

DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES FORMAS DE FÓSFORO EN SUELOS  
CULTIVADOS CON PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL  
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA.

ADELAIDA EUGENIA SALAMANCA VILORIA

OSCAR JOSÉ ORTIZ ORTEGA

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SANTA MARTA D.T.C.H.

2002

DETERMINACIÓN DE LAS DIFERENTES FORMAS DE FÓSFORO EN SUELOS  
CULTIVADOS CON PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL  
DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, COLOMBIA.

ADELAIDA EUGENIA SALAMANCA VILORIA

OSCAR JOSÉ ORTIZ ORTEGA

Memoria de grado presentada como requisito para optar el título de ingeniero  
agrónomo

Director  
ELIECER CANCHANO NIEBLES I.A.

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SANTA MARTA D.T.C.H.

2002

Los jurados examinadores de este trabajo de memoria de grado no serán responsables de los conceptos e ideas emitidas por los aspirantes al título.

Nota de aceptación

Felicitaciones!  
Aprobada.

  
\_\_\_\_\_  
JORGE ARAGON TINOCO I.A.  
Jurado

  
\_\_\_\_\_  
REYNALDO LOBATO PERTUZ I.A. M.Sc.  
Jurado

Santa Marta, Noviembre de 2002.

## DEDICATORIA

Dedico a:

Dios sobre todas las cosas, quien ha iluminado y protegido mis pasos, llenándome de sabiduría y paciencia a lo largo de mi vida.

Mis padres Nahayl Elena y José María, que depositaron su confianza en mi y me brindaron su apoyo para lograr este triunfo.

Mi abuela Manuela Carrillo, quien con su compañía siempre me animó a seguir adelante.

Mis tías maternas, por sus buenos consejos y enseñanzas.

A Lucho Nieto, por su apoyo y confianza en el transcurrir de mi carrera.

**Adelaida Eugenia**

## DEDICATORIA

Dedico a:

Dios quien siempre me acompaña, brindándome fortaleza y perseverancia para alcanzar mis metas.

Mis padres José Clodomiro y Dila Esther, quienes con mucho amor y empeño me han acompañado a lo largo de mi vida.

Mis hermanos José Clodomiro, oswaldo Rafael y el Yoyo, compañeros y amigos incondicionales que me impulsan a seguir adelante.

A toda mi familia, que me acompañaron y motivaron en el transcurrir de mi carrera.

A la familia Orozco Atencio, quienes han sido mi segundo hogar en esta etapa de mi vida.

*Oscar José*

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

A la Universidad del Magdalena.

Eliecer Canchano Niebles I.A. Director de Memoria de grado.

Reynaldo Lobato Pertuz I.A. M.Sc. Jurado de Memoria de grado.

Jorge Aragón Tinoco I.A. Jurado de Memoria de grado.

Jaime cárdenas I.A. Por su valiosa colaboración.

Anselmo Marín Perea I.A. Decano de la facultad de Ing. De Recursos Naturales.

Monómeros Colombo Venezolanos S.A.

A todo el personal del Laboratorio de Suelos de la Universidad del Magdalena.

A todo el personal de Laboratorio de Química de la Universidad del Magdalena.

A auxiliar del Laboratorio de Biología de la Universidad del Magdalena.

A todas las personas que de una u otra forma hicieron posible el desarrollo y finalización del presente trabajo.

IA  
00551

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. ANTECEDENTES	26
2. MATERIALES Y METODOS.	34
2.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.	34
2.1.1 Características generales de los suelos estudiados.	34
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS MUESTREADAS.	35
2.2.1 Zona de Algarrobo.	35
2.2.2 Zonas de Guamachito y <u>Tucurinca</u> .	35
2.3 SITIOS DE MUESTREO.	36
2.4 TRABAJO DE CAMPO.	36
2.4.1 Toma de muestras.	36
2.4.2 Información de la plantación.	38
2.5 TRABAJO DE LABORATORIO.	38
2.5.1 Materiales de laboratorio.	38
2.5.2 Manejo de muestras en el laboratorio.	41
2.5.3 Métodos.	41
2.5.3.1 Fraccionamiento del fósforo inorgánico.	41
2.5.3.2 Determinación del fósforo orgánico.	43

2.5.3.3 Determinación del fósforo total.	44
2.5.3.4 Metodología para la lectura en el fotocolorímetro.	44
2.5.3.5 Determinación del pH.	45
2.5.3.6 Determinación de granulometría.	45
2.5.3.7 Determinación de la materia orgánica.	46
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1 FÓSFORO FÁCILMENTE REEMPLAZABLE.	50
3.1.1. Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Algarrobo.	50
3.1.2 Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Guamachito.	56
3.1.3 Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Tucurínca.	56
3.2 FÓSFORO UNIDO AL CALCIO NO APATÍTICO.	57
3.2.1 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Algarrobo.	57
3.2.2 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Guamachito.	57
3.2.3 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Tucurínca.	62
3.3 FÓSFORO UNIDO AL ALUMINIO.	62
3.3.1 Fósforo unido al aluminio en la zona de Algarrobo.	62
3.3.2 Fósforo unido al aluminio en la zona de Guamachito.	62
3.3.3 Fósforo unido al aluminio en la zona de Tucurínca.	63
3.4 FÓSFORO UNIDO AL HIERRO.	63
3.4.1 Fósforo unido al hierro en la zona de Algarrobo.	63
3.4.2 Fósforo unido al hierro en la zona de Guamachito.	63

3.4.3 Fósforo unido al hierro en la zona de Tucurínca.	64
3.5 FÓSFORO UNIDO AL CALCIO APATÍTICO.	64
3.5.1 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Algarrobo.	64
3.5.2 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Guamachito.	65
3.5.3 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Tucurínca.	65
3.6 FÓSFORO ORGÁNICO.	66
3.6.1 Fósforo orgánico en la zona de Algarrobo.	66
3.6.2 Fósforo orgánico en la zona de Guamachito.	66
3.6.3 Fósforo orgánico en la zona de Tucurínca.	67
3.7 FÓSFORO TOTAL.	67
3.7.1 Fósforo total en la zona de Algarrobo.	67
3.7.2 Fósforo total en la zona de Guamachito.	67
3.7.3 Fósforo total en la zona de Tucurínca.	68
4. CONCLUSIONES.	113
BIBLIOGRAFIA.	115
ANEXO	118

## LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. Lista de plantaciones muestreadas en cada zona y el respectivo número de muestras por plantación, en estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	37
Tabla 2. Concentraciones de fósforo en ppm y porcentajes de tramitancia, obtenidos en el fotocolorímetro para la curva patrón en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	48
Tabla 3. Valores en ppm de las diferentes formas de fósforo para la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	54
Tabla 4. Valores en ppm de las diferente formas de fósforo para la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	58
Tabla 5. Valores en ppm de las diferentes formas de fósforo para la zona de Tucurinca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	60
Tabla 6. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	70
Tabla 7. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	71

Tabla 8. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Tucurínca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	72
Tabla 9. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	93
Tabla 10. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	94
Tabla 11. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	95
Tabla 12. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Al, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	96
Tabla 13. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	97
Tabla 14. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Fe, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	98
Tabla 15. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- total, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	99
Tabla 16. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	100

Tabla 17. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	101
Tabla 18. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	102
Tabla 19. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	103
Tabla 20. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	104
Tabla 21. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	105
Tabla 22. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Fe, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	106
Tabla 23. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	107
Tabla 24. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	108
Tabla 25. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	109

Tabla 26. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 110

Tabla 27. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 111

Tabla 28. Análisis de varianza de regresión entre el P- Ca no apatítico y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 112

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	51
Figura 2. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	52
Figura 3. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Tucurínca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	53
Figura 4. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Algarrobo en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	55
Figura 5. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Guamachito en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	59
Figura 6. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Tucurínca en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	61
Figura 7. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.	73

- Figura 8. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 74
- Figura 9. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 75
- Figura 10. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 76
- Figura 11 Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 77
- Figura 12. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al hierro, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 78
- Figura 13. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y pH, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 79
- Figura 14. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 80
- Figura 15. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 81

- Figura 16. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 82
- Figura 17. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 83
- Figura 18. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 84
- Figura 19. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 85
- Figura 20. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al hierro, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 86
- Figura 21. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 87
- Figura 22. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 88
- Figura 23. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 89

Figura 24. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 90

Figura 25. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 91

Figura 26. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al calcio no apatítico y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena. 92

## LISTA DE ANEXO

pág.

Anexo 1. Formulario de registro de la información de los lotes muestreados en las fincas palmeras, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

119

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena, el cual se encuentra ubicado en el norte de Colombia limitando con los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Santander, Guajira y Mar Caribe.

En el departamento del Magdalena los suelos presentan las siguientes características: su altura varía entre 2 y 80 m.s.n.m, son suelos formados por aluviones generados por los ríos Fundación, Aracataca, Sevilla y Tucurínca. Las texturas oscilan entre muy livianas a muy pesadas, siendo la mayoría de textura media. Son suelos planos con una pendiente que oscila del 1 al 2 %. La estructura dominante es la de bloques subangulares, la infiltración es buena en términos generales, aunque en los suelos más pesados se vuelve lenta. Son áreas poco inundables y con un grado de fertilidad de mediana a moderadamente alta. La materia orgánica es baja, el pH oscila entre ligeramente ácido a moderadamente alcalino, aunque se encuentran fincas con reacción de alcalinidad alta, la precipitación media anual en promedio es de 1100 mm, son áreas con más de 2000 horas luz/año, no se presentan problemas de huracanes y la temperatura media anual es de 30°C.

Se escogieron diez fincas distribuidas en tres zonas específicas que fueron la zona de Algarrobo, la zona de Guamachito y La zona de Tucurínca, donde se tomaron muestras en una proporción de una muestra por cada 100 hectáreas, las cuales se tomaron a una profundidad de 0 a 30 cm.

Esta investigación se siguió por el método propuesto por Chang y Jackson con las modificaciones de Sen Gupta y Cornfield, para el fraccionamiento del fósforo, las diferentes formas de fósforo se relacionaron con análisis de correlación y regresión lineales, realizando como complemento análisis de varianza a las regresiones.

El contenido de fósforo fácilmente reemplazable osciló entre 12,5 y 46,25 ppm, el de P unido al calcio no apatítico entre 17,5 y 212,5 ppm, el de P unido al aluminio entre 18,75 y 112,5 ppm, los valores de P unido al hierro están entre 17,75 y 288 ppm, los de P unido al calcio apatítico entre 25 y 300, 62 ppm, los del P orgánico están entre 25 y 100 ppm y los valores registrados para el P total oscilan entre 195 y 686,87 ppm.

