American Journal.
- Röhrich, C. 1992. Investigations on the effectiveness of mineral phosphorus fertilizers in potato production. Bodenkultur Vol. 43(1) 55-63. Germany. Citado por: Field Crops Abstracts vol 46(11):979. United States of America.
- Russell, E. J. y E. W. Russell. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4ª Edición. México. Ed. Aguilar.
- Sánchez, L.B.A. 1988. Fertilización fraccionada de fósforo en el cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en Saltillo Coahuila. Tesis de licenciatura U.A.A.A.N. Saltillo Coahuila, México.

- Silveyra, M. J. S. 1984 Efecto de dos mejoradores del suelo y tres programas de riego sobre el desarrollo del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.). Tesis de maestría U.A.A.A.N. Saltillo Coahuila. P 68-70.
- Solís M. M., Cajuste L. J. y Cruz D. J. 1992. Efecto de algunas características químicas del suelo sobre el fósforo extraído por cuatro métodos. XXV Congreso nacional de la ciencia del suelo.
- Sprague, H. B. (Ed) 1964. Hunger signs in crops. David Mckay Co. New York.
- Sud, K. C. , and A. S. Negi. 1991 Effect of P and K applied to potato in the hill soils of Shimla. J. Indian potato Assoc. Vol. 18(1-2): 19-26. India citado por soils and fertilizers vol 55(8): 1080, United States of America.
- Tamhane, R. V. , D. P. Motiramani, Y. P. Bali y R. L. Donahue. 1978. Suelos su química y fertilidad en zonas tropicales, Traductor Aurelio Romero del Valle. Diana. México.
- Thompson, L.M. y F.R. Troeh. 1980. Los suelos y su fertilidad. Ed. 4ª Editorial. Reverte S.A. Barcelona, España. P.331-360.
- Vergara S., M.A. 1992. Efecto de períodos de inundación sobre fracciones de fósforo en un suelo calcáreo. XXV Congreso nacional de la ciencia del suelo.

Walworth, J. L., and J. E. Muñiz. 1993. A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes. Amer. Potato J. Vol. 70.

Wittmark, A. J: 1975. Potato growin in the atlantic provinces. con dept. Agr. Pub 1281:1-28.

APÉNDICE

DATOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN.

FÓSFORO EN SOLUCIÓN MÉTODO DE VANDER PAAUW.

BAYONERO

CONCENTRACIÓN DE P	MEDIA DE P EN SOLUCIÓN	LOG DE P SOLUCIÓN	P LIBERADO	P FIJADO
25	0.103	-0.984	1.037	23.96
50	0.091	-1.038	0.917	49.08
75	0.139	-0.855	1.397	73.60
100	0.120	-0.921	1.205	98.80
125	0.187	-0.726	1.877	123.12
150	0.260	-0.585	2.60	147.40

VENADO

CONCENTRACIÓN DE P	MEDIA DE P EN SOLUCIÓN	LOG DE P SOLUCIÓN	P LIBERADO	P FIJADO
25	0.264	-0.577	2.646	22.354
50	0.329	-0.482	3.294	46.706
75	0.516	-0.286	5.166	69.834
100	0.497	-0.303	4.974	95.025
125	0.694	-0.158	6.943	118.057
150	0.790	-0.102	7.903	142.097

POTRERO

CONCENTRACIÓN DE P	MEDIA DE P EN SOLUCIÓN	LOG DE P SOLUCIÓN	P LIBERADO	P FIJADO
25	0.278	-0.555	2.782	22.218
50	0.163	-0.785	1.638	48.362
75	0.161	-0.792	1.161	73.839
100	0.283	-0.548	2.830	97.17
125	0.328	-0.483	3.286	121.714
150	0.239	-0.620	2.398	147.602

ERIAL

CONCENTRACIÓN DE P	MEDIA DE P EN SOLUCIÓN	LOG DE P SOLUCIÓN	P LIBERADO	P FIJADO
25	0.171	-0.764	1.719	23.281
50	0.095	-1.021	0.951	49.049
75	0.151	-0.819	1.515	73.485
100	0.225	-0.646	2.259	97.741
125	0.144	-0.841	1.443	123.557
150	0.177	-0.749	1.779	148.221

BAYONERO

ECUACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

$$Y = 294.703 + 245.112 X$$

DATOS PARA OBTENER LA GRÁFICA LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

X	Y
-1	49.591
-0.75	110.869
-0.5	172.147
-0.25	233.425
0	294.703

VENADO

ECUACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

$$Y = 157.999 + 237.758 X$$

DATOS PARA OBTENER LA GRÁFICA LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

X	Y
-1	-79.759
-0.75	-20.319
-0.5	39.120
-0.25	98.559
0	157.999

POTRERO

ECUACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

$$Y = 159.068 + 117.174 X$$

DATOS PARA OBTENER LA GRÁFICA LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

X	Y
-1	41.894
-0.75	71.875
-0.5	100.481
-0.25	129.775
0	159.068

ERIAL

ECUACIÓN DE LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

$$Y = 185.161 + 123.089 X$$

DATOS PARA OBTENER LA GRÁFICA LA ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE TEMKIN

X	Y
-1	62.072
-0.75	92.844
-0.5	123.617
-0.25	154.389
0	185.161