



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL FÓSFORO EN
SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MANZANARES EN EL ESTADO
SUCRE
(Modalidad: Investigación)

CARLETH ALESIA LAGUADO RENDÓN

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2009

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GEOQUÍMICO DEL FÓSFORO EN
SUELOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MANZANARES EN EL ESTADO
SUCRE

APROBADO POR:

Dra. Luisa Rojas de Astudillo
Asesora Académica

Jurado Principal

Jurado Principal

INDICE

Contenido

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	6
Área De Estudio	6
Análisis De Propiedades Fisicoquímicas	8
Determinación del pH	8
Determinación de la textura del suelo	9
Determinación de materia orgánica por pérdida a 450°C	10
Determinación de P, Fe, Ca y Al totales	10
Determinación de Ca soluble	11
Determinación de Fe soluble	12
Determinación de Al soluble	12
Determinación de P mediante el proceso de especiación	13
Determinación del fósforo por espectrofotometría de absorción	16
Tratamiento Estadístico De Los Resultados	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Propiedades Fisicoquímicas	16
Determinación del pH por el método propuesto por Jackson (1964)	16
Determinación de textura del suelo por el método propuesto por Primo y Carrasco (1981)	18
Determinación de materia orgánica por el método descrito por Bernal y Betancur (1996)	19
Determinación del contenido total P, Fe, Ca y Al por el método descrito por Jackson (1964)	21
Contenido total de fósforo en suelos de las localidades estudiadas	22
Contenido total de hierro en suelos de las localidades estudiadas	23
Contenido Total De Calcio En Suelos De Las Localidades Estudiadas	24
Contenido Total De Aluminio En Suelos De Las Localidades Estudiadas	26
Determinación De Calcio Soluble En Suelos De Las Localidades Estudiadas	27
Determinación hierro soluble en suelos de las localidades estudiadas	29
Determinación De Aluminio Soluble En Suelos De Las Localidades Estudiadas	31
Determinación De P Mediante El Proceso De Especiación	32
Fraccionamiento químico del fósforo	32
BIBLIOGRAFÍA	39

APÉNDICE.....42

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres Alesia Rendón de Laguado y Carlos Laguado por haberme dado la fuerza necesaria para culminar la carrera y se que siempre están conmigo. ¡Los quiero mucho!

A mi esposo Wladimir, que con su amor y aliento estuvo conmigo en los momentos más difíciles y no me dejó decaer. ¡Te amo!

A la Sra. Gladys Medina, quien creyó en mí y me ayudó a continuar mis estudios.

A mi familia, muy especialmente a mis tías Raíza, Irama y Taymara y a mis tíos Rodney y Eduardo, quienes me ayudaron y siempre estuvieron pendientes de mi. ¡Los quiero mucho!

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado la fuerza y el espíritu necesario para realizar y culminar con satisfacción este trabajo.

A la doctora Luisa Rojas de Astudillo y al MSc. Ángel Marcano por su asesoramiento científico y su constante dedicación y esfuerzo, logrando solucionar todos los inconvenientes que se presentaron durante el desarrollo de esta investigación. Gracias porque sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible.

Al departamento de Química de la Universidad de Oriente por financiar gran parte de este proyecto. Y a los profesores que de alguna manera u otra contribuyeron a mi formación profesional.

Al Consejo de investigación de la Universidad de Oriente, por financiar este trabajo.

A los T.S.U Hernán Subero, José Luís Prin y Deudedith Hernández por su valiosa colaboración en la realización de la parte experimental de este proyecto.

A mis amigos Iliana, José Luís, Jorge, Enfred y Yahsé con quienes compartí durante la carrera. Gracias por su apoyo y Cariño.

A mis compañeros del Laboratorio de Química de suelos, Marelys, Edgar y Octavio. Por su ayuda y brindarme su amistad.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Manzanares en el Estado Sucre.....	7
Tabla 2. Valores de pH del suelo en las diez localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	17
Tabla 3. Análisis de varianza para el pH (Agua destilada) en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	18
Tabla 4. Análisis de varianza para el pH (KCl 1 mol l ⁻¹) en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	18
Tabla 5. Textura y porcentaje de arena, limo y arcilla en las diez localidades estudiadas a una profundidad de (0 a 20) cm.....	19
Tabla 6. Valores de materia orgánica del suelo encontradas en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares a las tres profundidades estudiadas.....	20
Tabla 7. Análisis de varianza para el %MO en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	21
Tabla 8. Concentraciones de fósforo, hierro, calcio y aluminio y porcentaje de recuperación obtenido utilizando material de referencia certificado Montana Soil (NIST 2711) empleando el método de Jackson (1964).....	21
Tabla 9. Análisis de varianza para el contenido de P total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	22
Tabla 10. Análisis de varianza para el contenido de Fe total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	24
Tabla 11. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Fe total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	24
Tabla 12. Análisis de varianza para el contenido de Ca total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	25
Tabla 13. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Ca total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	25
Tabla 14. Análisis de varianza para el contenido de Al total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	27
Tabla 15. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Al total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	27
Tabla 16. Análisis de varianza para el contenido de Ca soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	28
Tabla 17. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Ca soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	29
Tabla 18. Análisis de varianza para el contenido de Fe soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	30
Tabla 19. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Fe soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	30
Tabla 20. Análisis de varianza para el contenido de Al soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.....	32

Tabla 21. Análisis de varianza para la fracción intercambiable en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	34
Tabla 22. Análisis de varianza para la fracción asociada a Fe y Al en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	35
Tabla 23. Análisis de varianza para la fracción asociada a polifosfatos en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	36
Tabla 24. Análisis de varianza para la fracción asociada a Ca en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	37
Tabla 25. Análisis de varianza para la fracción residual en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre el pH de la solución y concentración relativa de tres formas solubles de fosfatos (Bravo, 2000).	2
Figura 2. Localidades de muestreo en la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.	8
Figura 3. Esquema de la metodología de Psenner (1988) para el fraccionamiento químico del fósforo.	14
Figura 4. Contenido total de fósforo en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	22
Figura 5. Contenido total de hierro en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	23
Figura 6. Contenido total de calcio en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	25
Figura 7. Contenido total de aluminio en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.	26
Figura 8. Contenido de calcio soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	28
Figura 9. Contenido de hierro soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	29
Figura 10. Contenido de aluminio soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.	31
Figura 11. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (0 a 10 cm).	34
Figura 12. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (10 a 20 cm). ...	35
Figura 13. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (20 a 30 cm). ...	36

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento geoquímico del fósforo en muestras de suelos que fueron recolectadas en diez localidades de la cuenca alta del río Manzanares, en el estado Sucre, a distintas profundidades (0 a 10 cm), (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm). Para la extracción secuencial del fósforo se empleó el método descrito por Psenner (1988). En la determinación de P, Fe, Ca y Al se utilizó la metodología empleada por Jackson (1964) y para los contenidos de calcio, aluminio y hierro solubles se usaron las metodologías de Chapman y Pratt (1973) y Lindsay y Norvell (1978). Además, se evaluaron la textura, porcentaje de materia orgánica y el pH de los suelos. Los resultados indican que la mayoría de los suelos presentan textura franca, variando entre arenosa y arcillosa, con pH que oscila entre 5,90 y 8,27. Los porcentajes de materia orgánica en general fueron altos (>4%), mientras que las concentraciones totales de P, Ca, Fe y Al variaron entre 1038,30 y 3448,30 mg kg⁻¹; 82,85 y 1950,51 µg g⁻¹; 860,62 y 11081,11 µg g⁻¹ y 94,26 y 1199,19 µg g⁻¹; respectivamente. Las concentraciones solubles se obtuvieron para el hierro entre 3,20 y 91,00 µg.g⁻¹; para el calcio entre 133,00 y 1648,33 µg.g⁻¹ y para el aluminio entre 0,22 y 1,48 µg.g⁻¹. Del análisis de correlación se encontraron asociaciones significativas entre el pH y los contenidos totales de Ca, Al y el P total. También mostraron relaciones significativas el pH y las cantidades solubles de los elementos Fe y Ca. Los resultados corroboran que el pH del suelo es un factor importante que controla el tipo de compuesto o mineral que reacciona con el fósforo. El comportamiento del P en las diferentes fracciones geoquímicas estuvo de manera general mayormente asociado al Ca. Es relevante mencionar que el P presentó correlación significativa con cada una de las fracciones geoquímicas.

INTRODUCCIÓN

El fósforo es uno de los macronutrientes más significantes estudiados en los ecosistemas. Es de gran importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas, pero sus especies químicas varían ampliamente dependiendo de la localidad, tipo de suelo y el manejo agrícola (Oldham *et al.*, 2003). Generalmente, el fósforo se encuentra en pequeñas cantidades en el suelo y tiende a reaccionar con algunos componentes del mismo, formando compuestos relativamente insolubles, disminuyendo así la disponibilidad de este elemento (Castillo, 1988). En el suelo, el fósforo se encuentra en la forma orgánica e inorgánica. Las orgánicas están representadas por la fitina y sus derivados, ácidos nucleicos y, en menores cantidades, por los fosfolípidos (Devlin *et al.*, 2002; Hanrahan *et al.*, 2005).

La fuente principal de fósforo inorgánico se origina durante la desintegración y descomposición de las rocas que contienen el mineral apatita, formando fluorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), cloroapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$), e hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$). También, el fósforo se encuentra combinado con hierro y aluminio, formando fosfatos de hierro y aluminio $\text{PO}_4\text{Al}_2\text{H}_2\text{O}$ (variscita), $\text{PO}_4\text{Fe}_2\text{H}_2\text{O}$ (estrengita) y en combinaciones con arcillas, humus y otras formas orgánicas (Spivakov *et al.*, 1999; Hanrahan *et al.*, 2005).

Tanto las especies orgánicas como las inorgánicas de fósforo interactúan con los componentes del suelo y están sujetas a varias transformaciones químicas que afectan la retención de este elemento (Turner *et al.*, 2005).

El pH del suelo es un factor importante, debido a que controla el tipo de compuesto o mineral que reacciona con el fósforo y la forma en que éste se presenta en la solución del suelo. A pH 7,2, la relación entre $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ son iguales entre sí. Por encima de este pH, la concentración de HPO_4^{2-} aumentará y, por tanto, la diferencia con

el H_2PO_4^- se incrementará en la medida que se aumenta el pH. Lo contrario ocurre con la disminución del pH por debajo de 7,2, como se muestra en la figura 1 (Bravo, 2000).

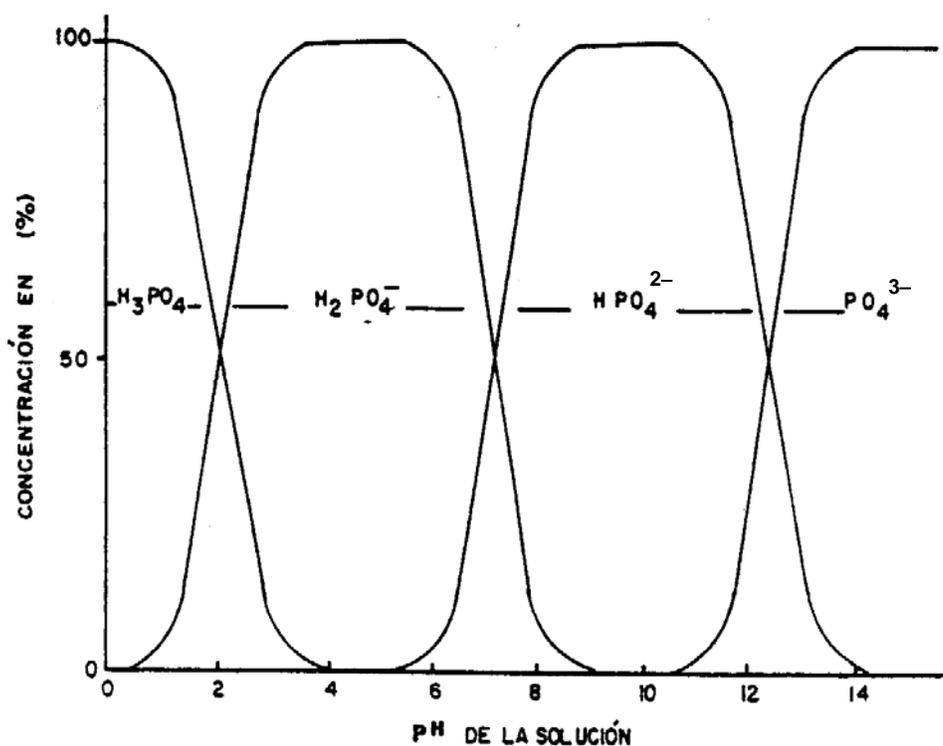


Figura 1. Relación entre el pH de la solución y concentración relativa de tres formas solubles de fosfatos (Bravo, 2000).

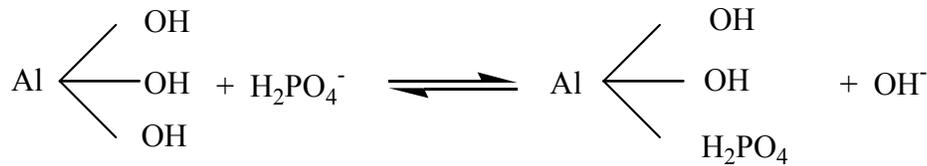
El fósforo es absorbido por las plantas como iones ortofosfato primarios y secundarios (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), los cuales están presentes en la solución del suelo. Solamente una pequeña cantidad de fósforo orgánico soluble puede ser absorbido. Por tal razón, es considerada poco importante (Black, 1993).

En suelos fuertemente ácidos, predominan en grandes cantidades óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, los cuales absorben P fuertemente a sus superficies (Bravo y Guerrero, 1990). Sin embargo, el P superficial puede intercambiarse con el de

la solución, mediante intercambio aniónico. Los fosfatos de Fe y Al pueden reaccionar con iones hidróxido (OH⁻) de las arcillas silicatadas y producir el intercambio.



También, pueden fijar P los óxidos de Fe y Al, bien sea adsorbido en la superficie de ellos o sobre las partículas de arcilla.

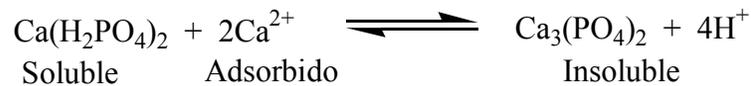


El Fe³⁺ y el Al³⁺, tanto en forma iónica como en hidróxidos, reaccionan rápidamente con el fósforo (H₂PO₄⁻) en solución, hasta precipitar como fosfato cristalizado de Fe y Al, de baja solubilidad.



En estos suelos ácidos, también, se originan las formas cristalinas de fósforo, como son la variscita y estrengita (AlPO₄ · 2H₂O y FePO₄ · 2H₂O).

Los compuestos de calcio y magnesio, al reaccionar con iones HPO₄²⁻, precipitan en suelos con pH alcalino. Cuando los iones Ca²⁺ predominan y el pH del suelo es 7,50 ó superior, el CaHPO₄ precipita. Esta forma de fósforo (fosfato dicálcico) es una de las formas más solubles del fósforo cristalizado y es una fuente de reserva de fósforo en el suelo. Ésta es considerada como la principal forma de fósforo residual en el suelo, producto de la fertilización (Barroso y Vahas, 2005).



La materia orgánica del suelo tiende a aminorar el efecto de fijación y adsorción de fósforo, incrementando su disponibilidad para las plantas, debido a que la descomposición de los residuos orgánicos produce la liberación de grandes cantidades de CO₂. Este gas, al disolverse en agua, forma “ácido carbónico”, capaz de descomponer ciertos minerales primarios presentes en el suelo. Además, ciertos aniones orgánicos, originados por la descomposición de la materia orgánica, forman complejos estables con el hierro y el aluminio, disminuyendo sus actividades y, como consecuencia, la formación de compuestos insolubles de fosfato. Entre estos aniones figuran citratos, oxalatos, tartratos, maleatos y malonatos, que pueden aparecer en suelos por la degradación de la materia orgánica (Turner *et al.*, 2005).