La distribución de las diferentes formas de fósforo expresadas como porcentaje del fósforo total, en la presente investigación mostró el siguiente orden decreciente en las distintas zonas: P unido al Calcio no Apatítico, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Hierro, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable para la zona de Algarrobo. En la zona de Guamachito el orden fue el siguiente: P unido al Hierro, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Calcio no Apatítico, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable; y P unido al Hierro, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Calcio no Apatítico, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable para la zona de Tucurínca.



## INTRODUCCIÓN

El fósforo es uno de los elementos fundamentales en la nutrición de las plantas y en especial para la palma de aceite, aunque en menor cantidad que el Potasio, Nitrógeno, Calcio y Magnesio, no obstante su aprovechabilidad es muy variable. Cuando existen bajos niveles de disponibilidad en los suelos agrícolas, no solo se debe a que el contenido del fósforo total es bajo, sino a las diferentes formas en las que participa y que lo llevan a generar compuestos no asimilables.

El papel del fósforo es básico en los procesos fisiológicos de la respiración y nutrición, además influye en los procesos de maduración; por ello en palma de aceite se debería aplicar fósforo en el suelo, al menos en igual magnitud que la planta lo extrae.

El departamento del Magdalena, se encuentra ubicado en la Costa Norte colombiana, abarcando suelos de la faja del trópico húmedo caliente lo cual indica que existen unas condiciones de suelo, ecología, luminosidad y clima adecuados para la instalación y desarrollo del cultivo de palma de aceite. Estos suelos se caracterizan porque presentan altos contenidos de Calcio, Magnesio y Sodio; además se encuentran sentados sobre materiales geológicamente marinos lo cual

induce a que el Fósforo y otros nutrientes puedan formar fácilmente compuestos insolubles.

La presente investigación sobre el fraccionamiento del fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena, se dificultó debido a la deficiente literatura sobre este tema específico en estas condiciones de suelo, lo cual se debe posiblemente, a que este cultivo es explotado de manera extensiva y de exigencias relativamente moderadas en dicho nutriente. Sin embargo, palma de aceite responde a la fertilización fosfatada tanto a nivel de vivero como en plantaciones jóvenes y adultas.

El fraccionamiento del fósforo está basado en la solubilidad diferencial de los fosfatos a varios extractantes. Por medio de este procedimiento se puede determinar cual es la forma dominante, la que ocasiona mayores porcentajes de fijación cuando se adicionan fertilizantes fosfatados y conocer además la forma que dinámicamente puede aumentar las fracciones asimilables por las plantas. Para determinar las diferentes formas de fósforo se usaron distintas metodologías, ya que el fraccionamiento del fósforo puede realizarse por varios métodos.

Actualmente en los laboratorios de suelo se maneja únicamente como variable indicadora del fósforo en el suelo el soluble, más no las otras formas y a nivel foliar, la concentración fosfatada en porcentaje en base seca. La presente

investigación pretende primero observar, analizar y correlacionar las diferentes formas de fósforo en estos suelos y segundo cuantificar la forma asimilable en partes por millón (p.p.m.).

Esta investigación viene a llenar un vacío en la nutrición de palma de aceite a nivel del departamento del Magdalena y posiblemente a nivel nacional para suelos con las mismas características puesto que genera una importante información para el manejo de la fertilización fosfatada en las plantaciones de palma, generando con ello una política de aplicar o no fertilizantes fosfatados, lo cual viene a redundar en las producciones de fruta fresca, tanto en tonelaje como en calidad.

## 1. ANTECEDENTES

Lotero, 1979, sostiene que en el proceso de la respiración se sintetizan los fosfatos de alta energía, ATP, a partir de fosfatos de baja energía, ADP + P. La respiración se puede iniciar con carbohidratos diferentes a la glucosa pero con el paso inicial se requiere la participación del ATP para activar el compuesto orgánico. También dice que el metabolismo de las grasas y el nitrógeno son ejemplos de la utilización del ATP en la célula. Además de las funciones de carácter energético que tiene el fósforo en las plantas, también tiene funciones de tipo estructural (fosfolípidos) y genéticos (nucleoproteínas, ADN y RNA).

Bonner y Galston, 1955, afirman que el fósforo es componente de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía (ATP, DPN, TPN) y se encuentran presentes en los azúcares fosfatados, nucleótidos y ácidos fítics. Entre sus principales funciones están la de participar como transmisor de energía, participar en la fosforilación, fotosíntesis, respiración, síntesis y descomposición de carbohidratos, proteínas y grasas. Las funciones del fósforo y el nitrógeno parecen estar intrrelacionadas en varias maneras; los compuestos inorgánicos de nitrógeno son rápidamente absorbidos y acumulados en los tejidos de las plantas cuando los fosfatos "aprovechables" son bajos; cuando estos son abundantes, la absorción de compuestos inorgánicos de nitrógeno se reducen.

Suárez y Vega, 1989, Sostienen que los niveles bajos de fósforo asimilable, en suelos bajo diferentes cultivos en la Costa Atlántica Colombiana, posiblemente se deba a la alta extracción por parte de los cultivos instalados y no a las condiciones desfavorables tanto atmosféricas como del suelo que bloquean las fracciones que más aportan fósforo asimilable.

Marín, 1968, los métodos de extracción de fósforo en el suelo difieren en su poder extractivo, según la naturaleza de los suelos. Sin embargo se ha encontrado que suelos muy bajos en fósforo presentan muy bajas variaciones en la medida del fósforo aprovechable para las plantas.

Según el instituto de la potasa y el fósforo; de acuerdo a las características de las plantas generalmente menos del 1% del volumen total del suelo está ocupado por las raíces de las plantas. Por esta razón cualquier factor que modifique el tamaño y morfología del sistema radicular, modifica la cantidad de fósforo que esta disponible para las plantas. Se ha demostrado en varios estudios que existe un impacto apreciable en la absorción de fósforo por la planta debido a la elongación de las raíces, como la longitud y densidad de los pelos radiculares, infección con micorrizas y cinética de absorción que influye en la habilidad de la planta para remover fósforo del suelo. Por esta razón, los niveles críticos de fósforo cambian no solo con el tipo de suelo si no también con el cultivo y aun con el manejo específico del cultivo.



Según Cuadrado y Vuelvas, 1974, los iones fosfatados liberados a la solución del suelo por los sólidos del suelo o por los fertilizantes fosfatados, son objeto de rápidas transformaciones a formas menos solubles o insolubles quedando así en forma no aprovechable para la planta, a esta forma se le conoce como fijación de fosfatos y su ocurrencia esta relacionada con dos grupos de procesos que son adsorción y precipitación.

Lotero, 1973, indica que la forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es la más absorbida por las plantas que la forma  $\text{HPO}_4^{=}$ . Sin embargo, a valores de pH bajos, se pueden presentar otros factores desfavorables para la disponibilidad del fósforo, como la presencia de óxidos hidratados e hidróxidos de hierro y aluminio, alto contenido de aluminio intercambiable y soluble, que puede fijar o precipitar el fósforo en forma tal, que la cantidad disponible para el crecimiento de las plantas se reduce. Además sostiene que en la absorción del fósforo por la planta hay que tener en cuenta algunos factores como el metabolismo de ésta, la temperatura, "capacidad inherente", tamaño de la raíz, el pH y los efectos antagónicos e interacciones que se presentan con otros iones, los cuales se consideran los mas importantes.

Según Kamprath, 1973, la concentración del fósforo en la solución del suelo es importante en la nutrición vegetal debido a que las raíces de las plantas absorben fósforo de esta solución. El movimiento del fósforo hacia las raíces por difusión para reemplazar al que ha sido tomado por la planta, es dependiente del gradiente

de concentración de fósforo en la solución y de las interacciones entre el fósforo de la solución y de la fase sólida. Este autor también sostiene que Muchos de los suelos en las regiones tropicales tienen un nivel muy bajo de fósforo aprovechable, siendo los rendimientos de los cultivos generalmente son muy bajos, a menos que se apliquen fertilizantes fosfatados.

Bornemiza, 1966, Sostiene que como se ha notado en general y para suelos de los trópicos húmedos la relación C/P orgánico disminuye con la profundidad del suelo, indicando que la materia orgánica es más rica en fósforo en los horizontes inferiores.

BORNEMIZA e Igue, 1971, argumentan que se ha generado una correlación entre el tamaño de las partículas del suelo y su contenido de fósforo orgánico. Observó que el 85% de esta categoría de nutrimento puede estar unida a la fracción arcilla de los suelos. También resalta que en general se cree que esta adsorción disminuye la velocidad de mineralización de los compuestos orgánicos contribuyendo así a su acumulación. Dice también que estudios realizados en Europa han establecido una relación entre el drenaje y la cantidad de fósforo orgánico presente en ellos, se encontró así que en los suelos con mal drenaje el porcentaje de esta fracción es pequeña.

Fassbender et al, 1968, analizaron los fosfatos y se ha podido establecer criterios sobre la distribución de los mismos. Dependiendo ella en primer lugar del grado de meteorización y desarrollo de los suelos. En suelos recientes predominan los fosfatos cálcicos; en suelos medianamente desarrollados se presentan proporciones balanceadas de los diferentes fosfatos inorgánicos; en suelos maduros más bien predominan los fosfatos ocluidos en los hidróxidos de Fe, Mn y Al.

Galvis y Atencio, 1997, en estudios realizados en el municipio de Córdoba, Bolívar, sostiene que teniendo en cuenta la capacidad de fijación de fósforo puede decirse que en alguno de los suelos estudiados presentan una capacidad de fijación bastante alta alcanzando un rango hasta del 70% lo cual reviste gran importancia para el desarrollo agrícola de la zona, ya que son suelos que responden bien al elemento P según los datos reportados por los datos de materia.

Benavides, 1973, citado por Guerrero, 1973, realizó el primer fraccionamiento de fósforo en suelos colombianos. Blasco y Bohórquez, 1968, citados por el mismo autor, efectuaron la primera publicación sobre fracciones de fósforo en suelos del Valle del Cauca, utilizando la misma técnica pero con las modificaciones de Sen Gupta y Cornfield, 1962.

Según Guerrero, 1973, bajo condiciones del trópico en suelos latosólicos (altamente meteorizados) el fósforo unido al aluminio y el fósforo unido al hierro son los que más contribuyen a la nutrición fosfatada de las plantas, en tanto que los suelos volcánicos jóvenes el fósforo unido al calcio no apatítico es la fracción más relacionada con el proceso. El fósforo aplicado como fertilizante se acumula principalmente como fósforo unido al aluminio y fósforo unido al hierro, pero la magnitud de la "fijación" depende del nivel de aplicación, fuente de fósforo utilizada y tipo de suelo. Sin embargo, las evidencias experimentales indican que parte de ese fósforo puede ser recuperados por los cultivos.

Goenaga y Cabrales, 1978, concluyeron que en suelos de la Zona Bananera (departamento del Magdalena), las distintas formas de fósforo expresadas como porcentaje del fósforo total disminuyeron en el siguiente orden: fósforo inerte, fósforo orgánico, fósforo cálcico no apatítico, fósforo unido al aluminio, fósforo unido al hierro, fósforo cálcico apatítico y fósforo fácilmente reemplazable. Anotan también que el contenido de fósforo total es de 1025 ppm y que el fósforo cálcico no apatítico es la forma que predomina sobre el resto de fracciones inorgánicas y ocupa el segundo lugar en importancia como fracción portadora de fósforo asimilable para las plantas. Señalan que los fosfatos de Fe y Al tienen tendencia al equilibrio, siendo ligeramente superior las cantidades de fósforo retenidas por el Al que las retenidas por el Fe; por último sostienen que la fracción de fósforo

fácilmente reemplazable presenta un contenido en porcentaje del fósforo total del 0,32 a 2,06%.

Suárez y Vega, 1989, en estudios realizados en la Costa Atlántica Colombiana, concluyeron que en algunos suelos bajo diferentes cultivos en la Zona Bananera del Magdalena, San Pedro de la Sierra y Villanueva (Guajira), las distintas formas de fósforo expresadas como porcentaje del fósforo total siguieron el siguiente orden decreciente: P- Inerte, P- Ca Apatítico, P- Ca no Apatítico, P- Al, P- Fe, P- Orgánico y P Fácilmente Reemplazable. Para la zona de Manatí, Atlántico se obtuvo el siguiente orden decreciente: P- Inerte, P- Ca Apatítico, P- Al, P- Fe, P- Orgánico y P Fácilmente Reemplazable y para la zona de Casacará, Cesar P- Inerte, P- Ca Apatítico, P- Al, P- Fe, P- Orgánico, P Fácilmente Reemplazable y P- Ca no Apatítico. De igual manera encontraron que el fósforo total en la zona bananera en promedio era de 1220,43 ppm, mientras que en Casacará (Cesar) era de 2695 ppm. El fósforo fácilmente reemplazable en la zona bananera del Magdalena, esta entre 2,70 y 50 ppm, mientras que para la zona de Casacará (Cesar) registran un valor de 25 ppm; en esta misma zona encontraron un valor de 100,5 ppm de fósforo unido al Ca apatítico y de 12,5 ppm de Ca no apatítico.

Gómez Y Alí, 1977, en estudios realizados para la determinación de distintas formas de fósforo en los Cerros de san Isidro y San Javier en la Sierra Nevada de Santa Marta obtuvieron valores de P Total para la zona de san Javier, en el

horizonte A en un rango de 50 a 160 ppm de P y en el horizonte B estos valores oscilaron entre 62 y 102 ppm de P. Para la zona del Cerro de San Isidro los valores estuvieron entre 52 y 154 ppm de P Total. En cuanto al P inorgánico los valores obtenidos se encontraron entre 6 y 74 ppm de P en el horizonte A y en el horizonte B, estos valores se hallaron entre 14 y 52 ppm de P para el Cerro de San Javier. Los valores obtenidos de P inorgánico en el Cerro de San Isidro en el horizonte A, oscilaron entre 2 y 60 ppm de P. En lo que se refiere al P orgánico para el Cerro de San Javier en el horizonte A, los valores se encuentran entre 32 y 108 ppm de P y en el horizonte B de estos Cerros las anotaciones fueron entre 26 y 88 ppm de P. En el Cerro de San Isidro para el horizonte A, los valores para P Orgánico se encuentran entre 34 y 92 ppm.

## 2. MATERIALES Y METODOS.

### 2.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

El presente estudio se realizó en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena, el cual se encuentra ubicado en el norte de Colombia limitando con los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cesar, Santander, Guajira y Mar Caribe.

2.1.1 Características generales de los suelos estudiados. En el departamento del Magdalena los suelos presentan las siguientes características: su altura varia entre 2 y 80 m.s.n.m, son suelos formados por aluviones generados por los ríos Fundación, Aracataca, Sevilla y Tucurínca. Las texturas oscilan entre muy livianas a muy pesadas, siendo la mayoría de textura media. Son suelos planos con una pendiente que oscila del 1 al 2 %. La estructura dominante es la de bloques subangulares, la infiltración es buena en términos generales, aunque en los suelos más pesados se vuelve lenta. Son áreas poco inundables y con un grado de fertilidad de mediana a moderadamente alta. La materia orgánica es baja, el pH oscila entre ligeramente ácido a moderadamente alcalino, aunque se encuentren fincas con reacción de alcalinidad alta, la precipitación media anual en promedio es

de 1100 mm, son áreas con más de 2000 horas luz/año, no se presentan problemas de huracanes y la temperatura media anual es de 30°C.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS MUESTREADAS.

Las muestras fueron tomadas en diferentes fincas palmeras, las cuales se ubicaron en tres zonas específicas que son: zona de Algarrobo, Zona de Guamachito y zona de Tucurinca (Tabla 1).

2.2.1 Zona de Algarrobo. Esta zona pertenece al municipio de Fundación departamento del Magdalena, estando ubicada en la parte central Este del departamento y su localización geográfica esta a los 10° 25' de latitud y a los 74° 04' de longitud oeste.

En esta zona se registra un promedio de altura de 60 m.s.n.m., una precipitación promedio de 1866 mm anuales y una temperatura media de 26,3°C. Sus suelos son derivados de aluviones recientes depositados por el Río Ariguani.

2.2.2 Zonas de Guamachito y Tucurinca. Estas zonas pertenecen al municipio de la Zona Bananera del Magdalena el cual se encuentra ubicado en la parte noroccidental del departamento del Magdalena, entre el litoral Atlántico y el Río Fundación. Localizado geográficamente entre los 10°22' y 11°01' de latitud norte y entre los 74°07' y 74°24' de longitud oeste.

Este municipio limita al norte con la línea del ferrocarril que va de Ciénaga hacia el este, hasta encontrar el Cerro mico; al este con las estribaciones occidentales de la Sierra Nevada de Santa Marta; al sur con el Río Fundación y al occidente con la Ciénaga Grande de Santa Marta.

### 2.3 SITIOS DE MUESTREO.

Se escogieron diez fincas (tabla 1), distribuidas en las zonas anteriormente descritas tratando de abarcar el mayor área posible para que fuese representativa, en estas fincas se tomaron aproximadamente una muestra por cada 100 hectáreas.

### 2.4 TRABAJO DE CAMPO.

2.4.1 Toma de muestras. Después de planificar cuales eran las plantaciones a muestrear en sus respectivas zonas (tabla 1), se procedió a preparar los materiales para las salidas de campo que fueron: Barreno de broca (marcado a 30 cm de profundidad), Bolsas de polietileno, Etiquetas para identificar las muestras y una libreta de anotaciones. Posteriormente se realizó el muestreo de suelos en cada una de las plantaciones.

TABLA 1. Lista de plantaciones muestreadas en cada zona y el respectivo número de muestras por plantación, en estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

ZONA	No	FINCA	No DE MUESTRAS
Algarrobo	1	Campo grande	6
	2	Américas	1
	3	Palmarí	5
Guamachito	4	Caribú	5
	5	Padelma	7
	6	Montería	3
	7	Tequendama*	2
Tucurinca	8	San Joaquín	4
	9	Leyva	6
	10	Palo alto	10

\* Esta plantación pertenece al Municipio de Aracataca, pero para facilitar el manejo en este trabajo, se incluyó en la zona de Guamachito.

En cada plantación se seleccionaron los lotes al azar, en una proporción aproximada de un lote por cada cien hectáreas, tomando una muestra por lote, en cada uno de ellos se tomo cinco submuestras que fueron mezcladas, sacando una muestra respectiva, posteriormente se retiró el material orgánico visible y se guardó aproximadamente 600 g, en bolsas plásticas identificadas con etiquetas marcadas con números consecutivos. Las submuestras se tomaron entre las calles por fuera del borde del plateo y nunca debajo de la palera, a una profundidad de 30 cm.

2.4.2 Información de la plantación. Para esta actividad se realizo una breve reunión con el encargado de la plantación, diligenciando en la libreta de anotaciones un pequeño historial de cada lote. ( ver Anexo 1).

## 2.5 TRABAJO DE LABORATORIO.

### 2.5.1 Materiales de laboratorio.

#### a. materiales

Papel periódico

Rodillo de madera

Tamices de 2 mm

Vidriería en general

Papel filtro cualitativo

Potenciómetro digital con electrodo de vidrio

Balanza analítica



Fotocolorímetro. Marca Leitz.

Mufla

Centrifugadora. 1200 r.p.m.

b. Soluciones

Solución A.

53,3 gramos de Cloruro de Amonio.

Aforar a un litro.

Solución C.

18,5 gramos de Fluoruro de Amonio.

Aforar a 800 ml. Ajustar pH a 8,2.

Aforar a 1 litro.

Solución D.

400 gramos de NaCl.

Aforar a 1 litro.

Solución E.

4,1 gramo de Hidróxido de Sodio (NaOH).

Aforar a 1 litro.

Solución F.

14 ml. De Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Aforar a 1 litro.

Solución H.

11 ml. De Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Aforar a 200 cc.

## Solución L.

50 gramos de Ácido Bórico.

Aforar a 1 litro con agua tibia.

## Solución M.

25 gramos de Molibdato de Amonio.

Aforar a 200 ml. Con agua caliente y dejar enfriar.

## Solución N.

275 ml. de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

Aforar a 800 ml. Con agua. Dejar enfriar.

## 10. Solución O (colorimetría).

Unión de M y N.

Aforar a 1 litro.

## Solución P (colorimetría).

12,5 gramos de Cloruro Estanoso más 50 ml. de Ácido Clorhídrico.

Aforar a 500 ml. Guardar en frasco color ámbar.

## Solución I.

0,2995 gramos de fosfato monobásico ( $KH_2PO_4$ ).

Aforar a 1 litro.

## Solución Q.(colorimetría)

1,1 gramos de cloruro de calcio ( $CaCl_2$ ).

Aforar a 1 litro.

Solución R ( 1 N ).

60 cc de ácido acético glacial.

Aforar a 1 litro.

Solución S (0.5 N ).

30 cc de ácido acético.

Aforar a 1 litro.

2.5.2 Manejo de muestras en el laboratorio. Cada muestra traída del campo se colocó sobre pliegos de papel periódico, exparciéndolas con el fin de secarlas a temperatura ambiente. Al obtener la humedad requerida, se procedió a triturarlas con un rodillo de madera, se extrajo todo el material orgánico visible, piedras y elementos extraños. Luego se tamizaron con un tamiz de 2mm, con el fin de obtener una muestra homogénea para el análisis. Estas muestras se almacenaron en bolsas de plástico, identificándose con números consecutivos del 1 al 49.