En función de las distintas clases de P en el suelo y del extractante que las remueve, se han propuesto varias técnicas de fraccionamiento para identificarlas. El método desarrollado por Chang y Jackson (1957) con modificado por Petersen y Corey (1966) y por Williams *et al.* (1967) han sido muy utilizados. Sin embargo, estos procedimientos han ignorado el fósforo orgánico, muy importante del mismo en la nutrición de las plantas, principalmente en suelos tropicales (Sharpley *et al.*, 1989; Sattell y Morris, 1992). En los últimos diez años, el procedimiento de extracción secuencial de las distintas fracciones de fósforo inorgánico (Pi) y fósforo orgánico (Po) más usados son los desarrollados por Hedley *et al.* (1982) y Tiessen *et al.* (1984). Con estos métodos, determinan el Pi y Po extrayendo primero las formas más lábiles, y por último las formas más resistentes.

La extracción secuencial es una herramienta excelente para la separación de los elementos presentes en muestras naturales; y esta secuencia de extracción química puede ser usada para estimar el potencial de movilización de los metales bajo condiciones ambientales cambiantes (Debek *et al.*, 2003).

El material sólido puede ser particionado en fracciones específicas, las cuales pueden ser extraídas selectivamente usando reactivos químicos apropiados. Considerando la similaridad entre suelos y sedimentos, estos procedimientos de extracción pueden ser adaptados de los métodos de análisis químicos de suelos clásicos (Tessier *et al.*, 1979).

En el método de Hedley *et al.* (1982), varía la fuerza de los extractantes para estimar las diferentes fracciones de P de acuerdo a sus asimilaciones y, que cada fracción específica, es asimilada igual en suelos distintos. Guo *et al.* (2000) afirma que esta presunción necesita ser verificada en los distintos lugares y con distintos sistemas de manejo.

En la cuenca alta del río Manzanares, no existen estudios acerca de los nutrientes en los suelos, por lo que el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el comportamiento geoquímico del fósforo, mediante una extracción secuencial, según el método propuesto por Psenner (1988), el cuál consiste en separar y cuantificar cinco formas de fósforo en los suelos (P intercambiable, P asociado a Fe y Al, polifosfatos, P asociado a Ca y el P residual), y conocer las propiedades fisicoquímicas de éstos.

METODOLOGÍA

Área De Estudio

El río Manzanares está ubicado al este del país en el estado Sucre, Venezuela. Su cuenca se encuentra entre las coordenadas 63° 45' 30" y 63° 19' 20" de longitud oeste y 10° 05' 30" y 10° 29' 20" de latitud norte. Tiene su nacimiento en el macizo montañoso del Turimiquire, en la cordillera de la Costa, a 2.300 m de altitud. Fluye a lo largo de 300 km y drena una cuenca de poco más de 1.000 km², hasta desembocar en el mar Caribe, por el golfo de Cariaco, ejerce gran influencia, hacia el lado oeste de la costa del golfo, cercana a la ciudad de Cumaná. Este río integra, conjuntamente con los ríos Neverí y Guarapiche, el sistema fluvial de la costa oriental venezolana. En su recorrido irriga diversos poblados con una alta dedicación agrícola, como Cumanacoa, San Salvador, Arenas, San Lorenzo y Quebrada Seca (Fuentes *et al.*, 2008).

Recolección De Los Suelos

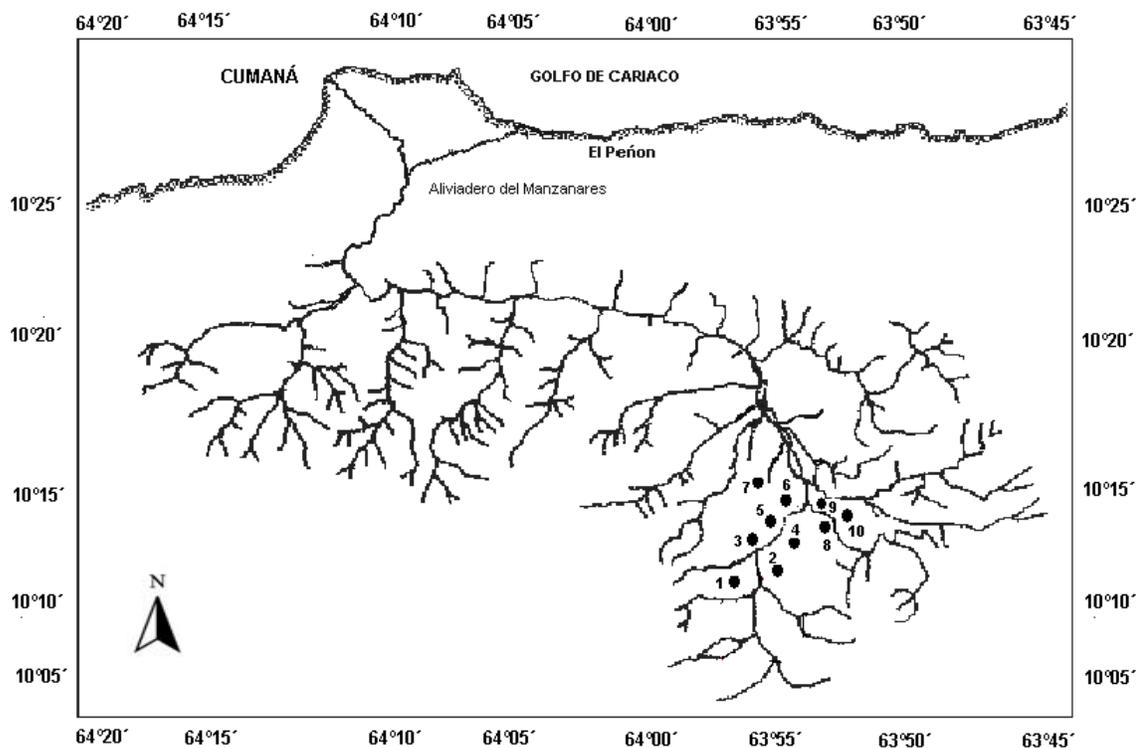
Para realizar esta investigación se recolectaron muestras de suelos de 10 localidades (tabla1), en el mes de octubre de 2004. Se tomaron las mismas zonas establecidas en el proyecto titulado: "Diagnóstico Ambiental y Participación Comunitaria para el Control de Contaminación del Río Manzanares N° QCL – 2324-2288-2661-2102", cofinanciado por la Embajada Británica en Venezuela y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y ejecutado por la Universidad de Oriente. En la figura 2, se aprecia un mapa del estado Sucre donde se denota el área de muestreo en la cuenca alta del río.

Las muestras de suelo fueron tomadas en forma representativa de la superficie o capa arable, en un área de 100 m². En cada punto, se realizó un cuadro de 30 cm de

ancho por 30 cm de largo, con palas plásticas, tomando diferentes muestras a distintas profundidades (0 a 10 cm), (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm) y se guardaron en bolsas plásticas para su posterior análisis.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo en la cuenca alta del río Manzanares en el Estado Sucre.

Estación	Sector	Coordenadas geográficas	
		Longitud	Latitud
1	Cutabano – Las Charas	63°56'39"	10°10'35"
2	Manzanares – Yoroco	63°56'05"	10°10'58"
3	Yoroco abajo izquierdo	63°55'55"	10°11'04"
4	Las Trincheras – Las Lomas	63°55'24"	10°11'19"
5	Manzanares I	63°56'02"	10°10'59"
6	Yoroco abajo derecho	63°55'59"	10°11'06"
7	Fragua	63°55'14"	10°12'00"
8	Orinoco – La Toma	63°54'42"	10°12'43"
9	Orinoco – Acueducto	63°54'25"	10°12'41"
10	Frontera Peña – Orinoco	63°54'28"	10°13'10"



Leyenda: (1) Cutabano - Las Charas; (2) Manzanares -Yoroco; (3) Yoroco abajo izquierdo; (4) Las Trincheras - Las Lomas; (5) Manzanares I; (6) Yoroco abajo derecho; (7) Fragua; (8) Orinoco - La Toma; (9) Orinoco Acueducto; (10) Frontera Peña-Orinoco

Figura 2. Localidades de muestreo en la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.

Las muestras se secaron al aire libre extendiéndolas en papel bond limpio. Los agregados se trituraron en un mortero hasta que se obtuvo la reducción adecuada, se evitó cuidadosamente moler las partículas de gravas y arenas. Éstas se mezclaron individualmente hasta que se logró la homogenización y, luego, se pasaron por un tamiz de 200 μm para los análisis respectivos.

Análisis De Propiedades Físicoquímicas

Determinación de humedad

El análisis se realizó usando el método empleado por Jackson (1964). En una estufa fijada a una temperatura de 105°C, se colocaron 5 g de suelo en un vaso de precipitado, previamente pesado. La muestra permaneció durante 24 horas secándose y, posteriormente, se dejó enfriar a temperatura ambiente en un desecador por 2 horas. Concluido el periodo de enfriamiento, se midió la masa del vaso con la muestra. La humedad se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{m_h - m_s}{m_h} \times 100,$$

donde, m_h es la masa de suelo húmedo y m_s la masa de suelo seco.

Determinación del pH

Una cierta cantidad de suelo se mezcló con una solución de KCl 1 mol l⁻¹ en una relación masa-volumen de 1,0:2,5; en un vaso de precipitado de 50 ml de capacidad. La

mezcla se agitó por media hora empleando un agitador magnético y, posteriormente, se midió el pH de la suspensión utilizando un pH-metro electrónico digital (Jackson, 1964). Se empleó el mismo procedimiento para realizar mediciones de pH con agua desionizada en sustitución de la solución de KCl.

Determinación de la textura del suelo

El análisis se realizó por el método del densímetro de Bouyuocos, tal como fue descrito por Primo y Carrasco (1981), para determinar el contenido de arenas, limos y arcillas en el suelo.

Una muestra de 50 g de suelo se colocó en una copa batidora y se le añadió 10 ml de solución dispersante (Hexametáfosfato de sodio) y agua destilada hasta que la superficie del líquido quedase a unos 6 cm sobre el fondo de la copa. Se agitó la solución mediante la acción de la batidora durante 5 minutos, se transfirió el contenido a un cilindro de un litro, arrastrando en su totalidad todas las partículas, completando con agua destilada hasta un litro. El cilindro se agitó, tapado, durante un minuto a fin de homogeneizar el contenido, luego, se dejó en reposo y se anotó el tiempo; a continuación se introdujo el hidrómetro, se tomó la lectura (c) y la temperatura de la suspensión (t) a los 40 segundos de haberse iniciado el registro del tiempo. Al cabo de dos horas del momento en que se comenzó el conteo del tiempo, se volvió a introducir el hidrómetro y se tomó nuevamente la lectura (c') y la temperatura (t').

Los porcentajes de arcilla, limo y arena se calcularon de las lecturas del hidrómetro, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$x = \frac{c + (t - 20)0,36}{50} \times 100 \text{ y}$$

$$y = \frac{c' + (t' - 20)0,36}{50} \times 100,$$

donde

x = porcentaje de limo + arcilla

y = porcentaje de arcilla

$(x - y)$ = porcentaje de limo

$(100 - x)$ = porcentaje de arena

0,36 = factor de corrección por grado de diferencia de temperatura

Determinación de materia orgánica por pérdida a 450°C

El contenido de materia orgánica se determinó por el método descrito por Bernal y Betancur (1996), el cual se fundamenta en la mineralización total de la materia orgánica que se encuentra contenida en los suelos y sedimentos. Esto se logró a través de la calcinación de las muestras a altas temperaturas, en una mufla a 450°C, de tal manera que se obtuvo una fracción libre de materia orgánica, la determinación se realizó por la pérdida de masa debido a la oxidación de materia orgánica en la muestra a CO₂, el cual fue liberado a la atmósfera. Se colocaron 2 g de suelo seco en crisoles de porcelana previamente pesados, y se llevaron a una mufla a 450°C durante 8 horas. Después de enfriados se pesaron los crisoles, obteniéndose por diferencia de masa el contenido de materia orgánica.

Determinación de P, Fe, Ca y Al totales

Las cantidades totales de los metales se extrajeron por digestión con una mezcla ácida de HNO₃ y HClO₄, la cual se caracteriza por ser un oxidante fuerte y eficiente sobre carbonatos, fosfatos y otros constituyentes del suelo, pero no sobre los silicatos. Se procedió de acuerdo al método descrito por Jackson (1964).

En erlenmeyer de 200 ml se hizo una predigestión de 1 g de muestra (tamizada previamente en una malla de 0,5 mm) con 10 ml de HNO₃ conc. y se tapó con un embudo para obtener reflujo al calentársele a una temperatura entre 80 y 90 °C hasta casi sequedad. El erlenmeyer se dejó en reposo durante 15 min y, posteriormente, se le

añadieron 10 ml de una mezcla de HNO_3 conc. y HClO_4 al 70% en una proporción de 5:1, respectivamente. Nuevamente, fue digerida la muestra en reflujo a una temperatura de 180°C , hasta casi sequedad, y se dejó, luego, enfriar a temperatura ambiente. El residuo resultante fue lavado con 50 ml de agua desionizada y se filtró, a través de papel Whatman N° 40, en un matraz aforado de 100 ml. Las paredes del matraz se lavaron varias veces con porciones de 5 ml de agua desionizada y luego se completó el volumen de la solución hasta el aforo.

El P total se determinó fotométricamente desarrollando el color amarillo del complejo vanadomolibdo fosfórico; los elementos Fe, Ca y Al en un espectrómetro de emisión óptica marca Perkin Elmer modelo óptima 5300 DV. El método fue evaluado usando un material de referencia certificado.

Determinación de Ca soluble

El calcio intercambiable se extrajo con acetato de amonio 1 mol l^{-1} , ajustando a pH 7, según el método de Chapman y Pratt (1973).

En un tubo de centrifuga se mezclaron 5 g de suelo y 25 ml de extractante, mediante agitación mecánica, durante media hora. Posteriormente, la mezcla se centrifugó y filtró en un matraz de 100 ml, utilizando papel de filtro Whatman N° 42. Este procedimiento se repitió dos veces más, con la finalidad de extraer completamente los iones Ca^{2+} ; pero, esta vez, con un periodo de agitación de 15 min.

A la última extracción se le realizó una prueba para asegurarse que todo el calcio había sido extraído, la cual consistió en adicionar 10 gotas de una solución $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ de NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ y NH_4OH a 10 ml del extracto en un tubo de ensayo, que fue calentado en agua hirviente, durante 5 min. La no aparición de un precipitado blanco indicó que el Ca se extrajo completamente.

Los extractos obtenidos se completaron con agua desionizada hasta un volumen de 100 ml. Seguidamente, 5 ml de esta solución fueron transferidos a otro matraz aforado de 100 ml, completándose hasta el aforo con agua desionizada.

El Ca se midió en un espectrómetro de emisión óptica marca Perkin Elmer modelo óptima 5300 DV.

Determinación de Fe soluble

El Fe se extrajo con DTPA (ácido dietiltri amino pentaacético), según el método de Lindsay y Norvell (1978).