2.5.3 Métodos.

2.5.3.1 Fraccionamiento del fósforo inorgánico. El fraccionamiento del fósforo inorgánico se puede realizar de diferentes métodos. Este trabajo se siguió por el método de Chang y Jackson, con las modificaciones de Sen Gupta y Cornfield, 1974.

a. Determinación del Fósforo fácilmente reemplazable. Se colocó 1 gramo de suelo exactamente pesado en un tubo de centrifugadora de 55 ml, se le adicionaron 50 ml de la solución A. Se agitó con un agitador mecánico horizontal durante 30 minutos y se filtró colectando el filtrado para determinar el P- fácilmente reemplazable.

b. Determinación del Fósforo unido al Calcio no apatítico. Al suelo residual de tratamiento anterior se le adicionaron 50 ml de la solución S. Se agitó por una hora, se centrifugó y se filtró, colectándose este para determinar el fósforo cálcico no apatítico. A este suelo residual se le adicionaron 50 ml de agua destilada estéril, se agitó por 1 minuto y se filtró, este líquido se desechó.

c. Determinación de Fósforo unido al Aluminio. Al suelo residual del tratamiento anterior se le agregaron 50 ml de la solución C. Se agitó por 1 hora, se centrifugó, se filtró y se colectó el filtrado para determinar el fósforo unido al aluminio.

Al filtrado se le adicionaron 15 ml de la solución L para evitar la interferencia de la solución C al desarrollo del color azul.

d. Determinación de fósforo unido al hierro. El residuo del tratamiento anterior se lavó 2 veces con 50 ml de la solución D, se agitó por dos minutos, se centrifugó y se filtró; el suelo residual se lavó 2 veces con agua destilada estéril.

Posteriormente se le agregaron 50 ml de la solución E, se agitó durante 17 horas, se centrifugó y se filtró. Este filtrado se le agregó una pizca de carbón activado, agitando por dos minutos y se volvió a filtrar. La materia orgánica presente en el extracto se removió con 2 o 3 gotas de ácido sulfúrico concentrado, posteriormente se determinó el fósforo unido al hierro.

e. Determinación del fósforo unido al calcio apatítico. Al suelo residual del tratamiento anterior se le adicionaron 50 ml de la solución F, se agitó durante 1 hora, se centrifugó y se filtró. Posteriormente se determinó el fósforo cálcico apatítico.

2.5.3.2 Determinación del fósforo orgánico. Para ello se siguió el método propuesto por Sen Gupta y Cornfield.

Se pesó un gramo de suelo, se le adicionaron 50 ml de la solución R, se agitó por 5 minutos, se centrifugó y se filtró. Este líquido se desechó. Al residuo se le adicionaron 50 ml de la solución H, se agitó durante 30 minutos y después se lavó el suelo dos veces con agua destilada estéril. (Este tratamiento tiene por objeto remover los carbonatos y el P- inorgánico).

El suelo lavado se secó a  $105^{\circ}$  C en una estufa y se transfirió a un crisol de porcelana, sometiéndolo a ignición durante 5 horas a  $500^{\circ}$  C, se dejó enfriar a temperatura ambiente del laboratorio, se pasó a un tubo de centrifugadora,

adicionándole 50 ml de la solución R, se agitó por 30 minutos y se filtró. Este líquido contiene el fósforo orgánico.

2.5.3.3 Determinación del fósforo total. Este se obtuvo por sumatoria del fósforo inorgánico mas el fósforo orgánico.

2.5.3.4 Metodología para la lectura en el fotocolorímetro. Se tomaron dos ml de alícuota, para cada uno de los filtrados, se depositaron en volumétricos de 50 ml, agregándole 30 ml de la solución Q, más 2 ml de la solución O, se aforó al volumen indicado y se le adicionaron dos gotas de la solución P, se dejó desarrollar el color durante 8 minutos y se procedió a leer en el fotocolorímetro con una longitud de onda de 640 nm.

Se elaboró una curva patrón a partir de una solución de 50 ppm de fósforo (solución I), se llevó a una concentración de 2 ppm, de la cual se tomaron diferentes volúmenes como se indica en la tabla 2 y posteriormente se graficaron en una curva. En esta gráfica con la lectura del fotocolorímetro se halla el valor L, con el cual se aplica la siguiente formula:

$$P \text{ en ppm} = \frac{(L \times V_o \times V_F \times 1000)}{1000 \times \text{ml} \times \text{g}}$$

Donde:

L = lectura de la curva.

$V_o$  = volumen inicial (solución extractora).

$V_F$  = volumen final colorimetría.

ml = mililitros de alícuota.

g = peso de la muestra.

2.5.3.5 Determinación del pH. Se determinó utilizando la relación volumétrica 1:1, es decir tomándose un peso de suelo por un volumen de agua, se agitó, dejándose en reposo durante 20 minutos y luego se determinó el pH con un potenciómetro, digital con electrodo de vidrio.

2.5.3.6 Determinación de granulometría. Este proceso se realizó siguiendo el método del Hidrómetro de Bouyoucos de la siguiente manera:

Se tomaron 50 g de la muestra seca al horno a  $105^{\circ}\text{C}$ .

Se paso a la copa de dispersión agregándose 400 cc de agua destilada y 10 ml de hexametáfosfato de sodio como solución dispersante.

Se coloca en agitación durante 15 minutos.

Se transfiere la solución agua – suelo – hexametáfosfato, al cilindro graduado de 1000 cc aforando a 1130 cc con el hidrómetro dentro.

Se saca el hidrómetro y se agita con el agitador vertical por 30 segundos.

Se saca el agitador y se coloca el hidrómetro y a los 40 segundos se hace la lectura del hidrómetro y la temperatura de la solución.

A las dos horas exactas se hace la segunda lectura.

Se hicieron las correcciones de lectura del hidrómetro correspondientes a temperatura y luego se aplicaron las siguientes formulas.

Porcentaje de arena:

$$\text{Porcentaje de material En suspensión} = \frac{\text{Lectura corregida del hidrómetro} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$\text{Porcentaje de A (arena)} = 100 - \% \text{ material en suspensión.}$$

$$\text{Porcentaje de Arcilla} = \frac{2^{\text{da}} \text{ lectura del hidrómetro corregida} \times 100}{\text{Peso de la muestra.}}$$

$$\text{Porcentaje de Limo} = 100 - (\% \text{ Ar} + \% \text{ A}).$$

2.5.3.7 Determinación de la materia orgánica. Para su determinación se utilizó el método Walkly – Brack para ello se procedió de la siguiente manera:

Se tomaron 0.5 g de suelo (por ser suelos minerales).

Se le agregó 20 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Se agitó durante un minuto y se dejó reposar por 30 minutos.

Estando fría la solución anterior se la agregaron 200 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico y tres gotas de indicador difenilamina y se agitó.

Se titula con solución de sulfato ferroso 1 N; hasta que el color vire de azul pardusco a un verde brillante.

Cálculo:

Porcentaje de materia orgánica =  $1,724 [(B - M) \times \text{Normalidad} \times 0,003 \times 1,3 \times 100]$

B = volumen de solución ferrosa en el blanco.

M = volumen de solución ferrosa en la muestra

Tabla 2. Concentraciones de fósforo en ppm y porcentajes de transmitancia, obtenidos en el fotocolorímetro para la curva patrón en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

Volumen de solución de 2 ppm (ml)	Volumen final aforado con agua destilada (ml)	Concentración de P ( ppm )	Tramitancia en Porcentaje
0	50	0	100
0,5	50	0,02	95
1	50	0,04	90
2,5	50	0,10	81
5	50	0,20	68
7.5	50	0,30	57
12,5	50	0,50	40
15	50	0,60	33
20	50	1	22

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución de las diferentes formas de fósforo expresadas como porcentaje del fósforo total, en la presente investigación mostró el siguiente orden decreciente en las distintas zonas:

P unido al Calcio no Apatítico, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Hierro, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable para la zona de Algarrobo (figura 1). Estos resultados muestran diferencias a los obtenidos por Suárez y Vega, en estudios realizados en la zona de Casacará, Cesar donde el orden decreciente fue: P inerte, P Cálculo Apatítico, P unido al Aluminio, P unido al Hierro, P fácilmente reemplazable, P orgánico y P Cálculo Apatítico, coincidiendo solamente con la fracción de P unido al Hierro.

En la zona de Guamachito el orden decreciente de las diferentes fracciones fue el siguiente: P unido al Hierro, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Calcio no Apatítico, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable (figura 2). Esta distribución difiere a las anotaciones realizadas por Goenaga y Cabrales, en investigaciones realizadas en la Zona Bananera del Magdalena, donde las distintas formas de fósforo expresadas en porcentaje disminuyeron en el siguiente orden: P inerte, P Orgánico, P Cálculo no Apatítico, P unido al Aluminio, P unido al Hierro, P

Cálcico Apatítico y P fácilmente reemplazable; siendo diferente también a la distribución encontrada por Suárez y Vega, en la Zona Bananera del Magdalena mostrando el siguiente orden decreciente: p inerte, P Cálcico Apatítico, P Cálcico no Apatítico, P unido al Aluminio, P unido al Hierro, P Orgánico y P fácilmente reemplazable.

P unido al Hierro, P unido al Calcio Apatítico, P unido al Calcio no Apatítico, P Orgánico, P unido al Aluminio y P fácilmente reemplazable para la zona de Tucurínca (figura 3). Se puede observar que esta distribución es igual a la de la zona de Guamachito, mostrando diferencia con los autores anteriormente citados. De igual manera se indica como estos resultados difieren solamente en la posición de dos formas de fósforo con la zona de Algarrobo.

### 3.1 FÓSFORO FÁCILMENTE REEMPLAZABLE.

3.1.1. Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Algarrobo. Los valores de fósforo fácilmente reemplazable oscilaron entre 18.75 y 46.25 ppm (Tabla 3), con un promedio de 28.12 ppm (Figura 4), coincidiendo con valores encontrados por Suárez y Vega, quienes reportaron 25 ppm de P- fácilmente reemplazable en la zona de Casacará (Cesar). Mientras que los valores hallados por Tafur y Blasco, están entre 1.25 y 20 ppm los cuales son inferiores a los registrados en la presente investigación.

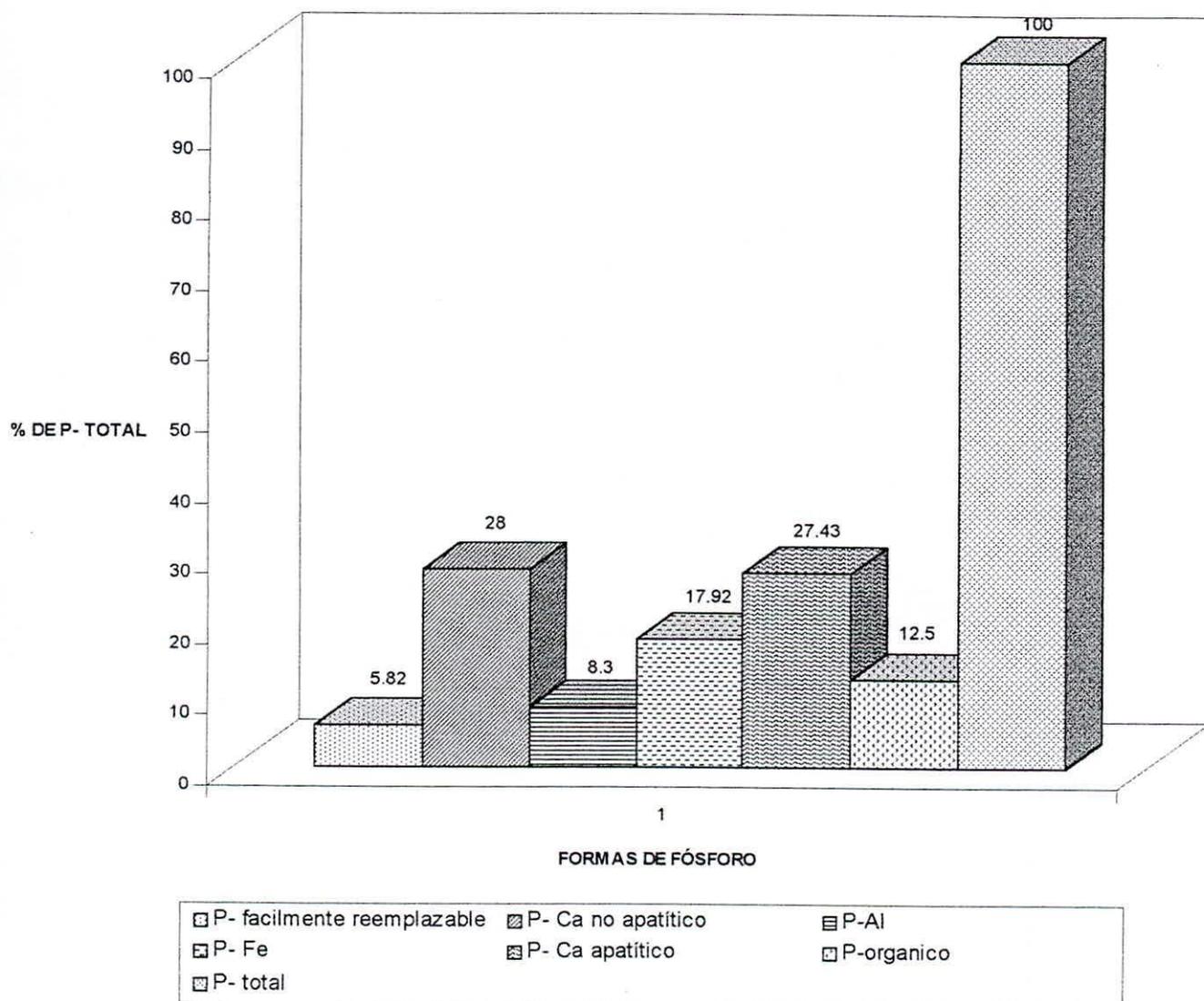


Figura 1. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

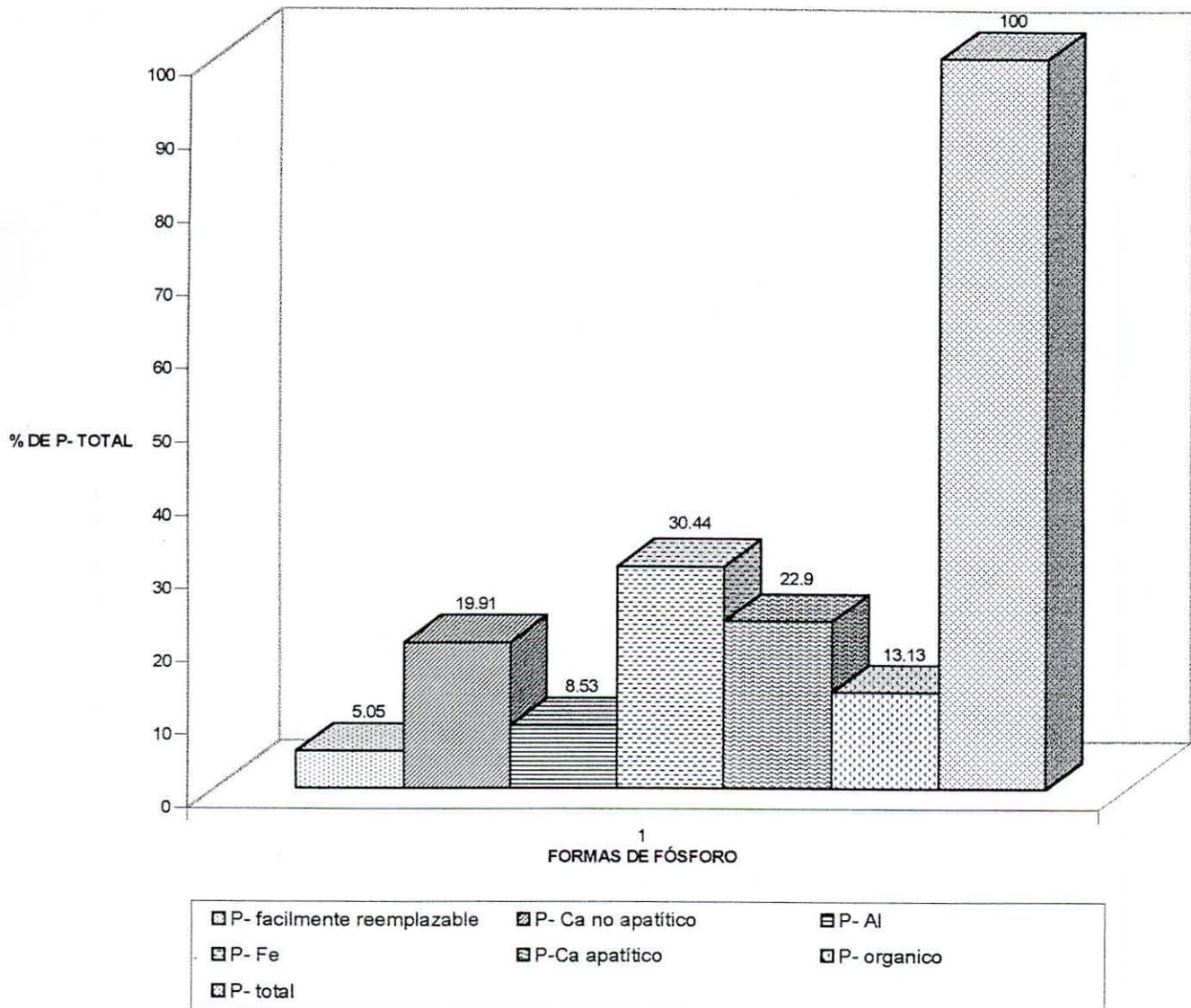


Figura 2. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

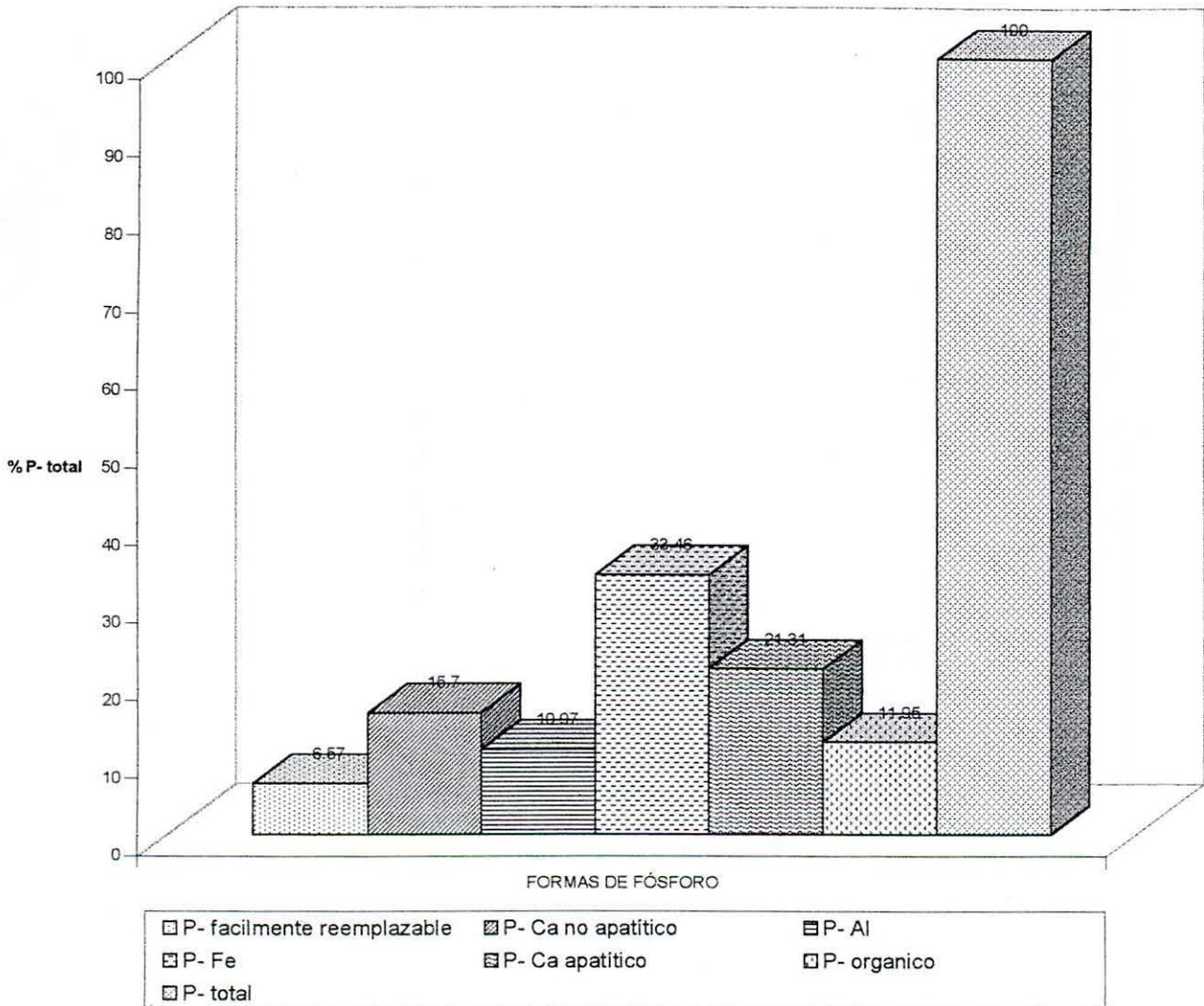


Figura 3. Distribución de las distintas formas de fósforo con base en el porcentaje del fósforo total para la zona de Tucurínca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