Mediante agitación mecánica, se mezcló 5 g de suelo y 25 ml de una solución de DTPA ($0,005 \text{ mol l}^{-1}$ de DTPA, $0,005 \text{ mol l}^{-1}$ de CaCl_2 y $0,1 \text{ mol l}^{-1}$ de trietanolamina, ajustando a un pH de 7,3 con ácido acético (1:1), durante 25 min, en un tubo de centrifuga de 50 ml. La mezcla se centrifugó por 5 min a 5000 rpm y se filtró a través de papel Whatman N° 42 en un matraz aforado de 100 ml y se enrasó. Se agregó 5 ml de este extracto en un matraz aforado de 50 ml y, luego, se completó con agua desionizada hasta el enrase. Finalmente, la concentración del elemento se determinó usando un espectrómetro de emisión óptica marca Perkin Elmer modelo óptima 5300 DV.

Determinación de Al soluble

Para la determinación de aluminio extraíble, se empleó el método descrito por Chapman y Pratt (1973), el cual se describe a continuación:

En un frasco de centrífuga de 100 ml de capacidad, se mezcló 10 g de suelo con 25 ml de $\text{KCl } 1 \text{ mol l}^{-1}$, en un agitador mecánico por 15 min. La mezcla se centrifugó por 5 min a 5000 rpm y se filtró en un matraz de 100 ml. Esta operación se repitió dos veces

más, agitando, esta vez, por 10 min y recogiendo el filtrado en el mismo matraz. Se completó con agua desionizada hasta la marca. La concentración de Al se determinó usando un espectrómetro de emisión óptica marca Perkin Elmer modelo óptima 5300 DV.

Determinación de P mediante el proceso de especiación

Fraccionamiento químico del fósforo

Se realizó según el método de Psenner (1988), el cual consistió de extracciones secuenciales con diferentes soluciones, con el fin de separar y cuantificar las distintas formas de fósforo en suelos (figura 3).

Fracción A. En un tubo plástico con tapa, de 50 ml de capacidad, se mezclaron mediante agitación mecánica, 1 g de suelo y 25 ml de una solución de NaCl $0,5 \text{ mol l}^{-1}$, durante 1 hora. La mezcla se centrifugó por 10 minutos a 5000 rpm y se filtró a través de papel de filtro Whatman N° 42, en un matraz volumétrico de 100 ml. Este procedimiento se repitió una vez más, recogiendo el filtrado en el mismo matraz. El contenido se aciduló con 1 ml de H_2SO_4 (1 mol l^{-1}) y se completó con agua desionizada hasta la marca. Esta fracción contiene el fósforo intercambiable.

Fracción B. Al sólido tratado en la parte anterior, se le agregó 25 ml de una solución que contenía $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ $0,11 \text{ mol l}^{-1}$ y NaHCO_3 $0,11 \text{ mol l}^{-1}$ (a pH 7) y se agitó durante 1 hora. La mezcla se centrifugó por 5 minutos, a 5000 rpm y se filtró en un matraz de 100 ml. Este procedimiento se repitió, agregándose nuevamente la solución en el matraz. La muestra de suelo se lavó con 25 ml de NaCl ($0,5 \text{ mol l}^{-1}$) mediante agitación y se mezcló con los dos extractos anteriores. La solución resultante se aciduló

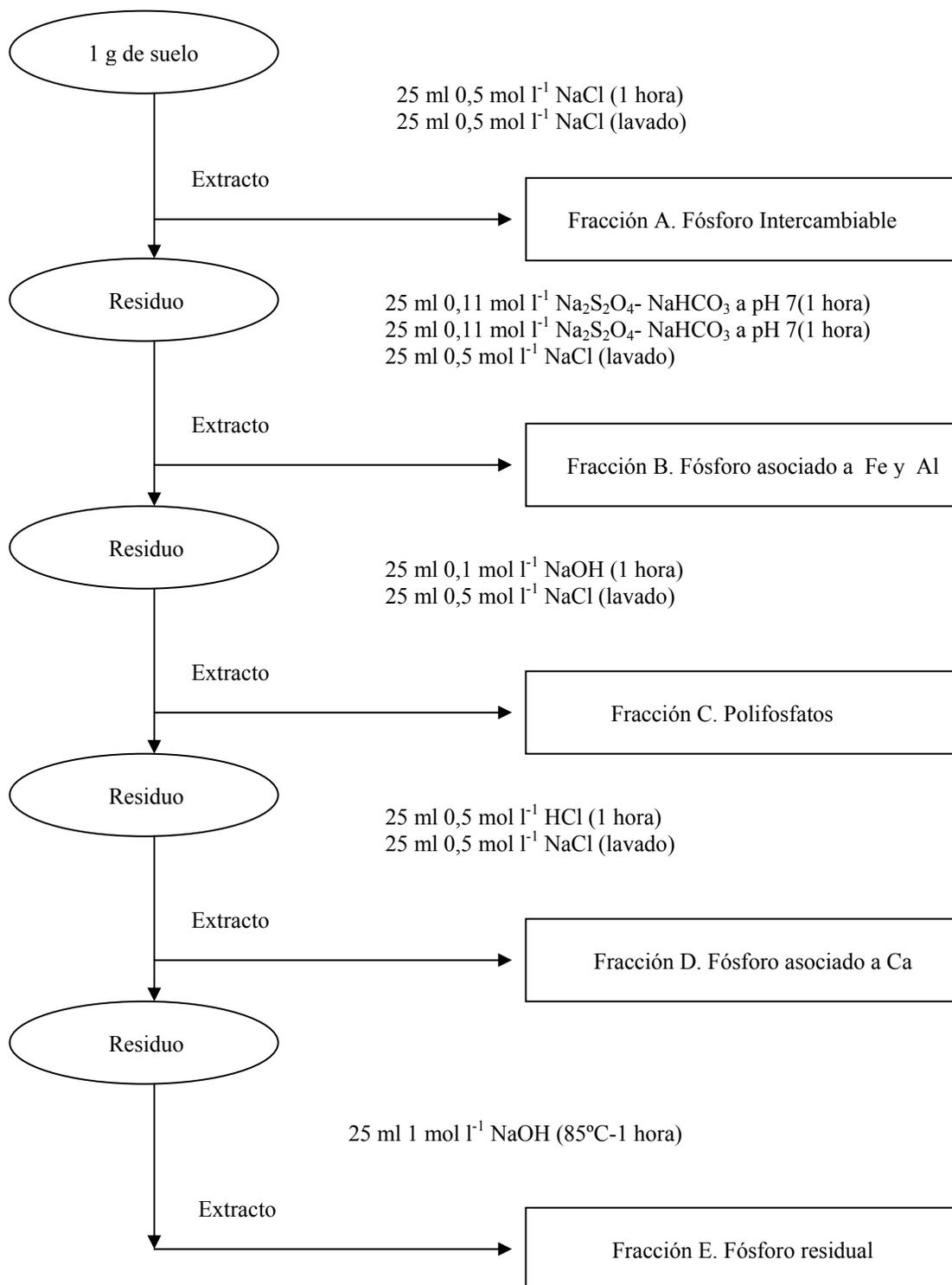


Figura 3. Esquema de la metodología de Psenner (1988) para el fraccionamiento químico del fósforo.

con 8 ml de H_2SO_4 (1 mol l^{-1}) y se completó hasta la marca con agua desionizada. Esta fracción contiene el fósforo asociado con hierro y aluminio.

La presencia de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ en esta fracción, interfiere con la reducción del complejo molibdato – P, por lo que a cierta cantidad del extracto se le agregó 5 ml de HClO_4 (70%), 5 ml de molibdato de amonio ($0,06 \text{ mol l}^{-1}$) y se completó con agua desionizada hasta un volumen de 25 ml. Después se agitó y se dejó reposar la mezcla por 20 minutos se extrajo el complejo molibdato – P con 40 ml de isobutanol en un embudo de separación. Luego se separó la capa acuosa, se lavó el isobutanol dos veces con agua desionizada y se agregó en un balón de 100 ml.

Fracción C. En esta etapa, el suelo se mezcló con 25 ml de NaOH ($0,1 \text{ mol l}^{-1}$) por 18 horas y se centrifugó por 5 min, a 5000 rpm. La solución sobrenadante se filtró y colocó en un matraz de 100 ml. El sólido decantado se lavó con 25 ml de NaCl ($0,5 \text{ mol l}^{-1}$) y se mezcló con el extracto anterior. La solución se aciduló con 3 ml de H_2SO_4 (1 mol l^{-1}) y se completó con agua desionizada. Esta fracción contiene polifosfatos.

Fracción D. El suelo proveniente del fraccionamiento C se mezcló mediante agitación con 25 ml de HCl ($0,5 \text{ mol l}^{-1}$) durante 1 hora. Se centrifugó por 5 min a 5000 rpm y luego se filtró y recogió en un matraz de 100 ml. El sólido se lavó con 25 ml de NaCl ($0,5 \text{ mol l}^{-1}$), se centrifugó y filtró en el matraz. La solución se completó con agua desionizada. Esta fracción contiene el fósforo asociado con calcio.

Fracción E. En esta última etapa, el suelo se agitó con 25 ml de NaOH (1 mol l^{-1}) a 85°C por 1 hora. Se dejó enfriar y, luego, se centrifugó por 5 min a 5000 rpm. La solución sobrenadante se filtró y se agregó en un matraz de 100 ml. Se aciduló con 3 ml de H_2SO_4 (1 mol l^{-1}) y se completó con agua desionizada. Esta fracción contiene al fósforo residual.

Determinación del fósforo por espectrofotometría de absorción

El contenido de fósforo en cada una de las fracciones se determinó fotométricamente empleando la técnica del azul molibdofosfórico – ácido ascórbico (reactivo de Murphy y Riley, 1962); el cual generó un complejo de color azul con el fósforo.

Cierta cantidad de cada extracto se diluyó en un vaso de precipitado hasta un volumen de 40 ml con agua desionizada y luego se ajustó el pH a 5 con HCl o NaOH. Esta se transfirió a un balón de 50 ml, se le agregó 4 ml del reactivo de Murphy y Riley y se completó con agua desionizada hasta la marca. Se prepararon, patrones de fósforo de 0,0; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 mg l⁻¹, a partir de una solución estándar de 50 mg.l⁻¹ de P. La concentración de P se determinó utilizando un espectrofotómetro Spectronic Genesys 20 a una longitud de 840 nm.

Tratamiento Estadístico De Los Resultados

Los datos fueron procesados estadísticamente mediante un análisis de varianza múltiple (Modelo II), se utilizó un paquete estadístico software SGPLUS, que también incluyó la comparación de los promedios significativos según el procedimiento de la prueba Duncan (P< 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados presentados a continuación son los obtenidos al determinar las propiedades fisicoquímicas (pH, textura y materia orgánica), las concentraciones solubles y totales de los elementos (P, Fe, Ca y Al), el fraccionamiento químico del fósforo y, por último, las correlaciones de las diferentes fracciones de P con el pH, la materia orgánica y las concentraciones de hierro, calcio y aluminio.

Propiedades Fisicoquímicas

Determinación del pH por el método propuesto por Jackson (1964)

En la tabla 2, se pueden observar los valores de pH, medidos en las diez localidades estudiadas, tanto en agua destilada como en solución salina de cloruro de potasio 1 mol l^{-1} . Tomando el promedio de las dos medidas se puede decir que la mayoría de los suelos tienden a ser neutros, en un intervalo de pH 6,5 a 7,5; a diferencia, de las localidades Cutabano – Las Charas, Manzanares – Yoroco, y la Fragua que se muestran ligeramente alcalinos (intervalo de pH 7,5 a 8,5) y Trincheras Las Lomas que es ligeramente ácida (intervalo de pH 6,0 a 6,5). Se puede determinar, de acuerdo al pH, que la mayoría de los suelos analizados son óptimos para el cultivo.

Se puede notar que el pH medido en cloruro de potasio arroja valores más bajos que en agua. Esos resultados corroboraron lo planteado por varios investigadores que cuando el suelo se dispersa en agua destilada, los iones H_3O^+ se disponen formando una capa difusa que tendrá mayor concentración en las proximidades de las partículas, al ser atraídos por las cargas negativas de las mismas; sin embargo, cuando se realiza la dispersión en un medio salino, como el utilizado en este trabajo, el potasio puede

sustituir a los iones H_3O^+ con mayor facilidad a la disolución y formándose una capa difusa que retiene preferentemente a los iones potasio, estando los iones H_3O^+ más libres y, por tanto, más activos en el medio (Calderón y Pavlon, 1999).

En el análisis de varianza del pH, tanto en agua destilada como en solución salina de cloruro de potasio 1 mol l^{-1} , no se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tablas 3 y 4).

Tabla 2. Valores de pH del suelo en las diez localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Sector	Profundidad (cm)	(pH \pm 0,01)	
		Agua destilada	KCl(1 mol l ⁻¹)
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	7,78	7,61
	(10 a 20)	7,62	7,58
	(20 a 30)	7,51	7,46
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	8,27	7,51
	(10 a 20)	8,11	7,46
	(20 a 30)	8,03	7,39
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	6,95	6,41
	(10 a 20)	6,29	5,35
	(20 a 30)	6,03	5,12
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	6,10	5,93
	(10 a 20)	5,96	5,50
	(20 a 30)	5,90	5,41
Manzanares I	(0 a 10)	8,03	7,17
	(10 a 20)	7,17	6,85
	(20 a 30)	7,07	6,53
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	7,14	6,91
	(10 a 20)	6,82	6,34
	(20 a 30)	6,69	6,44
Fragua	(0 a 10)	7,99	7,67
	(10 a 20)	7,78	7,56
	(20 a 30)	7,49	7,20
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	7,48	7,39
	(10 a 20)	7,41	7,33
	(20 a 30)	7,27	7,21
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	6,98	6,68
	(10 a 20)	6,93	6,66
	(20 a 30)	6,30	6,92
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	7,53	7,33
	(10 a 20)	7,49	7,28
	(20 a 30)	7,29	7,17

Tabla 3. Análisis de varianza para el pH (Agua destilada) en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	1,10	2	0,54	1,21	0,31
Error	12,27	27	0,45		
Total	13,37	29			

gl: grados de libertad

Tabla 4. Análisis de varianza para el pH ($\text{KCl } 1 \text{ mol l}^{-1}$) en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	0,75	2	0,38	0,67	0,52
Error	15,18	27	0,56		
Total					

gl: grados de libertad

Determinación de textura del suelo por el método propuesto por Primo y Carrasco (1981)

En la tabla 5 se presentan los resultados de la determinación de textura y los porcentajes de arena, limo y arcilla de las diez localidades estudiadas. En ella, se observa que predominan, en general, los suelos francos, a excepción de Cutabano – Las Charas, Yoroco abajo derecho y Orinoco – La Toma, que poseen el mayor contenido en arena. Los suelos arenosos retienen poca humedad y poseen poca habilidad para retener los nutrientes, son de baja fertilidad por su alta porosidad y rápida percolación. Los suelos francos poseen buena penetración de agua dependiendo, en cierta parte, del porcentaje de arena presente en la mezcla, retienen bien el agua y nutrientes, por lo cual es poca la pérdida de nutrientes por lixiviación. Los mejores resultados agrícolas se obtienen en este tipo de suelos.

Tabla 5. Textura y porcentaje de arena, limo y arcilla en las diez localidades estudiadas a una profundidad de (0 a 20) cm.