Tabla 3. Valores en ppm de las diferentes formas de fósforo para la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

FORMAS DE FÓSFORO	MUESTRAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P- Fácilmente Reemplazable.	25	25	18.75	35	25	25	18.75	46.25	46.25	18.75	18.75	35
P- Ca no A.	175	131.25	112.5	162.5	200	175	175.62	93.75	83.75	150.25	25	138.12
P- Al.	46.25	35	25	56.25	51.25	51.25	46.25	35	35	46.25	18.75	35
P- Fe.	125	51.25	56.25	162.5	117.5	83.75	93.75	56.25	83.75	83.75	25	100
P- Ca A.	131.25	150.25	138.12	93.75	100	300.62	200	56.25	51.25	225.62	25	117.5
P- Orgánico.	68.75	46.25	51.25	56.25	56.25	51.25	51.25	100	75	56.25	56.25	56.25
P- Total	571.25	439	401.87	566.25	550	686.87	585.62	387.5	375	580.87	168.75	481.87

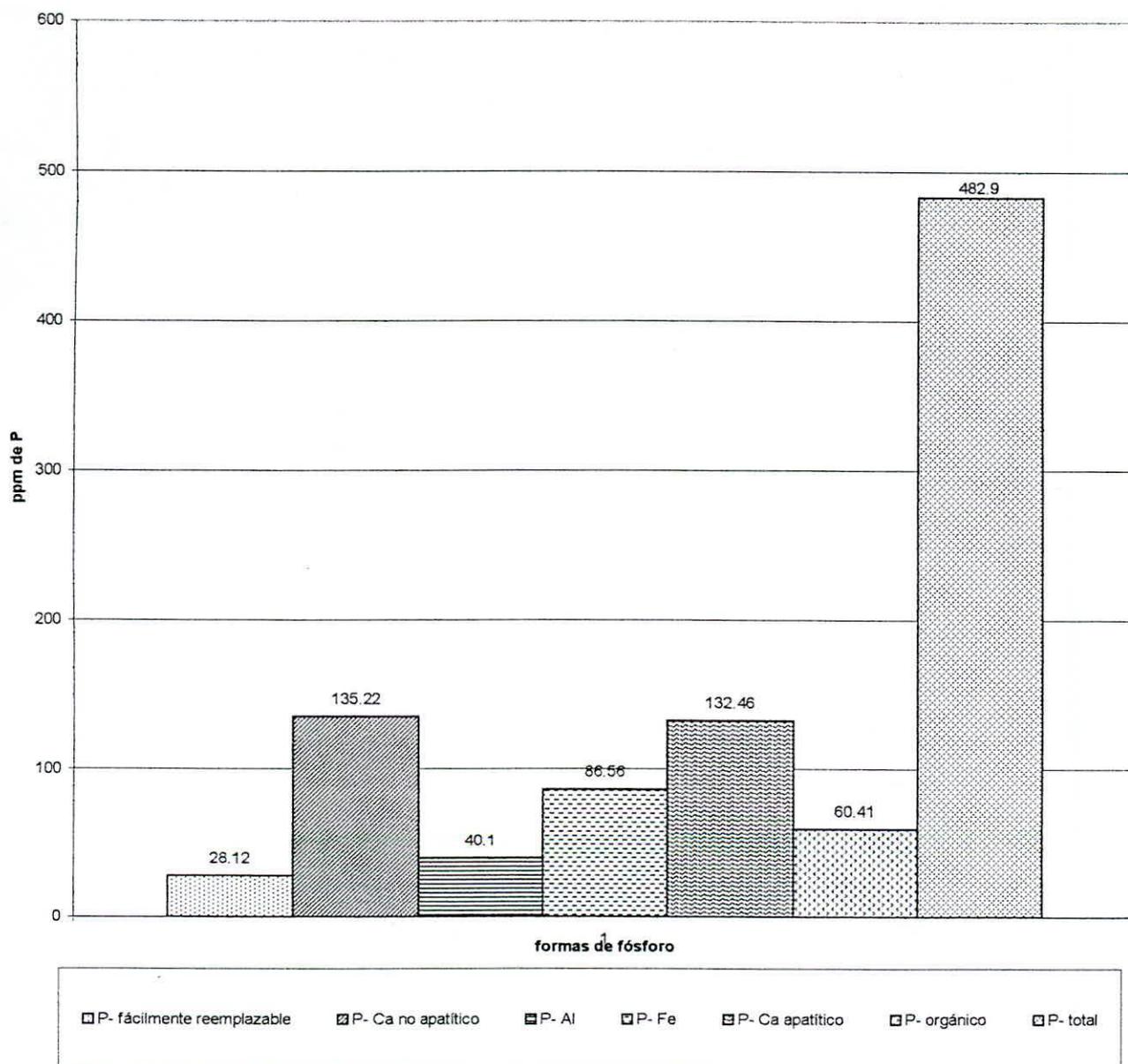


Figura 4. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Algarrobo en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

3.1.2 Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Guamachito. Para esta zona se registraron valores que van de 12.5 a 46.25 ppm (Tabla 4), mostrando un promedio de 29.95 ppm (Figura 5), estando estos valores dentro del rango hallado por Goenaga y Cabrales en la zona bananera del departamento del Magdalena, quienes registran valores de 8.71 ppm a 47.8 ppm.

Se determinó que el P- fácilmente reemplazable representa un 5.05 % del P- total (Figura 2), siendo este mayor al indicado por Goenaga y Cabrales en la zona Bananera del departamento del Magdalena, que registran un 0.33 % del P- total.

3.1.3 Fósforo fácilmente reemplazable en la zona de Tucurínca. Se anotaron valores entre 18.75 y 46.25 ppm (Tabla 5), con un promedio de 23.46 ppm (Figura 6). Estos valores están dentro del rango hallado por Suárez y Vega, en la zona Bananera, el cual se encuentra entre 2.70 y 50 ppm, pero a la vez mostrando una gran diferencia en el límite inferior, siendo el de la presente investigación más alto, de igual forma estos datos son un tanto superiores a los registrados por Tafur, el cual encontró valores de P- fácilmente reemplazable hasta 22 ppm con un promedio de 8.20 ppm, en suelos del Valle del Sinú (Córdoba).

El P- fácilmente reemplazable para esta zona representó un 6.57 % del P- total como se observa en la figura 3.

### 3.2 FÓSFORO UNIDO AL CALCIO NO APATÍTICO.

3.2.1 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Algarrobo. Los valores en esta zona oscilaron entre 25 y 200 ppm de fósforo unido al calcio no apatítico (Tabla 3), con un promedio de 135.22 ppm (Figura 4), estando estos valores muy por encima que los hallados por Suárez y Vega en la zona de Casacará (Cesar), los cuales anotan un contenido de P- Ca no apatítico de 12.5 ppm, de igual manera son superiores a los hallados por Tafur y Blasco, quienes registraron un valor de 30 ppm en suelos de Valledupar Cesar.

Como se observa en la gráfica (Figura 1), esta fracción representó el 28 % del fósforo total, siendo la más representativa en esta zona.

3.2.2 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Guamachito. Se registraron valores entre 25 y 162.5 ppm (Tabla 4), con un promedio igual a 82.46 ppm (Figura 5). Estos datos se encuentran dentro del rango obtenido por Suárez y Vega, que está entre 12,50 y 326,75 ppm, con un promedio de 133,17 ppm, en la Zona Bananera del departamento del Magdalena, estando el límite superior mucho más alto que el determinado en el presente trabajo. De igual manera los mismos autores, registraron para la zona de San Pedro de la Sierra, datos que se asemejan a los determinados en este trabajo, ya que obtuvieron trazas de P- Ca no apatítico de 128 ppm. El porcentaje representado por esta fracción fue de 19,91 % del fósforo total (Figura 2).

Tabla 4. Valores en ppm de las diferentes formas de fósforo para la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

FORMAS DE P.	MUESTRA																
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	48	49
P- Fácilmente reemp.	18.75	18.75	18.75	18.75	12.5	18.75	12.5	46.25	12.5	18.75	18.75	18.75	25	35	18.75	18.75	25
P- Ca no A.	83.75	56.25	68.75	46.25	25	100	112.5	75	117.5	56.25	56.25	68.75	138.1	162.5	131.2	35	68.75
P- Al.	46.25	46.25	35	46.25	25	25	35	46.25	35	25	35	35	35	46.25	25	25	35
P- Fe.	250	150.2	175.6	212.5	175.6	75	125	131.2	83.75	83.75	150.2	46.25	93.75	112.5	83.75	56.25	138.1
P- Ca A.	83.75	112.5	125	93.75	68.75	117.5	93.75	83.75	125	68.75	93.75	75	93.75	83.75	200	25	68.75
P- Orgánico.	75	51.25	75	68.75	75	51.25	56.25	56.25	46.25	51.25	75	56.25	35	25	46.25	35	46.25
P- Total	557.5	435.2	498.1	486.2	381.8	387.5	435	438.7	420	303.7	429	300	420.6	465	505	195	381.8

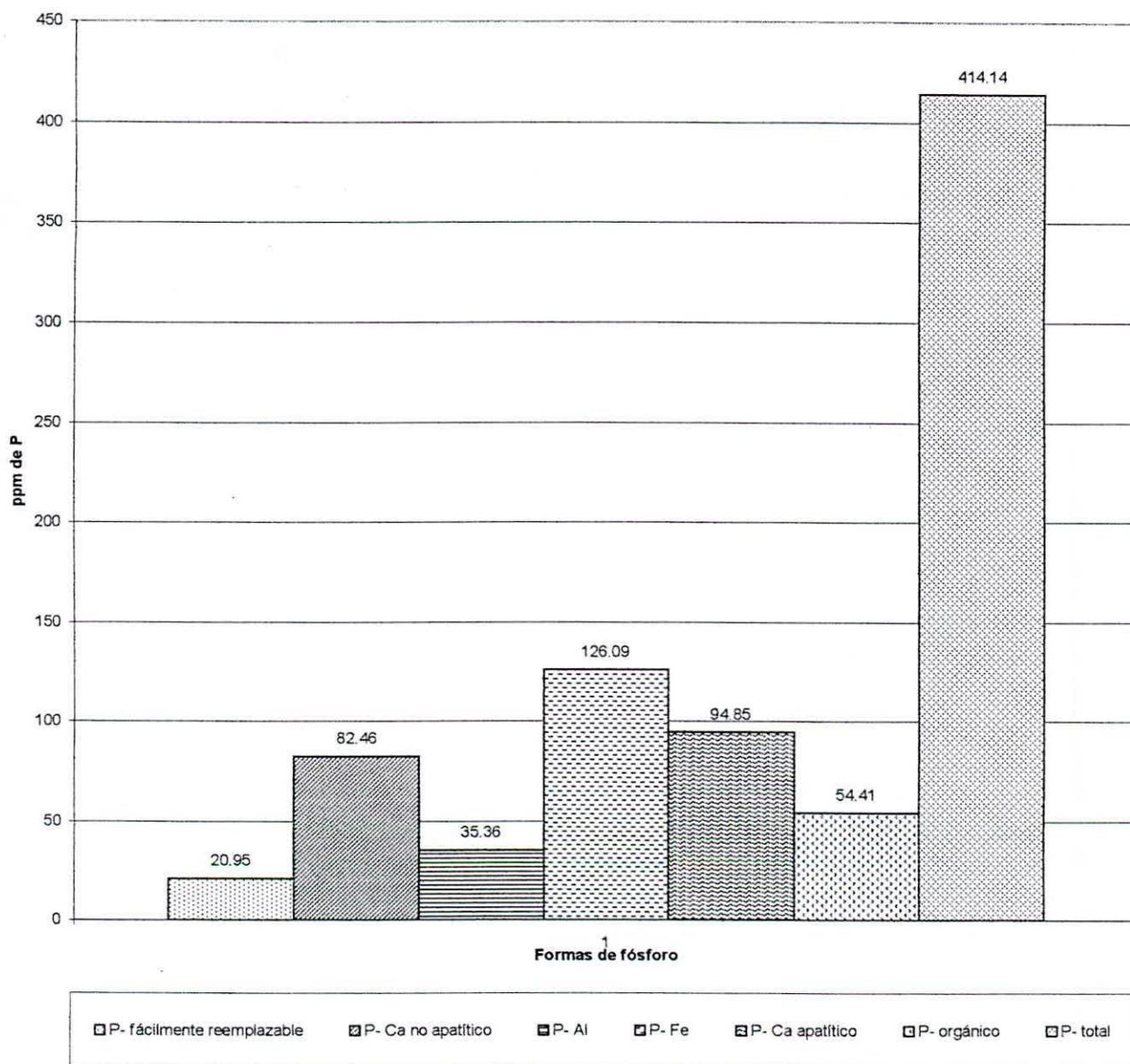


Figura 5. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Guamachito en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

Tabla 5. Valores en ppm de las diferentes formas de fósforo para la zona de Tucurinca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

FORMAS DE P	MUESTRAS																			
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
P- fácilmente R.	25	25	18.75	18.75	18.75	18.75	25	18.75	18.8	18.75	18.75	18.75	25	18.75	25	46.25	35	25	25	25
P- Ca no A.	35	25	35	18.75	17.5	138.1	100	93.75	93.8	46.25	51.25	18.75	25	18.75	46.25	212.5	68.75	25	25	25
P- Al	25	51.25	35	18.75	35	46.25	46.25	35	51.3	35	25	35	25	35	35	46.25	18.75	25	112.5	46.25
P- Fe	75	17.5	100	75	100	112.5	131.3	117.5	250	138.12	93.75	112.5	93.75	117.5	100	125	75	75	187.75	288.12
P- Ca A.	35	46.25	51.25	35	212.5	187.8	93.75	112.5	83.8	46.25	68.75	46.25	112.5	35	51.25	117.5	51.25	46.25	35	51.25
P- Orgánico	35	46.25	25	46.25	46.25	51.25	46.25	51.25	25	68.75	46.25	35	46.25	35	46.25	51.25	46.25	35	35	35
P- Total	230	211.3	265	212.5	430	554.6	442.5	428.8	523	353.12	303.7	266.3	327.5	260	303.75	598.75	295	231.25	420.25	470.62



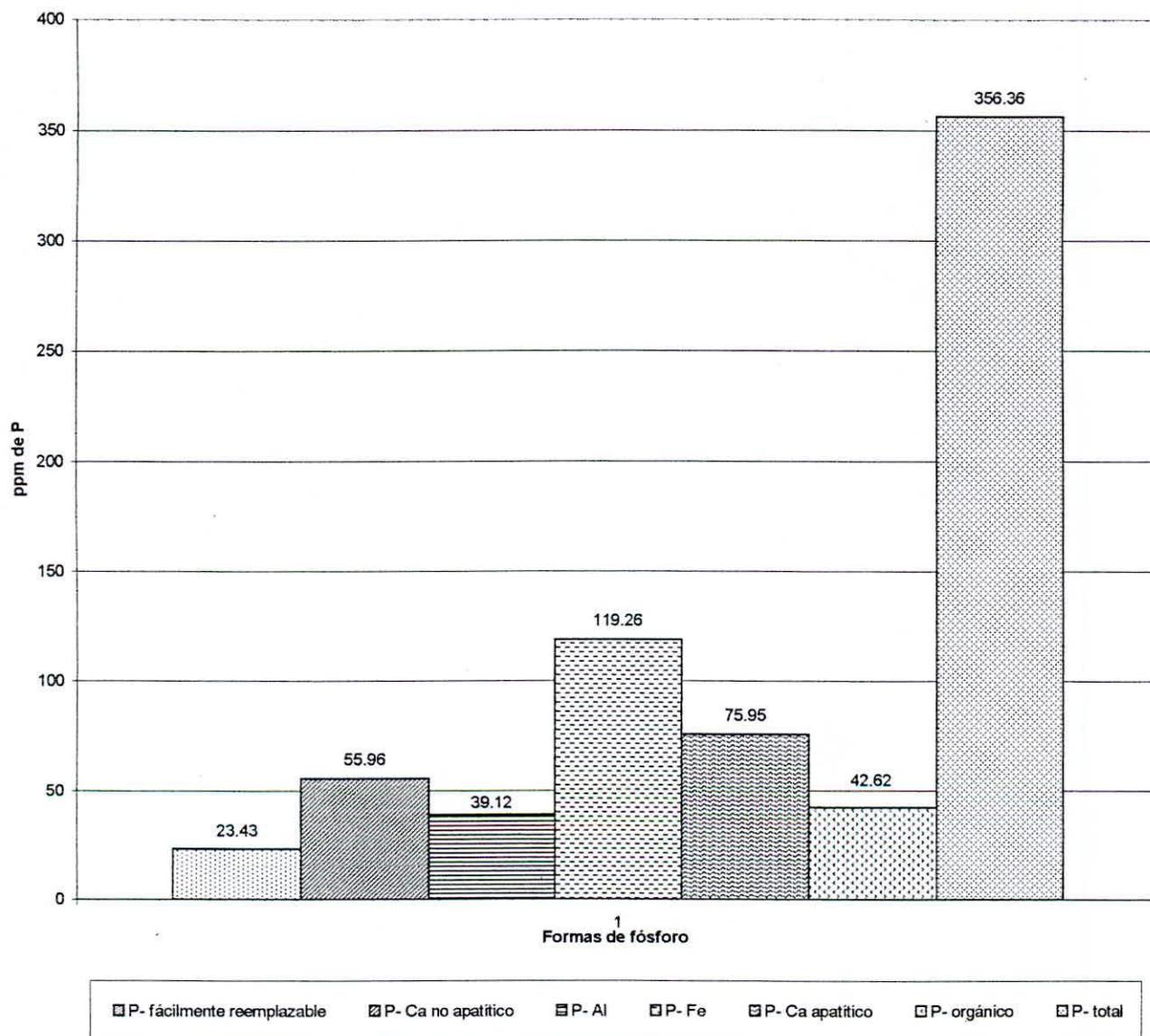


Figura 6. Histograma que muestra los datos promedio de las distintas formas de fósforo para la zona de Tucurín en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

3.2.3 Fósforo unido al calcio no apatítico en la zona de Tucurínca. Los valores oscilaron entre 17.5 y 212.5 ppm (Tabla 5), mostrando un promedio de 55,96 ppm (Figura 6), dentro de este rango se encuentran los valores obtenidos por Suárez y Vega en la zona de San Pedro de la Sierra, quienes anotan 128 ppm de fósforo unido al calcio no apatítico. El porcentaje representado por esta fracción con relación al fósforo total fue de 15,7 % ver gráfica (Figura 3).

### 3.3 FÓSFORO UNIDO AL ALUMINIO.

3.3.1 Fósforo unido al aluminio en la zona de Algarrobo. Para esta zona los valores oscilaron entre 18.75 y 56.25 ppm (Tabla 3), obteniendo un promedio de 40,1 ppm (Figura 4), el límite superior coincide con el valor anotado por Suárez y Vega en la zona de Casacará (Cesar), quienes registraron 56,25 ppm de fósforo unido al aluminio, de igual forma los valores hallados por Tafur y Blasco, se encuentran dentro de el rango determinado en este trabajo. Esta fracción representó un 8.3 % de el fósforo total para esta zona (Figura 1).

3.3.2 Fósforo unido al aluminio en la zona de Guamachito. En la zona de Guamachito el P- Al, osciló entre 25 y 46.25 ppm (Tabla 4), obteniendo un promedio de 35,36 ppm (Figura 5), siendo estos datos inferiores a los hallados por Suárez y Vega, en estudios realizados en al zona Bananera del Magdalena, quienes

anotan trazas de P- Al de 50 a 276.87 ppm y un promedio de 128,23 ppm. Para esta zona el P- Al representó un 8,53 % con relación al P- total (Figura 2).

3.3.3 Fósforo unido al aluminio en la zona de Tucurínca. Se observaron cantidades de esta fracción entre 18,75 y 112,5 ppm (Tabla 5), mostrando un promedio de 39.12 ppm (Figura 6). En la zona Bananera del departamento del Magdalena se registraron valores algo similares por Goenaga y Cabrales, que anotan cantidades de 43,6 a 128,4 ppm.

El fósforo unido al aluminio representa un 10,97 % en relación al fósforo total para esta zona (Figura 3).

#### 3.4 FÓSFORO UNIDO AL HIERRO.

3.4.1 Fósforo unido al hierro en la zona de Algarrobo. Los datos obtenidos para el P- Fe en esta zona oscilaron entre 25 y 162,5 ppm (Tabla 3); mostrando un promedio de 86,56 ppm (Figura 4), resultados que son similares a los obtenidos por Suárez y Vega, en la zona de Casacará (Cesar), quien obtuvo trazas de esta fracción de 50 ppm, que represento 1,70 % del P- total.

3.4.2 Fósforo unido al hierro en la zona de Guamachito. En esta zona se hallaron valores que van de 46,25 ppm a 250 ppm de P- Fe (Tabla 4), representando un 30,44 % del fósforo total (Figura 2), siendo esta la fracción más importante para



esta zona, lo cual posiblemente se deba a que los pH registrados son ligeramente ácidos, estando de acuerdo con Fassbender, quien sostiene que la distribución de los fosfatos inorgánicos se ve influenciada por las condiciones del pH del suelo, así en relaciones neutras o alcalinas predominan los fosfatos cálcicos y en condiciones ácidas predominan los fosfatos de aluminio y hierro.