Sector	% Arcilla	% Arena	% Limo	Textura
Cutabano – Las Charas	14,5	71,5	14	Arenoso Franco
Manzanares – Yoroco	40,5	33,5	26	Franco arcillo - arenoso
Yoroco abajo izquierdo	34,5	33,5	32	Franco
Las Trincheras – Las Lomas	20,5	69,5	10	Franco arenoso
Manzanares I	28,5	47,5	24	Franco
Yoroco abajo derecho	20,5	63,5	16	Arenoso Franco
Fragua	36,5	39,5	24	Franco arenoso - arcilloso
Orinoco – La Toma	20,5	57,5	22	Arenoso Franco
Orinoco – Acueducto	38,5	41,5	20	Franco arcilloso
Frontera Peña – Orinoco	28,5	45,5	9	Franco arenoso

Determinación de materia orgánica por el método descrito por Bernal y Betancur (1996)

En la tabla 6, se presentan los resultados de la determinación de materia orgánica. En ella se observa que los porcentajes de materia orgánica en general son altos (> 4%). El contenido de materia orgánica del suelo es un buen indicador de su fertilidad, principalmente de su capacidad potencial para proporcionar los nutrimentos como nitrógeno, fósforo, azufre, etc., a los cultivos. Además, tal contenido indica la capacidad relativa del suelo para retener nutrimentos contra pérdidas por lixiviación; la estabilidad de su estructura y susceptibilidad a la erosión; el movimiento de agua y aireación; la capacidad amortiguadora del suelo para resistir variaciones de pH o salinidad, y las condiciones de laboreo y manejo del suelo.

La materia orgánica mejora la nutrición en fósforo, favoreciendo el desarrollo de microorganismos que actúan sobre los fosfatos, es posible que la formación de complejos arcillo-húmicos o la quelatación contribuyan a solubilizar los fosfatos inorgánicos insolubles (Sanyal *et al.*, 1991).

En el análisis de varianza para el %MO en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre, no se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 7).

Tabla 6. Valores de materia orgánica del suelo encontradas en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares a las tres profundidades estudiadas.

Sector	Profundidad (cm)	%MO
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	44,03
	(10 a 20)	10,20
	(20 a 30)	7,36
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	5,15
	(10 a 20)	3,69
	(20 a 30)	4,97
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	13,09
	(10 a 20)	2,74
	(20 a 30)	14,18
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	11,47
	(10 a 20)	8,37
	(20 a 30)	5,69
Manzanares I	(0 a 10)	11,57
	(10 a 20)	6,42
	(20 a 30)	5,71
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	32,67
	(10 a 20)	45,84
	(20 a 30)	49,89
Fragua	(0 a 10)	5,21
	(10 a 20)	4,10
	(20 a 30)	2,17
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	10,50
	(10 a 20)	2,17
	(20 a 30)	7,19
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	5,62
	(10 a 20)	3,46
	(20 a 30)	26,38
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	7,66
	(10 a 20)	6,29
	(20 a 30)	5,68

Tabla 7. Análisis de varianza para el %MO en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre profundidades	149,65	2	74,82	0,40	0,67
Error	5026,31	27	186,16		
Total	5175,96	29			

gl: grados de libertad

Determinación del contenido total P, Fe, Ca y Al por el método descrito por Jackson (1964)

Se valoró el método para determinar los elementos totales utilizando material de referencia certificado Montana Soil (NIST 2711), para certificar que el procedimiento proporciona resultados confiables. En la tabla 8, se encuentran las concentraciones de fósforo, hierro, calcio y aluminio obtenidas en el material de referencia. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que el método proporciona buena exactitud para la extracción de los cuatro elementos puesto que el porcentaje de recuperación osciló entre 90,56 y 93,50%, la concentración obtenida estuvo cercana a las concentraciones de elementos especificadas en el material. Para evaluar la veracidad de las mediciones fue medido el material de referencia junto con las muestras de suelo. Se muestran los valores promedios de las medidas y para garantizar resultados precisos se realizaron por triplicado las muestras de cada localidad estudiada, para que de esta manera las concentraciones totales, fueran confiables, es decir, con un mínimo error.

Tabla 8. Concentraciones de fósforo, hierro, calcio y aluminio y porcentaje de recuperación obtenido utilizando material de referencia certificado Montana Soil (NIST 2711) empleando el método de Jackson (1964).

Metal	(Concentración referencial ± error % (m/m))	(Concentración medida ± error % (m/m))	% Recuperación
Fósforo	(0,086±0,007)	(0,080±0,009)	93,50
Hierro	(2,89±0,06)	(2,64±0,07)	91,67
Calcio	(2,88±0,08)	(2,61±0,09)	90,56
Aluminio	(6,53±0,09)	(5,97±0,11)	91,35

Contenido total de fósforo en suelos de las localidades estudiadas

En la figura 4 se observa el contenido total de fósforo en los suelos estudiados, en un intervalo de 684 a 2410 mg kg⁻¹ (Tabla A2 del apéndice). Estas concentraciones no se pueden decir que están por encima de un valor establecido, debido a que la guía canadiense para evaluar la calidad del ambiente no establece un valor límite para el P (CCME, 2001). Sin embargo, en la figura 4 se observa que dos de las diez localidades estudiadas, tienen los valores más altos: Manzanares I (3145,70; 3294,60; 3448,30 mg kg⁻¹) y Fragua (2410,70; 2299,60; 2083,80 mg kg⁻¹). Para este elemento no se encontraron diferencias significativas entre las profundidades (p <0,05) (Tabla 9).

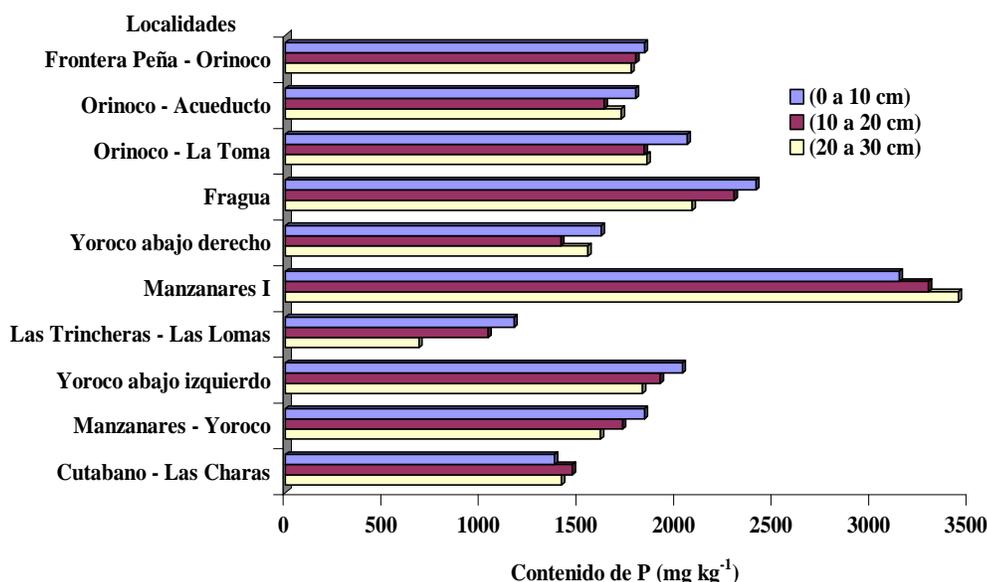


Figura 4. Contenido total de fósforo en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Tabla 9. Análisis de varianza para el contenido de P total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	90025,90	2	45012,90	0,12	0,8902
Error	1,04.10 ⁷	27	385300,00		
Total	1,04.10 ⁷	29			

gl: grados de libertad

La correlación entre el pH y el contenido total de P (tabla A6 del apéndice) muestra una relación positiva, significativa, para el pH en agua lo que indica que los suelos con mayor pH presentan mayor cantidad de este elemento ($r= 0,37^*$). Este resultado demuestra lo planteado por Bravo (2000) que indica que el pH es un factor específico que tiene relación directa sobre el comportamiento de este macronutriente en el suelo.

Contenido total de hierro en suelos de las localidades estudiadas.

Se determinaron los niveles de hierro en las diez localidades a las tres profundidades estudiadas, y las mismas se presentan en la figura 5. Las concentraciones están en el intervalo de 82,8 a 1950,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A2 del apéndice). Para este metal se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 10), esto se corrobora con la prueba de Duncan donde las profundidades de (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm), forman un solo grupo (Tabla 11).

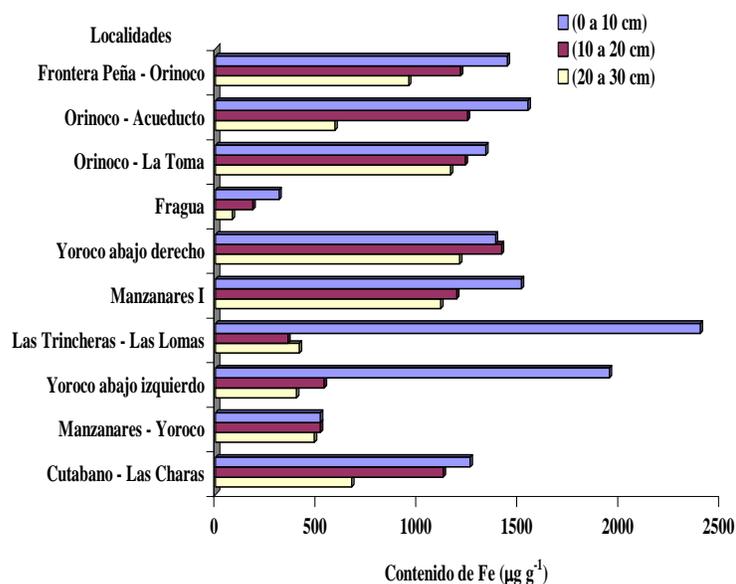


Figura 5. Contenido total de hierro en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Tabla 10. Análisis de varianza para el contenido de Fe total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	2,29. 10 ⁶	2	1,14. 10 ⁶	4,79	0,0166
Error	6,44. 10 ⁶	27	238670,0		
Total	8,73. 10 ⁶	29			

gl: grados de libertad, *Significativo $p < 0,05$

Tabla 11. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Fe total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Muestreros	N	Promedio	Grupos Homogéneos
(20 – 30) cm	10	709,45	X
(10 – 20) cm	10	903,35	X
(0 – 10) cm	10	1367,49	X

Las correlaciones entre el pH y el contenido total de Fe (tabla A6 del apéndice) muestra una relación negativa, aunque no significativa, para el pH en agua y KCl.

Contenido Total De Calcio En Suelos De Las Localidades Estudiadas

En la figura 6 se observa el contenido total de calcio en los suelos estudiados, en un intervalo de 860,6 a 11081,1 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A2 del apéndice). También se puede ver que tres de las diez localidades estudiadas, tienen los valores más altos: Orinoco – La toma (11081,1; 4430,4; 3270,6 $\mu\text{g g}^{-1}$), Manzanares – Yoroco (9514,8; 6907,0; 3848,8 $\mu\text{g g}^{-1}$) y Cutabano – Las Charas (8349,9; 4710,9; 1129,3 $\mu\text{g g}^{-1}$). Para este metal se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 12), esto se corrobora con la prueba de Duncan donde las profundidades de (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm) forman un solo grupo (Tabla 13).

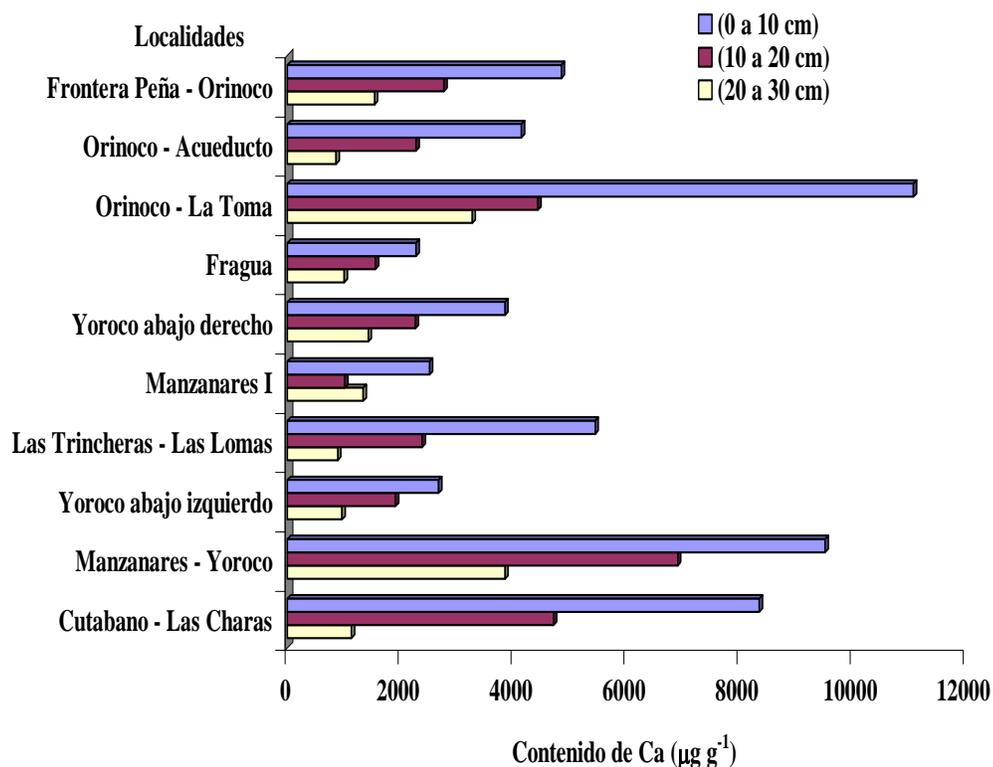


Figura 6. Contenido total de calcio en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Tabla 12. Análisis de varianza para el contenido de Ca total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	$7,56 \cdot 10^7$	2	$3,78 \cdot 10^7$	8,07	0,002
Error	$1,26 \cdot 10^8$	27	$4,68 \cdot 10^6$		
Total	$2,02 \cdot 10^8$	29			

gl: grados de libertad, * Significativo $p < 0,05$

Tabla 13. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Ca total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Muestréos	N	Promedio	Grupos Homogéneos
(20 a 30) cm	10	1628,0	X
(10 a 20) cm	10	3022,0	X
(0 a 10) cm	10	5469,8	X

Las correlación entre el pH y el contenido total de Ca (tabla A6 del apéndice) muestra una relación positiva, significativa, para el pH en agua y KCl, lo que indica que los suelos con mayor pH presentan mayor cantidad de este metal ($r= 0,43$) y ($r= 0,39$). Estos resultados demuestran lo planteado por Black (1993) que indica que la presencia de calcio en los suelos es mayor donde el pH es alto.

Contenido Total De Aluminio En Suelos De Las Localidades Estudiadas

Se determinaron los niveles de aluminio en las diez localidades a las tres profundidades estudiadas, y las mismas se presentan en la figura 7. Las concentraciones están en el intervalo de 94,26 a 1199,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A2 del apéndice). Para este metal se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 14), esto se corrobora con la prueba de Duncan donde las profundidades de (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm) forman un solo grupo (Tabla 15).

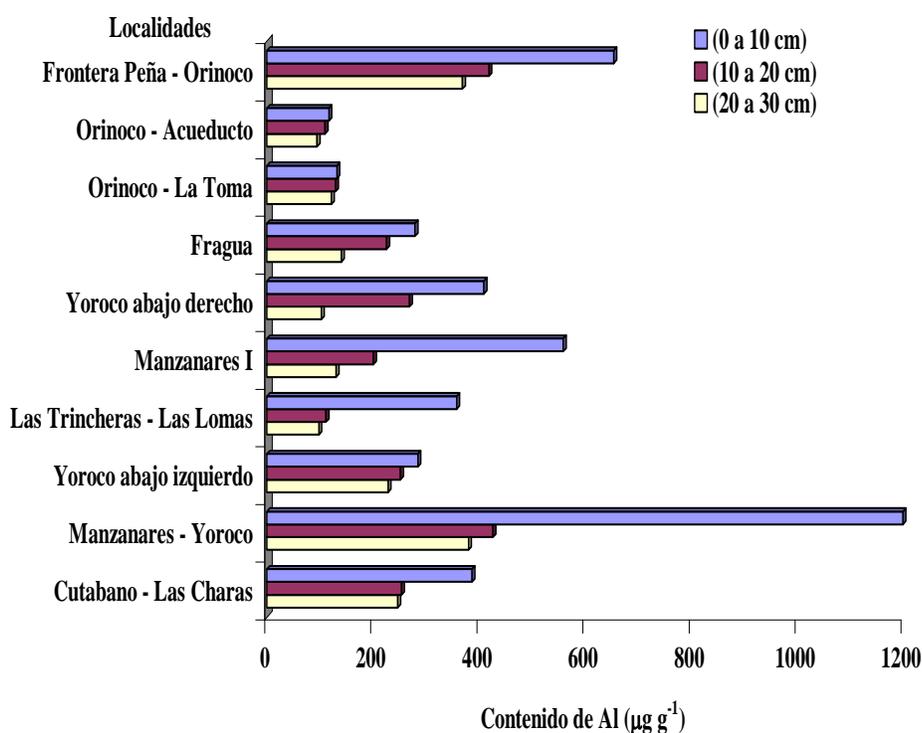


Figura 7. Contenido total de aluminio en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.

Tabla 14. Análisis de varianza para el contenido de Al total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	341558,0	2	170779,0	4,12	0,0275
Error	1,12. 10 ⁶	27	41467,4		
Total	1,46. 10 ⁶	29			

gl: grados de libertad, * Significativo $p < 0,05$

Tabla 15. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Al total en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Muestreros	N	Promedio	Grupos Homogéneos
(20 – 30) cm	10	191,14	X
(10 – 20) cm	10	239,53	X
(0 – 10) cm	10	437,77	X

La correlación entre el pH y el contenido total de Al (tabla A6 del apéndice) muestra una relación negativa, significativa, para el pH en agua, lo que indica que los suelos con menor pH presentan mayor cantidad de este metal ($r = -0,51$). Estos resultados demuestran lo planteado por Loué (1988) que indica que el contenido de Fe, Al y Mn en los suelos se incrementa en la medida que el pH decrece. También se puede observar una relación negativa, significativa, entre los contenidos totales de Al y Ca (tabla A6 del apéndice), lo que indica que suelos con menor cantidad de calcio presentan mayor cantidad de aluminio.

Determinación De Calcio Soluble En Suelos De Las Localidades Estudiadas

En la figura 8 se observa el contenido soluble de calcio en los suelos estudiados, en un intervalo de 133,0 a 1648,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A3 del apéndice). Para este metal se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 16), esto se corrobora con la prueba de Duncan donde las profundidades de (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm) forman un solo grupo (Tabla 17). La correlación entre el pH y el contenido soluble de Ca (tabla A6 del apéndice) muestra una relación positiva, significativa, para

el pH, lo que indica que los suelos con mayor pH presentan mayor cantidad de este metal ($r= 0,43$).

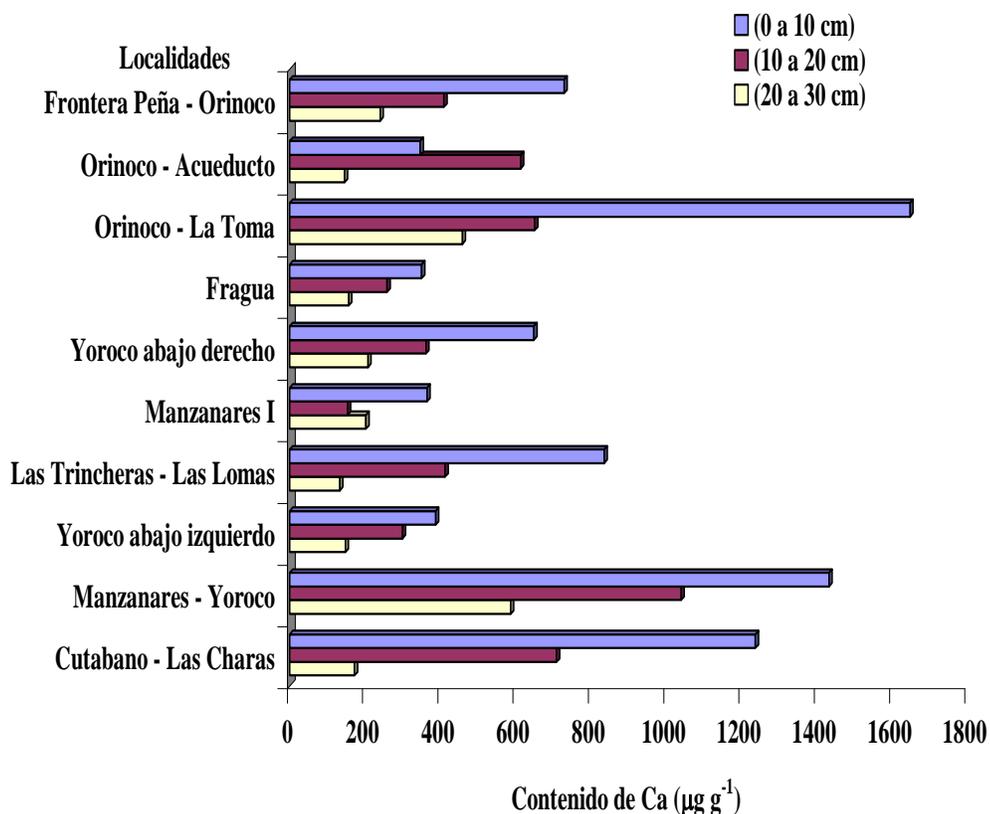


Figura 8. Contenido de calcio soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Tabla 16. Análisis de varianza para el contenido de Ca soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	1,53. 10 ⁶	2	767377,0	7,05	0,0034
Error	2,94. 10 ⁶	27	108859,0		
Total	4,47. 10 ⁶	29			

gl: grados de libertad, * Significativo $p < 0,05$

Tabla 17. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Ca soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Muestras	N	Promedio	Grupos Homogéneos
(20 a 30) cm	10	245,4	X
(10 a 20) cm	10	491,2	X
(0 – 10) cm	10	798,3	X

Determinación hierro soluble en suelos de las localidades estudiadas.

Se determinaron los niveles de hierro en las diez localidades a las tres profundidades estudiadas, y las mismas se presentan en la figura 9.

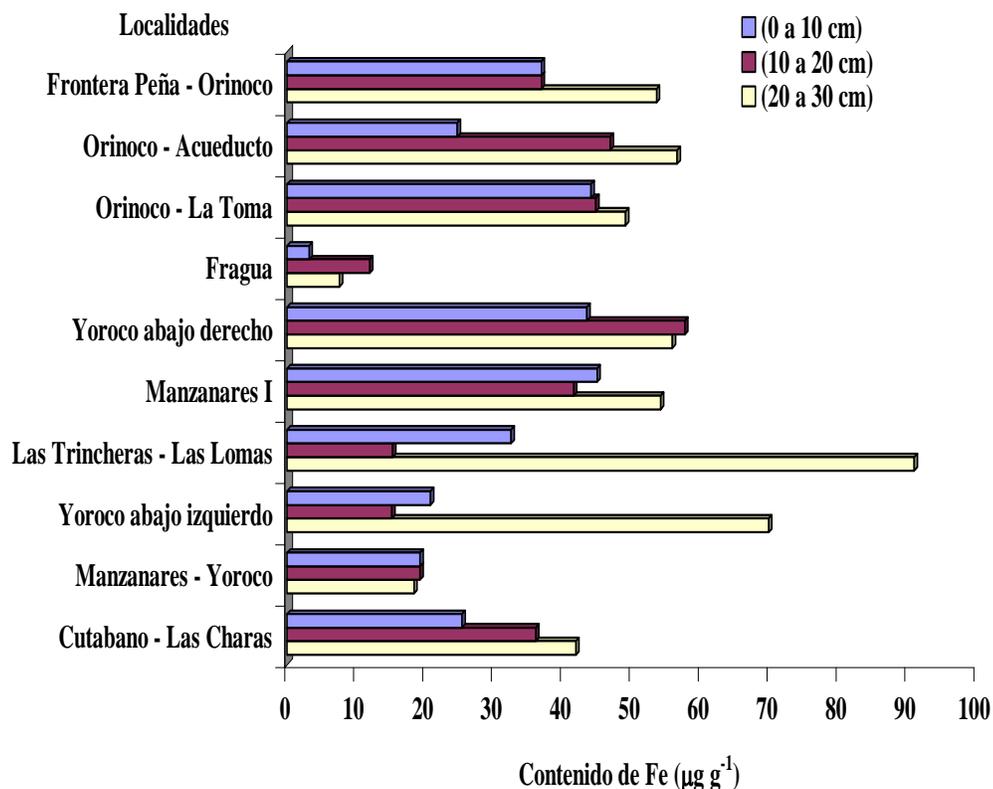


Figura 9. Contenido de hierro soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Las concentraciones están en el intervalo de 3,20 a 69,90 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A3 del apéndice). Para este metal se encontraron diferencias muy significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 18), esto se corrobora con la prueba de Duncan donde las profundidades de (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm) forman un solo grupo (Tabla 19). Se debe que a medida que disminuye la capa suelta y bien agregada en la superficie del suelo y aumenta la capa compacta, disminuyen el pH y el contenido de bases disponible, mientras que aumenta los niveles de hierro disponible. En suelos tropicales, las concentraciones de hierro aumentan con la profundidad y su acumulación es mayor en horizontes arcillosos (Aubert y Pinta, 1977).

Tabla 18. Análisis de varianza para el contenido de Fe soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	2392,46	2	1196,23	3,60	0,0411
Error	8971,20	27	332,27		
Total	11363,70	29			

gl: grados de libertad, * significativo $p < 0,05$

Tabla 19. Comparación (Duncan) de las profundidades para el contenido de Fe soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Muestras	N	Promedio	Grupos Homogéneos
(0 a 10) cm	10	29,54	X
(10 a 20) cm	10	32,58	X
(20 a 30) cm	10	49,82	X

Las correlaciones entre el pH y el contenido soluble de Fe (tabla A6 del apéndice) muestra una relación negativa, significativa, para el pH en agua, lo que indica que los suelos con menor pH presentan mayor cantidad de este metal ($r = -0,47$). Estos resultados demuestran lo planteado por Loué (1988) que indica que el contenido de Fe, Al y Mn en los suelos se incrementa en la medida que el pH decrece.

Determinación De Aluminio Soluble En Suelos De Las Localidades Estudiadas.

Se determinaron los niveles de aluminio en las diez localidades a las tres profundidades estudiadas, y las mismas se presentan en la figura 7. Las concentraciones están en el intervalo de 94,26 a 1199,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla A2 del apéndice). Para este metal no se encontraron diferencias significativas entre las profundidades ($p < 0,05$) (Tabla 20).

Las localidades con mayor concentración de aluminio soluble son Frontera Peña – Orinoco y Manzanares – Yoroco y las de menor contenido de este elemento fueron Orinoco – Acueducto y Cutabano – Las Charas.

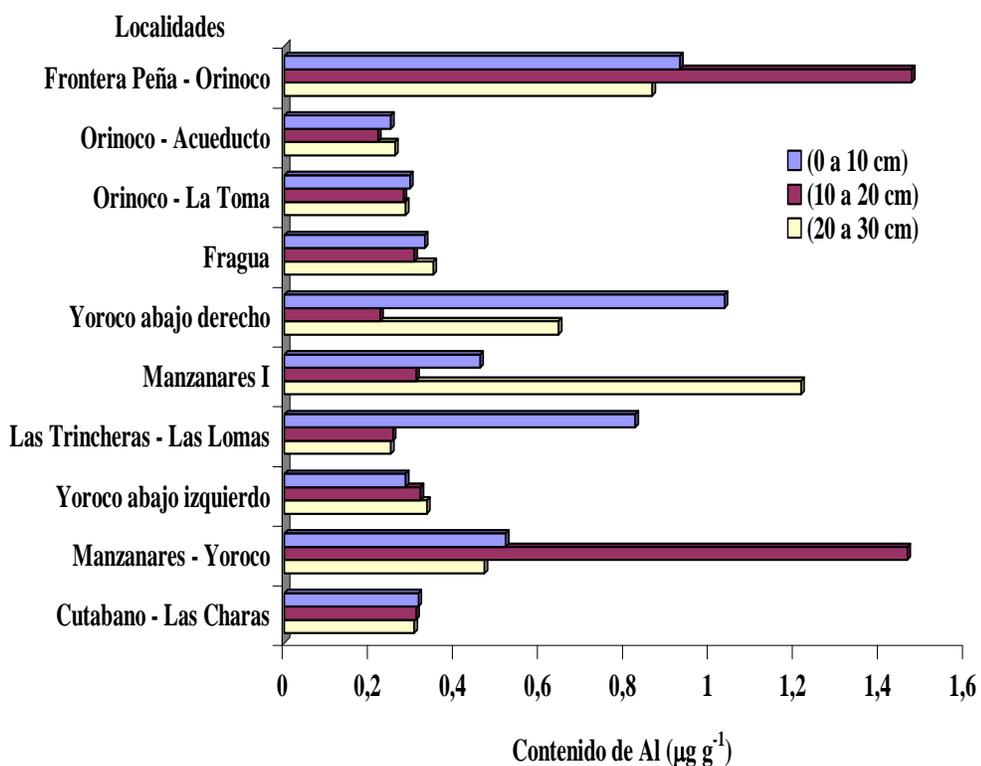


Figura 10. Contenido de aluminio soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Tabla 20. Análisis de varianza para el contenido de Al soluble en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares en el estado Sucre.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	0,0036	2	0,0018	0,01	0,9876
Error	3,9912	27	0,1478		
Total	3,9949	29			

gl: grados de libertad

Determinación De P Mediante El Proceso De Especiación

Fraccionamiento químico del fósforo

La extracción de fósforo con respecto al contenido total del mismo, en las localidades y profundidades estudiadas, estuvieron en un intervalo aceptable de 86,87 y 99,77% (tabla A5 del apéndice). Por los valores y lo observado en las figuras 11, 12 y 13, podemos comprobar que en la mayoría de las localidades, este macronutriente se encuentra asociado al Ca.

Los suelos tropicales son altamente meteorizados y se caracterizan por tener un alto contenido de fósforo total y una baja capacidad de tener este elemento de manera disponible para que sea aprovechado por las plantas. En Venezuela se ha notado que mucho del fósforo evaluado está asociado a los óxidos de hierro y aluminio en suelos ácidos y asociado al calcio en suelos básicos. Existen muchos métodos para evaluar la disponibilidad del elemento para las plantas, siendo el fraccionamiento secuencial el más promisorio para estimar las necesidades reales de fertilizantes para los cultivos bajo diferentes condiciones agroecológicas (López *et al.*, 1989).

Los compuestos de calcio y magnesio, al reaccionar con iones HPO_4^{2-} , precipitan en suelos con pH alcalino. Cuando los iones Ca^{2+} predominan y el pH del suelo es 7,50 ó

superior, el CaHPO_4 precipita. Esta forma de fósforo (fosfato dicálcico) es una de las formas más solubles del fósforo cristalizado y es una fuente de reserva de fósforo en el suelo. Ésta es considerada como la principal forma de fósforo residual en el suelo, producto de la fertilización (Barroso y Vahas, 2005).

Por su parte, el fósforo asociado a Fe y Al es la segunda fracción predominante en las zonas estudiadas. Esto corroboró la importancia que toma esta fracción lábil inorgánica en suelos tropicales (Fernández *et al.*, 2000).

El Fe^{3+} y el Al^{3+} , tanto en forma iónica como sus hidróxidos, reaccionan rápidamente con el fósforo (H_2PO_4^-) en solución, hasta precipitar como fosfato cristalizado de Fe y Al, de baja solubilidad. Éstas se dan en suelos fuertemente ácidos. En estos suelos ácidos, también, se originan las formas cristalinas de fósforo, como son la variscita y estrengita ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Bravo y Guerrero, 1990).

De manera general, el fósforo se encuentra distribuido en las diferentes fracciones geoquímicas de la siguiente manera:

fósforo asociado a Ca > fósforo asociado a Fe y Al > polifosfatos > fósforo residual > fósforo intercambiable.

Es relevante mencionar que el P presentó correlación significativa con cada una de las fracciones geoquímicas para el fósforo intercambiable ($r = 0,79^{**}$); para el asociado a Fe y Al ($r = 0,95^{**}$); para los polifosfatos ($r = 0,79^{**}$); para el asociado a Ca ($r = 0,57^{**}$); y para el residual ($r = 0,80^{**}$) (tabla A6 del apéndice). No se encontraron diferencias significativas entre las fracciones geoquímicas y las profundidades. Esto se puede comprobar en las tablas (21, 22, 23 y 24).

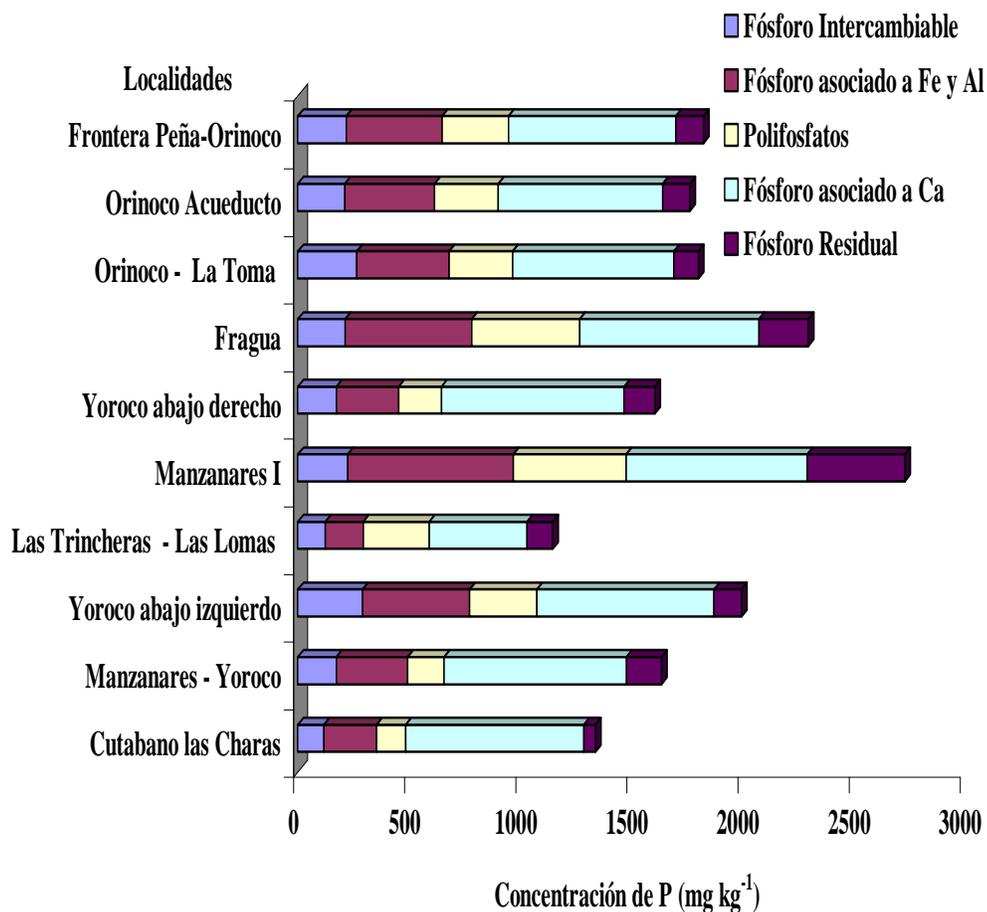


Figura 11. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (0 a 10 cm).

Tabla 21. Análisis de varianza para la fracción intercambiable en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	421,7	2	210,8	0,02	0,9788
Error	265853,0	27	9846,4		
Total	266274,0	29			

gl: grados de libertad

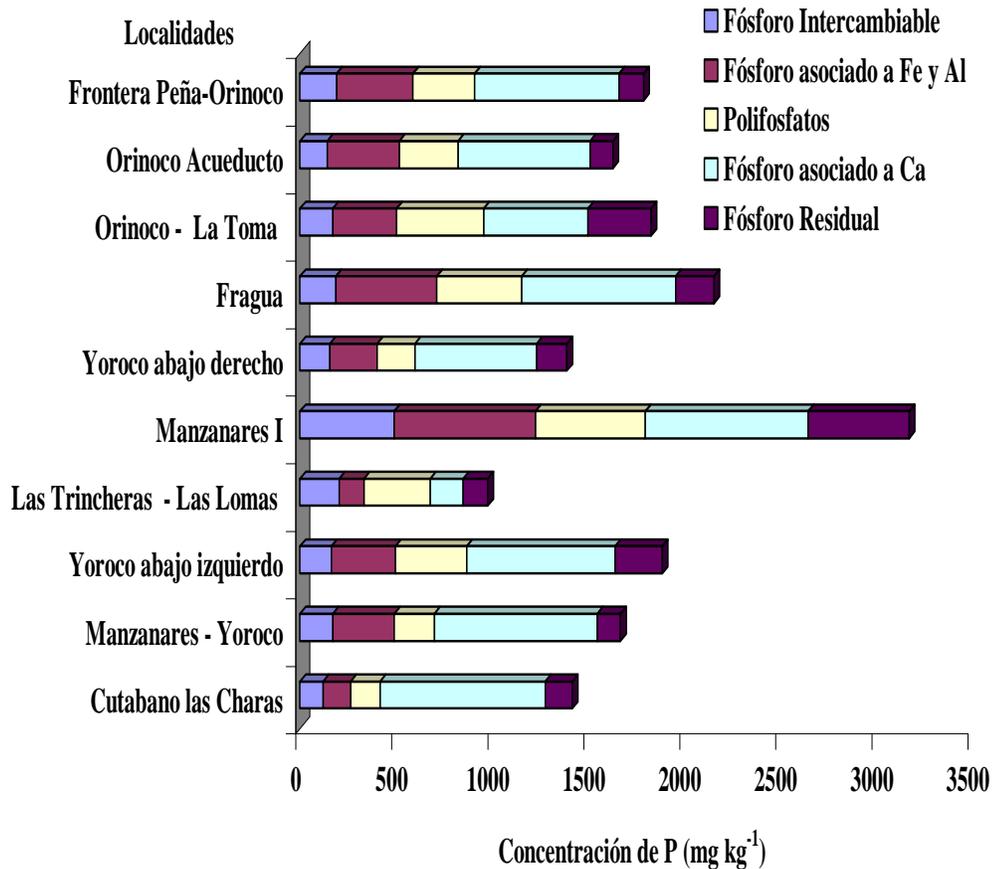


Figura 12. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (10 a 20 cm).

Tabla 22. Análisis de varianza para la fracción asociada a Fe y Al en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	17413,3	2	8706,6	0,29	0,7494
Error	806248,0	27	29861,0		
Total	823662,0	29			

gl: grados de libertad

Tabla 23. Análisis de varianza para la fracción asociada a polifosfatos en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	8728,62	2	4364,31	0,21	0,8093
Error	552522,0	27	20463,80		
Total	561251,0	29			

gl: grados de libertad

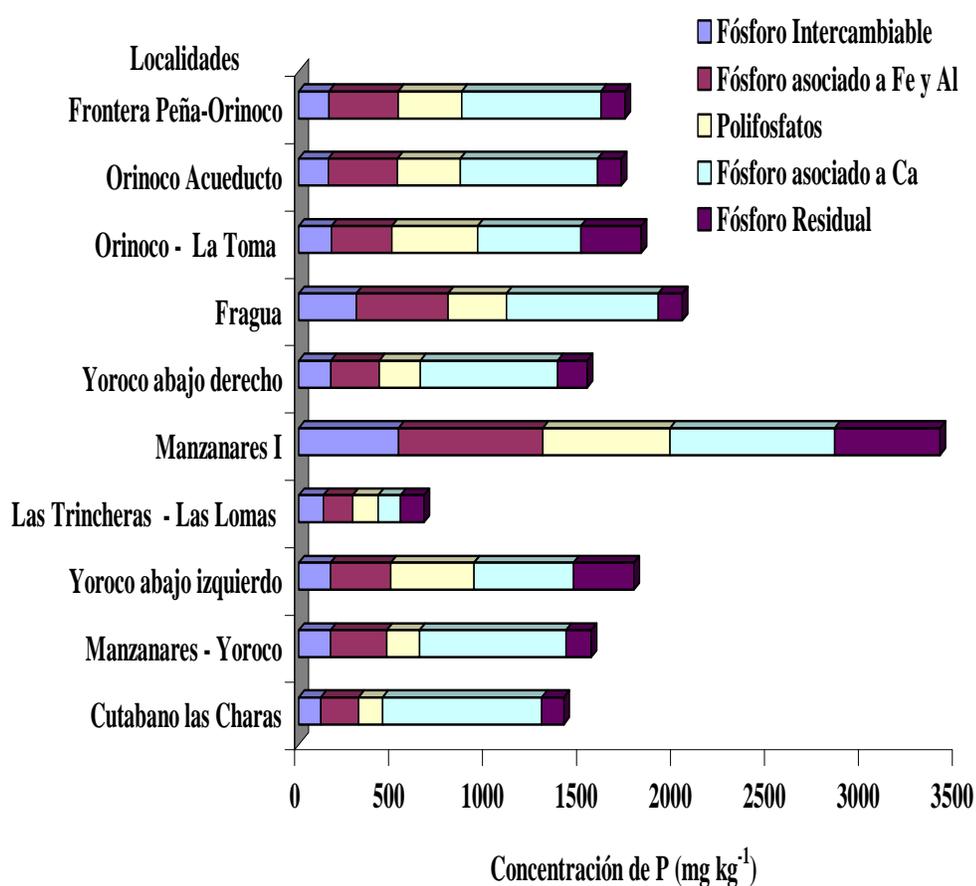


Figura 13. Contenido de fósforo en las diferentes fracciones geoquímicas en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares a una profundidad de (20 a 30 cm).

Tabla 24. Análisis de varianza para la fracción asociada a Ca en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	35398,6	2	17699,3	0,49	0,6156
Error	967489,0	27	35832,9		
Total	1,0028.10 ⁶	29			

gl: grados de libertad

Tabla 25. Análisis de varianza para la fracción residual en las localidades de la cuenca alta del río Manzanares.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Razón F	P
Entre Profundidades	16323,2	2	8161,61	0,49	0,6166
Error	447645,0	27	16579,4		
Total	463968,0	29			

gl: grados de libertad

CONCLUSIONES

La mayoría de los suelos tienden a ser neutros en un intervalo de pH 6,5 a 7,5; a diferencia de las localidades Cutabano – Las Charas, Manzanares – Yoroco, y La Fragua que se muestran ligeramente alcalinos (intervalo de pH 7,5 a 8,5) y Trincheras Las Lomas que es ligeramente ácido (intervalo de pH 6,0 a 6,5). Se pudo determinar de acuerdo al pH, que la mayoría de los suelos evaluados son óptimos para el cultivo.

Los suelos de la mayoría de las localidades, son de textura franca, variando entre arenosa y arcillosa.

Los porcentajes de materia orgánica en general son altos (> 4%), de acuerdo a estos resultados se puede decir que los suelos son fértiles.

La mayor concentración de fósforo total se encontró en la estación Manzanares I y la menor en Trincheras – Las Lomas. No se determinó diferencias significativas entre los contenidos totales de este elemento, comparado según su profundidad.

La concentración de Fe total y soluble más alta se encontró en la estación Yoroco abajo derecho y la más baja en la Fragua, determinándose diferencias significativas entre las profundidades.

El contenido mayor de calcio total y soluble se encontró en la estación Orinoco – La Toma y la menor en la fragua. Se determinaron diferencias significativas con la profundidad y los contenidos totales y solubles de este elemento.

La mayor concentración de aluminio total y soluble se encontró en la estación Manzanares – Yoroco y la menor en Orinoco – Acueducto. Se determinaron diferencias significativas para las profundidades entre los contenidos totales de este elemento.

El comportamiento del P en las diferentes fracciones geoquímicas estuvo de manera general la mayor parte asociado al Ca.

El análisis de correlación aplicado entre las diferentes variables evaluadas determinó asociaciones positivas entre el pH y las cantidades totales de P y Ca y negativa con el Al .

BIBLIOGRAFÍA

- Aubert, H. y Pinta, M. 1977. *Trace elements in soils*. Elsevier Scientific Publishing Co. New York, U.S.A.
- Barroso, C. y Vahas, E. 2005. The status of soil phosphate fractions and the ability of fungi to dissolve hardly soluble phosphates. *Applied Soil Ecology*, 29: 73–83.
- Bernal, G. y Betancur, J. 1996. Sedimentología de lagunas costeras: ciénaga grande de Santa Marta y ciénaga de Pajarales. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 25: 49 – 76.
- Black, C. 1993. *Soil fertility evaluation and control*. Lewis publisher, Boca Ratón, Florida.
- Bravo, S. y Guerrero, J. 1990. Estudio de fertilización (N –P) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.); seguimiento nutricional en diferentes partes de la planta y en diversos estados de desarrollo. Trabajo de ascenso. UNELLEZ, Guanare.
- Bravo, S. 2000. *Aspectos básicos de química de suelos*. Universidad Ezequiel Zamora, Barinas.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian Environmental Quality Guidelines.
- Castillo, N. 1988. *Una introducción al estudio del suelo y de los fertilizantes*. Ed. América, C.A. México, D. F. (México).
- Calderón, F. y Pavlon, M. 1999. “Metodologías para el análisis químico de suelos”. [\(http://www.drcalederonlabs.com/Metodos/Analisis_De_suelos/MetodosQuímicosSuelos.htm#5\)](http://www.drcalederonlabs.com/Metodos/Analisis_De_suelos/MetodosQuímicosSuelos.htm#5)>(25/02/2009)
- Chang, S. y Jackson, M. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 84: 133-144.
- Chapman, H. y Pratt, P. 1973. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Ed. Trillas. México, D. F. (México).
- Debek, E.; Meghan, K.; Chen, H. y Charkrabarti, C. 2003. Evaluation of capillary electrophoresis combines with a BCR sequential extraction for determining distribution of Fe, Zn, Cu, Mn and Cd in airborne particulate matter. *Anal. Chem. Acta* 498: 175-187.

- Devlin, D.; McVay, K.; Pierzynski, G. y Janssen, K. 2002. Best management practices for phosphorus. Department of Agronomy. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Kansas.
- Fernández, C.; Vazquez, S.; Dalurzo, H. 2000. Distribución de formas de fósforo en Alfisoles de Misiones. XVII CACS Acta Resúmenes Comisión I- Panel N°33.
- Fuentes, M.; Senior, W.; Fermín, I. y Troccoli, L. 2008. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del río Manzanares, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela.*, 47(2):149 – 158.
- Guo, F.; Yost, R.; Hue, N.; Evensen, V. y Silva, V. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 1681-1689.
- Hanrahan, G.; Salmassi, T.; Khachikian, C. y Foster, K. 2005. Reduced inorganic phosphorus in the natural environment: significance, speciation and determination. *Talanta*, 66: 435 – 444.
- Hedley, M.; Stewart, V y Chauhan, B. 1982. Changes in Inorganic and Organic Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 970-976.
- Jackson, M. 1964. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall, INC. Wisconsin, USA.
- Lindsay, W. y Norvell, W. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 421-428.
- López, D. y Flores, D. 1989. La desorción de fosfatos en suelos. Implicaciones fisioecológicas en el proceso. *Acta Cient. Venezolana*, 30: 23-35.
- Loué, A. 1988. *Los microelementos en la agricultura*. Mundi Prensa, Madrid.
- Murphy, J. y Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27: 31-36.
- Oldham, L. 2003. Phosphorus in Mississippi soils. Extension Service of Mississippi State University, cooperating with U.S. *Department of Agriculture*, 27: 1-4.
- Petersen, G. y Corey, R. 1966. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 30: 563-565.
- Primo Y. y Carrasco, J. 1981. *Química agrícola I: suelos y fertilizantes*. Editorial Alhambra, S.A., Barcelona, España.

- Psenner, R. y Gunatilaka, A. 1988. Fraktionierung organischer and anorganischer phosphorverbindungen von sedimenten. *Arch. Hydrobiol., Ergebn. Limnol.*, 30: 111-115.
- Sanyal, S. y De Datta, S. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Adv. Soil Sci.*, 16: 1-120.
- Sattell, R. y Morris, R. 1992. Phosphorus fractions and availability in Sri Lankan Alfisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1510-1515.
- Sharpley, A.; Singh, U.; Uehara, G. y Kimble, V. 1989. Modeling Soil and Plant Phosphorus Dynamics in Calcareous and Highly Weathered Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 153-158.
- Spivakov, B.; Maryutina, T. y Muntau, H. 1999. Phosphorus speciation in water and sediments. *Pure Appl. Chem.*, 71(11): 2161-2176.
- Tessier, A.; Campbell, P. y Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for speciation for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51(7): 844-851.
- Tiessen, H.; Stewart, B. y Cole, C. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 853-858.
- Turner, B.; Cade-Menun, B.; Condon, L. y Newman, S. 2005. Extraction of soil organic phosphorus. *Talanta*, 66: 294 – 306.
- Williams, J.; Syres, J. y Walker, T. 1967. Fractionation of soil inorganics phosphate by a modification of Chang and Jackson procedure. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 31:736-739.

APÉNDICE

Tabla A1. Valores de % de humedad del suelo en las 10 localidades de la cuenca alta del río Manzanares a las tres profundidades estudiadas.

Sector	Profundidad (cm)	% humedad
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	4,70
	(10 a 20)	5,20
	(20 a 30)	5,24
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	3,93
	(10 a 20)	3,58
	(20 a 30)	4,24
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	4,46
	(10 a 20)	4,08
	(20 a 30)	3,74
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	5,26
	(10 a 20)	4,99
	(20 a 30)	4,81
Manzanares I	(0 a 10)	4,33
	(10 a 20)	4,20
	(20 a 30)	3,89
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	4,92
	(10 a 20)	5,16
	(20 a 30)	4,54
Fragua	(0 a 10)	3,36
	(10 a 20)	3,12
	(20 a 30)	3,09
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	3,65
	(10 a 20)	3,52
	(20 a 30)	3,43
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	3,87
	(10 a 20)	3,75
	(20 a 30)	3,63
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	2,82
	(10 a 20)	3,01
	(20 a 30)	2,60

Tabla A2. Contenido total de P, Fe, Ca y Al.

Sector	Profundidad (cm)	P (mg kg⁻¹)	Fe (µg g⁻¹)	Ca (µg g⁻¹)	Al (µg g⁻¹)
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	1370,10	1260,48	8349,92	386,67
	(10 a 20)	1468,90	1127,13	4710,93	253,87
	(20 a 30)	1413,60	674,16	1129,33	246,41
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	1839,60	519,03	9514,80	1199,19
	(10 a 20)	1727,40	519,38	6907,07	425,87
	(20 a 30)	1614,40	488,84	3848,89	380,09
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	2033,50	1950,51	2676,64	284,64
	(10 a 20)	1920,20	537,89	1914,49	251,89
	(20 a 30)	1829,60	400,64	966,64	228,68
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	1171,60	2400,47	5446,20	357,85
	(10 a 20)	1038,30	357,89	2385,40	111,30
	(20 a 30)	684,00	414,24	888,70	98,08
Manzanares I	(0 a 10)	3145,70	1514,69	2514,58	558,44
	(10 a 20)	3294,60	1194,29	1011,19	200,73
	(20 a 30)	3448,30	1114,33	1339,36	130,52
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	1618,00	1385,85	3849,31	408,86
	(10 a 20)	1411,10	1416,10	2263,06	268,68
	(20 a 30)	1549,70	1208,46	1429,24	102,69
Fragua	(0 a 10)	2410,70	314,49	2275,14	279,26
	(10 a 20)	2299,60	184,87	1556,78	225,74
	(20 a 30)	2083,80	82,85	1005,92	140,53
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	2058,10	1337,39	11081,11	132,13
	(10 a 20)	1838,80	1236,24	4430,46	129,32
	(20 a 30)	1852,10	1163,20	3270,69	121,44
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	1794,10	1547,49	4140,25	116,88
	(10 a 20)	1633,40	1247,38	2275,05	109,34

(20 a 30) 1721,10 591,52 860,62 94,26

Tabla A2. Continuación.

Sector	Profundidad (cm)	P	Fe	Ca	Al
		(mg kg ⁻¹)	(µg g ⁻¹)	(µg g ⁻¹)	(µg g ⁻¹)
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	1839,60	1444,50	4850,00	653,76
	(10 a 20)	1795,30	1212,38	2766,39	418,51
	(20 a 30)	1770,70	956,27	1541,27	368,69

Tabla A3. Contenido soluble de Fe, Ca y Al.

Sector	Profundidad (cm)	Contenido soluble (µg g ⁻¹)		
		Fe	Ca	Al
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	25,40	1237,33	0,32
	(10 a 20)	36,10	709,66	0,31
	(20 a 30)	41,90	172,33	0,31
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	19,30	1433,66	0,52
	(10 a 20)	19,30	1040,00	1,47
	(20 a 30)	18,40	587,00	0,47
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	20,80	388,66	0,29
	(10 a 20)	15,20	300,00	0,32
	(20 a 30)	69,90	148,66	0,34
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	32,50	836,66	0,83
	(10 a 20)	15,30	413,33	0,26
	(20 a 30)	91,00	133,00	0,25
Manzanares I	(0 a 10)	45,00	365,00	0,46
	(10 a 20)	41,60	154,33	0,31
	(20 a 30)	54,20	203,00	1,22
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	43,50	649,33	1,04
	(10 a 20)	57,70	362,00	0,23
	(20 a 30)	55,90	208,33	0,65

Tabla A3. Continuación.

Sector	Profundidad (cm)	Contenido soluble ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
		Fe	Ca	Al
Fragua	(0 a 10)	3,20	351,66	0,33
	(10 a 20)	12,00	259,33	0,31
	(20 a 30)	7,60	157,33	0,35
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	44,10	1648,33	0,30
	(10 a 20)	44,80	651,00	0,28
	(20 a 30)	49,10	459,00	0,29
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	24,70	347,00	0,25
	(10 a 20)	46,90	614,00	0,22
	(20 a 30)	56,60	146,00	0,26
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	36,90	729,33	0,93
	(10 a 20)	36,90	410,00	1,48
	(20 a 30)	53,60	241,00	0,87

Tabla A4. Contenido de P en las diferentes fracciones geoquímicas de los suelos de la cuenca alta del río Manzanares.

Sector	Profundidad (cm)	Contenido (mg kg ⁻¹)				
		Fósforo Intercambiable	Fósforo asociado a Fe y Al	Polifosfatos	Fósforo asociado a Ca	Fósforo Residual
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	116,25	238,32	130,78	801,20	53,76
	(10 a 20)	121,45	143,35	152,31	859,13	141,36
	(20 a 30)	116,88	200,64	129,54	846,40	116,88
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	173,34	320,92	164,42	820,13	158,47
	(10 a 20)	171,11	320,48	208,92	847,04	121,00
	(20 a 30)	167,73	300,62	173,94	779,92	133,30
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	290,84	482,11	303,66	796,61	124,22
	(10 a 20)	163,34	333,56	370,95	772,41	245,99
	(20 a 30)	167,91	321,09	442,85	530,24	321,09
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	123,23	171,65	296,65	440,14	115,32
	(10 a 20)	204,36	130,04	344,19	171,11	128,09
	(20 a 30)	130,69	156,64	134,69	119,72	125,71
Manzanares I	(0 a 10)	224,43	745,15	507,92	815,04	440,00
	(10 a 20)	490,05	736,06	572,38	847,79	525,33
	(20 a 30)	531,14	766,86	676,45	875,99	561,51

Tabla A4. Continuación.

Sector	Profundidad (cm)	Contenido (mg kg ⁻¹)				
		Fósforo Intercambiable	Fósforo asociado a Fe y Al	Polifosfatos	Fósforo asociado a Ca	Fósforo Residual
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	173,61	279,76	193,45	821,43	138,88
	(10 a 20)	155,73	246,82	196,86	632,71	157,69
	(20 a 30)	170,89	257,33	219,57	729,26	157,97
Fragua	(0 a 10)	213,22	568,59	486,81	806,15	221,98
	(10 a 20)	185,94	526,36	442,18	802,04	198,89
	(20 a 30)	306,01	489,23	309,91	806,94	127,67
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	265,31	415,20	285,99	726,16	110,26
	(10 a 20)	171,79	331,60	453,45	543,35	327,60
	(20 a 30)	174,86	320,74	455,64	550,56	320,74
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	211,18	404,54	286,88	739,12	123,52
	(10 a 20)	142,79	375,06	305,57	688,24	118,04
	(20 a 30)	156,47	367,75	334,86	731,51	125,57
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	218,74	430,48	298,64	754,09	123,85
	(10 a 20)	190,78	397,61	321,52	752,47	126,86
	(20 a 30)	159,92	369,58	338,37	740,13	127,74

Tabla A5. Contenido de P total proveniente de las sumatoria de las diferentes fracciones geoquímicas de los suelos de la cuenca alta del río Manzanares y porcentaje de recuperación.

Sector	Profundidad (cm)	P (mg kg⁻¹)	% de recuperación
Cutabano – Las Charas	(0 a 10)	1340,31	97,83
	(10 a 20)	1417,60	96,51
	(20 a 30)	1410,34	99,77
Manzanares – Yoroco	(0 a 10)	1637,28	89,00
	(10 a 20)	1668,55	96,59
	(20 a 30)	1555,51	96,35
Yoroco abajo izquierdo	(0 a 10)	1997,44	98,23
	(10 a 20)	1886,25	98,23
	(20 a 30)	1783,18	97,46
Las Trincheras – Las Lomas	(0 a 10)	1146,99	97,90
	(10 a 20)	977,79	94,17
	(20 a 30)	667,45	97,58
Manzanares I	(0 a 10)	2732,54	86,87
	(10 a 20)	3171,61	96,27
	(20 a 30)	3411,95	98,95

Tabla A5. Continuación.

Sector	Profundidad (cm)	P (mg kg⁻¹)	% de recuperación
Yoroco abajo derecho	(0 a 10)	1607,13	99,33
	(10 a 20)	1389,81	98,49
	(20 a 30)	1535,02	99,05
Fragua	(0 a 10)	2296,75	95,27
	(10 a 20)	2155,41	93,73
	(20 a 30)	2039,76	97,89
Orinoco – La Toma	(0 a 10)	1802,92	87,60
	(10 a 20)	1827,79	99,40
	(20 a 30)	1822,54	98,40
Orinoco – Acueducto	(0 a 10)	1765,24	98,39
	(10 a 20)	1629,70	99,77
	(20 a 30)	1716,16	99,71
Frontera Peña – Orinoco	(0 a 10)	1825,80	99,25
	(10 a 20)	1789,24	99,66
	(20 a 30)	1735,74	98,03

Tabla A6. Correlaciones del pH, materia orgánica, las concentraciones solubles y totales de Ca, Fe, y Al, el contenido total de P y de su diferentes fracciones geoquímicas en los suelos de la cuenca alta del río Manzanares.

	pH _{agua}	pH KCl	FA	FB	FC	FD	FE	P _T	Ca _T	Ca _S	Fe _T	Fe _S	Al _T	Al _S	% MO
pH _{agua}	1														
pH _{KCl}	0,90**	1													
FA	0,06	0,00	1												
FB	0,34	0,23	0,78**	1											
FC	-0,05	-0,09	0,67**	0,77**	1										
FD	0,68**	0,64**	0,28	0,50**	0,07	1									
FE	0,01	-0,11	0,69**	0,69**	0,83**	0,13	1								
P _T	0,37*	0,25	0,79**	0,95**	0,79**	0,57**	0,80**	1							
Ca _T	0,43*	0,39*	-0,17	-0,20	-0,37*	0,14	-0,32	-0,14	1						
Ca _S	0,42*	0,38*	-0,20	-0,22	-0,37*	0,13	-0,34	-0,16	0,98**	1					
Fe _T	-0,09	-0,01	0,06	0,04	0,00	0,05	0,02	0,04	0,26	0,23	1				
Fe _S	-0,47**	-0,37*	-0,05	-0,13	0,00	-0,38*	0,20	-0,14	-0,26	-0,25	0,18	1			
Al _T	-0,51**	-0,32	-0,14	0,03	-0,24	0,30	-0,10	0,05	-0,48**	-0,49**	0,04	-0,26	1		
Al _S	-0,21	-0,16	0,16	0,12	0,04	0,25	0,02	0,13	-0,12	-0,13	0,16	0,00	0,33	1	
%MO	-0,17	-0,08	-0,22	-0,27	-0,34	0,04	-0,21	-0,24	0,04	0,04	0,28	0,28	-0,05	-0,04	1

*, ** significativo al 95% y 99%, respectivamente.

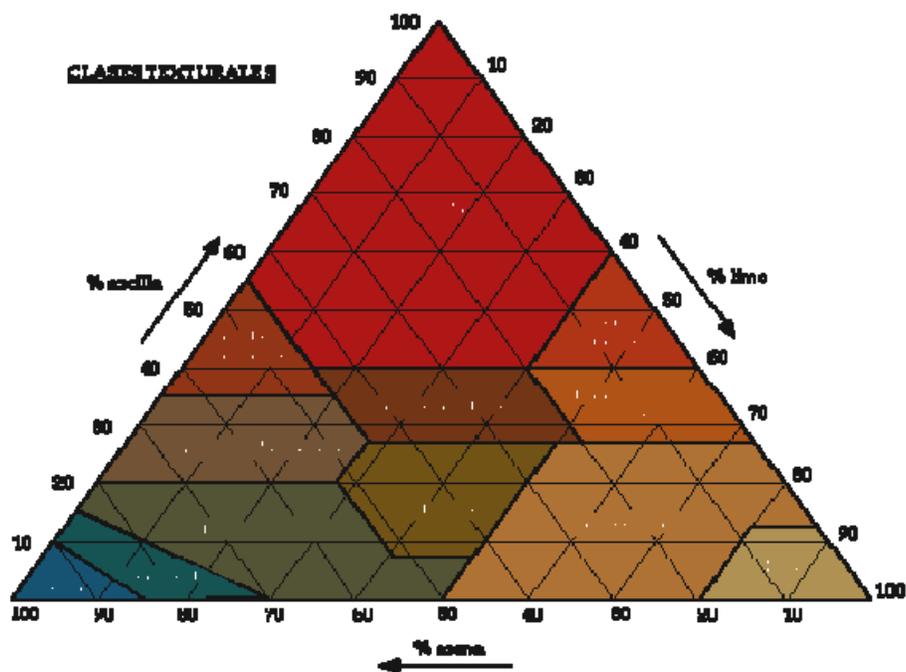
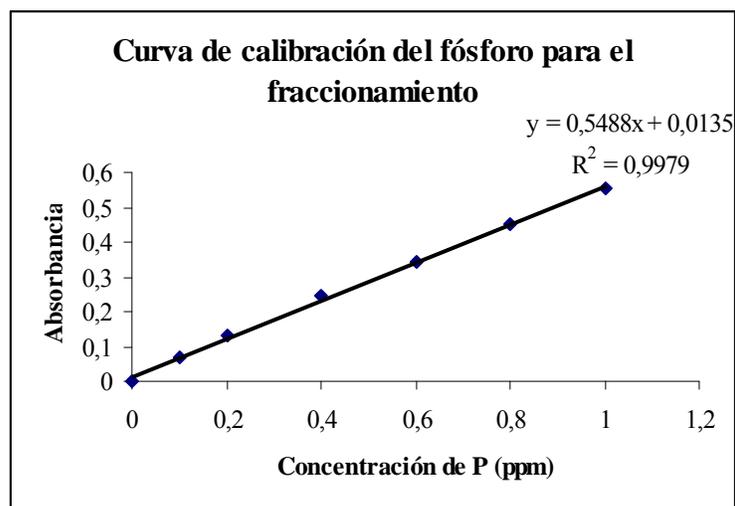
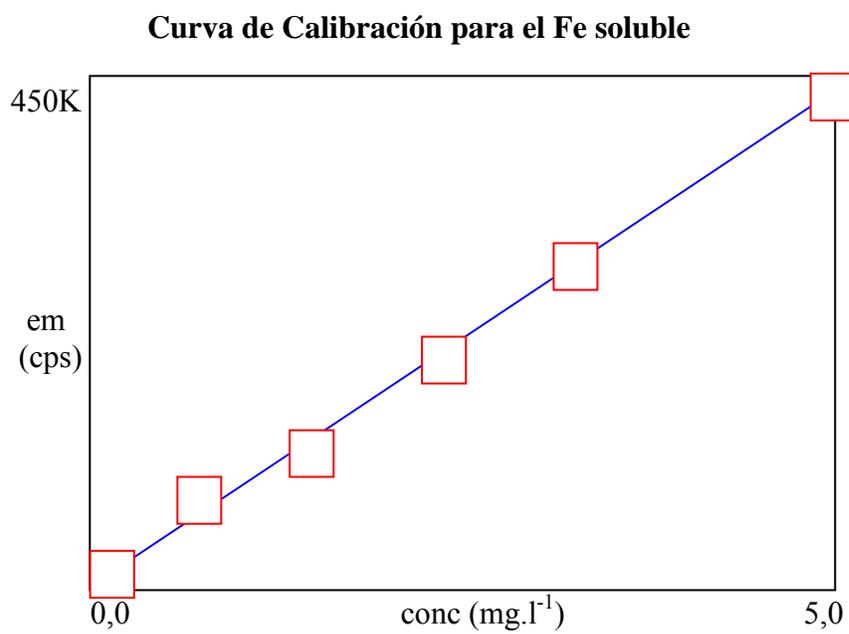
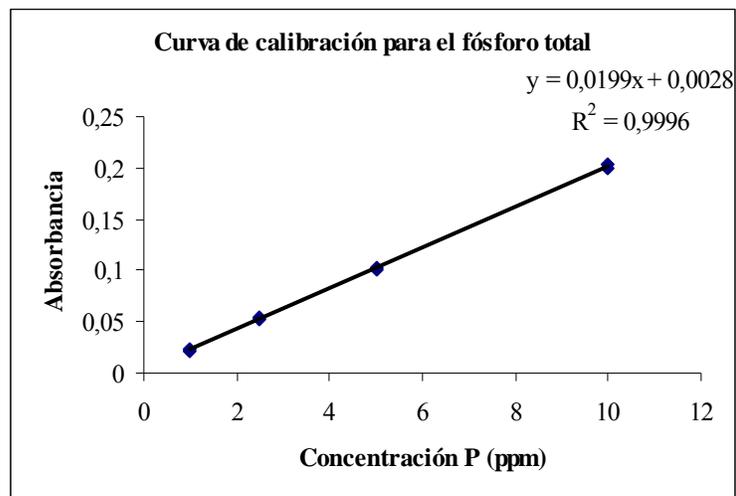


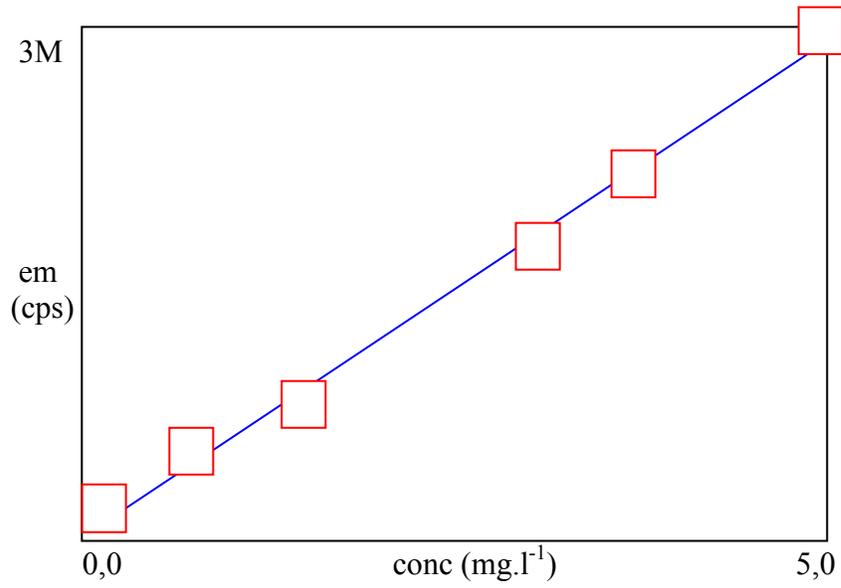
Figura A1. Diagrama de los porcentajes de arcilla, limo y arena en las distintas clases de texturas del suelo.





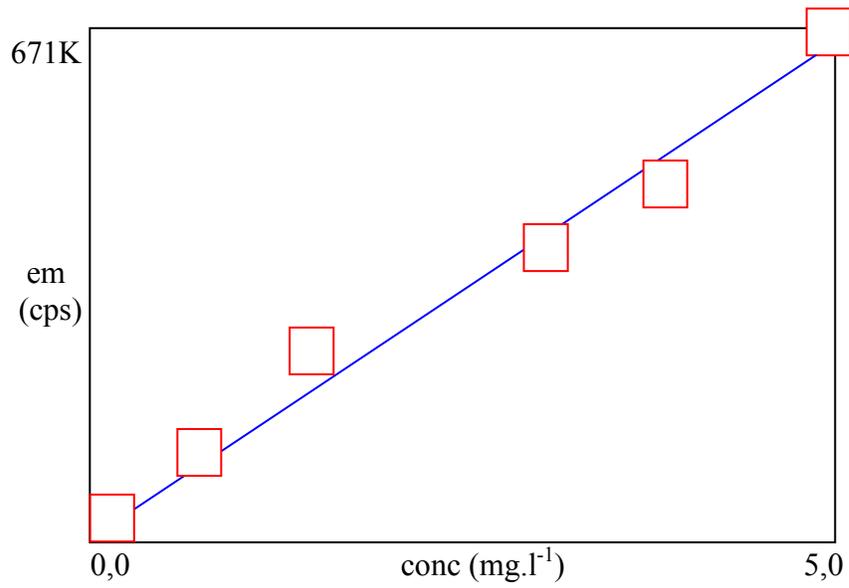
Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,999629

Curva de Calibración para el Ca soluble



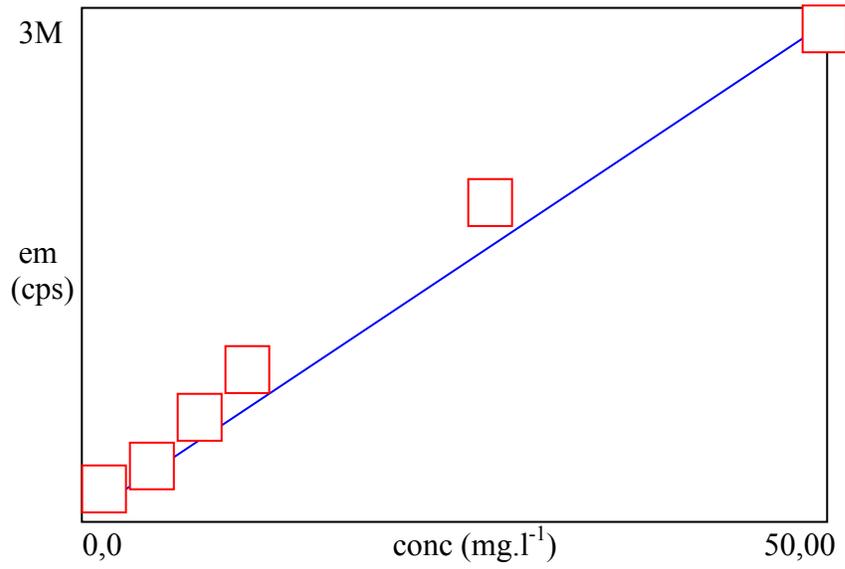
Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,999686

Curva de Calibración para el Al soluble



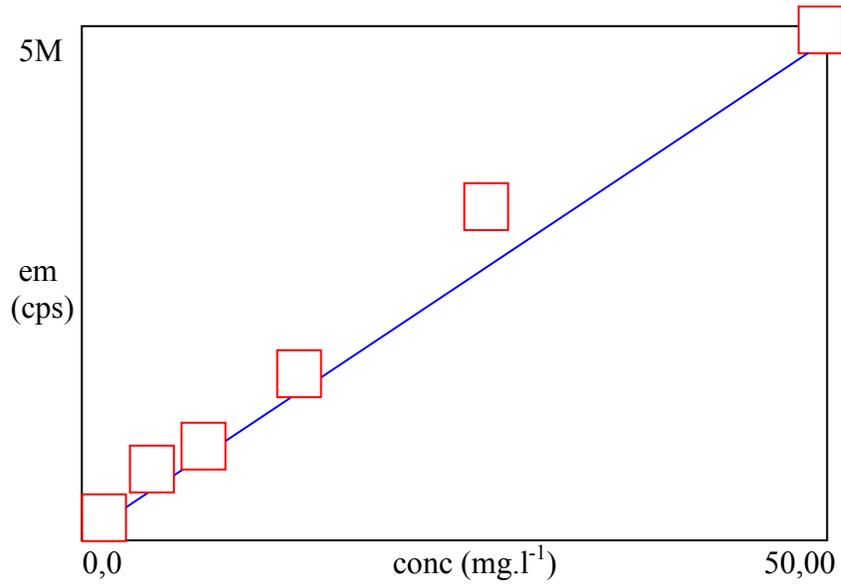
Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,983701

Curva de Calibración para el Fe total



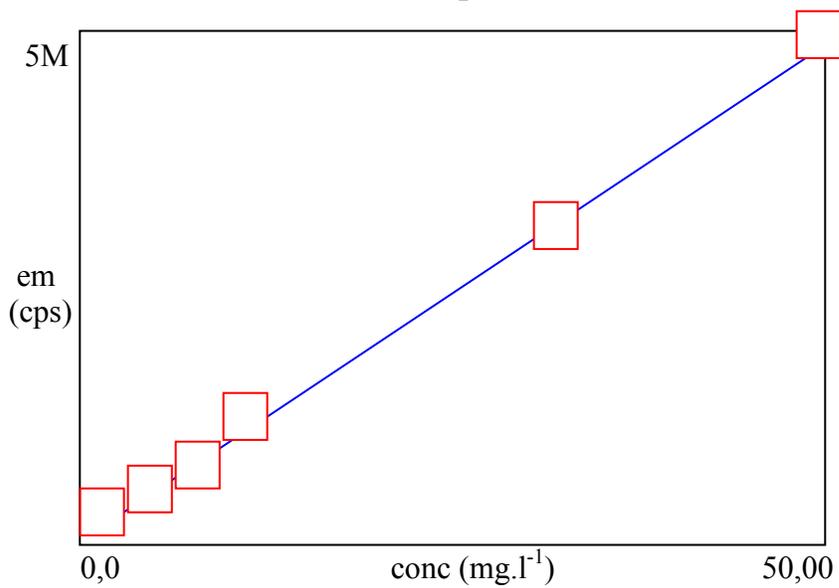
Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,996355

Curva de Calibración para el Ca total



Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,997586

Curva de Calibración para el Al total



Calib Eq'n: Lin, Calc. Int
Corr Coeff: 0,999988

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Química	Suelos

Resumen (abstract):

Se evaluó el comportamiento geoquímico del fósforo en muestras de suelos que fueron recolectadas en diez localidades de la cuenca alta del río Manzanares, en el estado Sucre, a distintas profundidades (0 a 10 cm), (10 a 20 cm) y de (20 a 30 cm). Para la extracción secuencial del fósforo se empleó el método descrito por Psenner (1988). En la determinación de P, Fe, Ca y Al se utilizó la metodología empleada por Jackson (1964) y para los contenidos de calcio, aluminio y hierro solubles se usaron las metodologías de Chapman y Pratt (1973) y Lindsay y Norvell (1978). Además, se evaluaron la textura, porcentaje de materia orgánica y el pH de los suelos. Los resultados indican que la mayoría de los suelos presentan textura franca, variando entre arenosa y arcillosa, con pH que oscila entre 5,90 y 8,27. Los porcentajes de materia orgánica en general fueron altos (>4%), mientras que las concentraciones totales de P, Ca, Fe y Al variaron entre 1038,30 y 3448,30 mg kg⁻¹; 82,85 y 1950,51 μ g g⁻¹; 860,62 y 11081,11 μ g g⁻¹ y 94,26 y 1199,19 μ g g⁻¹; respectivamente. Las concentraciones solubles se obtuvieron para el hierro entre 3,20 y 91,00 μ g.g⁻¹; para el calcio entre 133,00 y 1648,33 μ g.g⁻¹ y para el aluminio entre 0,22 y 1,48 μ g.g⁻¹. Del análisis de correlación se encontraron asociaciones significativas entre el pH y los contenidos totales de Ca, Al y el P total. También mostraron relaciones significativas el pH y las cantidades solubles de los elementos Fe y Ca. Los resultados corroboran que el pH del suelo es un factor importante que controla el tipo de compuesto o mineral que reacciona con el fósforo. El comportamiento del P en las diferentes fracciones geoquímicas estuvo de manera general mayormente asociado al Ca. Es relevante mencionar que el P presentó correlación significativa con cada una de las fracciones geoquímicas.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Dra Luisa Rojas de Astudillo	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA	
	e-mail	lrojas@yahoo.com
	e-mail	
	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA	
	e-mail	
	e-mail	
	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2009	10	05
------	----	----

Lenguaje: spa _____

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis_CALR.DOC	Application/Word

Alcance:

Espacial : _____ (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Licenciado en Química

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado _____

Área de Estudio: Química

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso –
5/5

Derechos:

Yo, Carleth Alesia Laguado Rendón, portadora de la C.I.- 14.124.462, autorizo a la biblioteca central de la UDO-SUCRE la utilización de mi trabajo de grado para ser publicado en su totalidad.

Carleth Laguado

AUTOR 1

[Signature]

TUTOR

[Signature]

JURADO 1

[Signature]

JURADO 2

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS

[Signature]