3.4.3 Fósforo unido al hierro en la zona de Tucurínca. Para esta zona el P- Fe osciló de 17,5 a 288,42 ppm (Tabla 5), observando un promedio de 111,26 ppm (Figura 6), datos que tienen similitud con los encontrados por Suárez y Vega, en estudios realizados en la zona Bananera del departamento del Magdalena, donde hallaron valores entre 12,5 ppm y 275 ppm, con un promedio de 75,21 ppm.

Esta fracción representó un 33,46 % del P- total para esta zona (Figura 3), de igual manera que en la zona anterior, esta fue la fracción más representativa y posiblemente también se deba a la influencia de la reacción del suelo, puesto que los pH en esta son medianamente ácidos.

### 3.5 FÓSFORO UNIDO AL CALCIO APATÍTICO.

3.5.1 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Algarrobo. Se determinó un promedio de 132,46 ppm de P- Ca apatítico (Figura 4), con valores que van de 25 a 300,62 ppm (Tabla 3), estando dentro de este rango los valores registrados por

Suárez y Vega en la zona de Villanueva (Guajira), quienes obtuvieron trazas de 275 ppm de P- Ca apatítico, de igual manera están en este rango los valores registrados por los mismos autores en la zona de Casacará (Cesar), que anotaron datos de 100 ppm de P- Ca apatítico. Para esta zona el P- Ca apatítico equivale al 27,43 % de P- total ver figura 1.

3.5.2 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Guamachito. Se observaron valores de 25 y 200 ppm de P- Ca apatítico (Tabla 4); mostrando algo de relación con datos obtenidos por Goenaga y Cabrales, en la zona Bananera del departamento del Magdalena, pero a la vez hay diferencias notables ya que ellos registraron cantidades de 9,33 ppm hasta 101,6 ppm , observando como hay una amplia diferencia en el límite superior de ambos datos.

Se determinó un promedio de 94.85 ppm de P- Ca apatítico (Figura 5), representando este un 22,9%, del fósforo total como se observa en la gráfica (Figura 2).

3.5.3 Fósforo unido al calcio apatítico en la zona de Tucurínca. Para esta zona el P- Ca apatítico fluctuó entre 35 ppm y 212,5 ppm (Tabla 5), obteniendo un promedio de 75,95 ppm (Figura 6), siendo estos valores cercanos a los hallados por Suárez y Vega, en la zona Bananera en el departamento del Magdalena, quienes registraron datos de 100 a 700 ppm.

La fracción de P- Ca apatítico representa un 21,31 % de P- total en la zona de Tucurinca (Figura 3).

### 3.6 FÓSFORO ORGÁNICO.

3.6.1 Fósforo orgánico en la zona de Algarrobo. Como se observa en el cuadro (Tabla 3), se determinaron valores entre 46,25 y 100 ppm de fósforo orgánico, obteniendo un promedio de 60,41 ppm (Figura 4), que representó el 12,5 % del fósforo total (Figura 1), siendo estos valores superiores a los registrados por Suárez y Vega, en estudios realizados en diferentes cultivos de la Costa Atlántica, quienes anotan valores que van de 6,25 a 50 ppm de P- orgánico.

3.6.2 Fósforo orgánico en la zona de Guamachito. Se determinó para esta zona valores de 25 a 75 ppm de P- orgánico (Tabla 4), mostrando un promedio de 54,41 ppm (Figura 5), datos que son bastante inferiores a los anotados por Goenaga y Cabrales, para la zona Bananera del Magdalena quienes encontraron tazas de P- orgánico que oscilaron entre 113,6 y 271,61 ppm, con un promedio de 203,3 ppm.

Esta fracción representa un 13,13 % del fósforo total para esta zona (figura 2).

3.6.3 Fósforo orgánico en la zona de Tucurínca. Se hallaron datos que oscilaron entre 25 y 68,95 ppm de fósforo orgánico para esta zona (Tabla 5), con un promedio de 42,62 ppm (Figura 6), valores que representaron un 11,95 % del fósforo total (Figura 3), resultados que son muy inferiores a los anotados por Tafur en suelos del Valle del Sinú, quien anota valores de 720 ppm de fósforo orgánico.

### 3.7 FÓSFORO TOTAL.

3.7.1 Fósforo total en la zona de Algarrobo. Los valores hallados de P- total para la zona de algarrobo oscilaron entre 168,75 y 686,87 ppm (Tabla 3), mostrando un promedio de 482,9 ppm (Figura 4), datos que están bastante por debajo a los registrados por Suárez y Vega, en la zona de Casacará (Cesar), donde se obtuvo un valor de 2940 ppm; de igual manera estos datos son inferiores a los anotados por Tafur, quien determinó un contenido de 1153,6 ppm en estudios realizados en el Valle del Sinú (Córdoba); pero los resultados hallados en el presente trabajo son cercanos a los obtenidos por Alí y Gómez, quienes registran un contenido de 50 ppm a 150 ppm en suelos de San Javier, también se asemejan a los hallados por Tafur y Blasco, en suelos de Valledupar (Cesar), donde encontraron datos entre 326,36 a 414,56 ppm.

3.7.2 Fósforo total en la zona de Guamachito. En esta zona se determinaron valores que van de 195 a 557,5 ppm de P- total (Tabla 4), teniendo un promedio de 414,14 ppm (Figura 5), resultados que difieren de los obtenidos por Goenaga y

Cabrales, en la zona Bananera del departamento del Magdalena, donde se registraron datos entre 1266,66 y 3030 ppm de P- total. Estos valores aquí registrados se encuentran dentro del rango hallado por Fassbender, quien obtuvo datos de P- total entre 20 y 3000 ppm. De igual manera se encuentran cubiertos por el rango establecido por Benavides, para la mayoría de suelos minerales, quien sostiene que el contenido del fósforo total va de 100 a 5000 ppm.

3.7.3 Fósforo total en la zona de Tucurínca. Como se muestra en el cuadro (Tabla 5), para esta zona se obtuvieron valores de P- total entre 211,25 y 598,75 ppm, resultados que son muy inferiores a los encontrados por Suárez y Vega, en la zona Bananera del departamento del Magdalena, quienes registran valores de P- total de 1019 ppm a 3945 ppm.

El promedio hallado para el fósforo total en la zona de Tucurínca fue de 356,36 ppm (Figura 6), el cual es inferior al obtenido por Torres y Arrieta, quien halló un promedio de 1047 ppm en suelos aluviales del departamento del Atlántico.

Los valores del pH para la zona de Algarrobo, oscilaron entre 5,45 y 7,33 (Tabla 6), para un promedio de 6,33 que es ligeramente ácido, en la zona de Guamachito se encontraron datos de pH que van de 5,24 a 7 (Tabla 7), con un promedio de 6,17 siendo ligeramente ácido y para la zona de Tucurínca se hallaron valores que están entre 4,91 y 6,79 (Tabla 8), con un promedio de 5,67 que es medianamente ácido. En cuanto a la materia orgánica para la zona de Algarrobo se registraron

valores de 0,72 % a 3,05 % (Tabla 6), entre 0,98 % y 2,48 % para la zona de Guamachito (Tabla 7) y en la zona de Tucurinca se encontraron valores que oscilaron entre 0,56 % y 3,46 % (Tabla 8), en general para todas las zonas predominan suelos bajos en materia orgánica ósea menores del 2 % de M. O.

En cuanto a las relaciones entre las diferentes formas de fósforo entre sí, así como con los valores de pH, que se pueden observar de la figura 7 a la figura 26.

De acuerdo a lo anterior son significativas estadísticamente al 1 % las correlaciones entre P- total y P- unido al Ca no apatítico ( $r=0,7746^{**}$ ), P- total y P- unido al Ca apatítico ( $r=0,7323^{**}$ ), P- total y P- unido al Al ( $r=0,4792^{**}$ ), P- total y P- unido al Fe ( $0,4504^{**}$ ), pH y P- fácilmente reemplazable ( $r=0,5099^{**}$ ), pH y P- unido al Ca no apatítico ( $0,4102^{**}$ ), y P- unido al Al y P- unido al Fe ( $r=0,4455^{**}$ ). Solo es significativa estadísticamente al 5 % la correlación entre el pH y el fósforo orgánico ( $r=0,3183^{*}$ ).

Como se puede observar en los análisis de varianza de regresión (tabla 9 a tabla 28), las regresiones significativas estadísticamente son las de P- total y P- unido al Ca no apatítico, P- total y P- unido al Ca apatítico, P- total y P- unido al Al, P- total y P- unido al Fe, pH y P- fácilmente reemplazable, pH y P- unido al Ca no apatítico, P- unido al Al y P- unido al Fe. Se determinó una sola regresión con significancia estadística al 5 % que fue entre el pH y P- orgánico.

Tabla 6. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Algarrobo, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

	MUESTRAS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Textura	FArA	FA	FA	FArA	FArA	FArL	FA	FA	FA	FA	AF	FArA
PH	5.7	6.31	6.29	7.33	6.28	5.92	5.91	6.89	6.93	5.45	5.72	7.26
M.O.	1.6	0.72	0.82	2.01	1.91	1.24	1.18	2.89	3,05	1.91	0.82	1.65

Tabla 7. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Guamachito, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

	MUESTRAS																
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	48	49
Textura	ArA	FArL	ArA	ArA	Far	FArA	FarA	FArA	FArA	FArA	FArA	FA	ArL	FArA	FArA	AF	ArL
PH	6.17	6.11	6.25	5.97	5.34	6.06	5.97	6.42	6.53	6.52	6.13	7	6.28	6.44	6.16	5.24	6.21
M.O.	1.81	1.49	1.6	1.6	2.01	0.98	1.39	1.96	1.13	1.29	2.48	1.49	1.34	1.29	2.12	0.67	1.91

Tabla 8. Muestra los valores del pH, materia orgánica y la textura diferentes muestras en la zona de Tucurinca, en el estudio de la determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

	MUESTRAS																			
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Textura	ArA	FArA	FA	ArL	FA	FA	FArA	FArA	Far	F	FArA	ArL	AF	Far	FArA	FA	FArA	FArA	ArL	ArL
Ph	5.06	4.91	5.45	5	5.78	5.77	5.72	5.44	5.3	5.46	5.74	5.59	5.6	5.51	6.14	6.44	6.73	6.79	5.64	5.37
M.O.	1.55	3.46	0.72	0.56	1.65	1.29	1.24	1.44	1.49	1.96	1.34	1.7	1.03	1.49	1.6	2.89	1.65	1.24	1.6	1.86

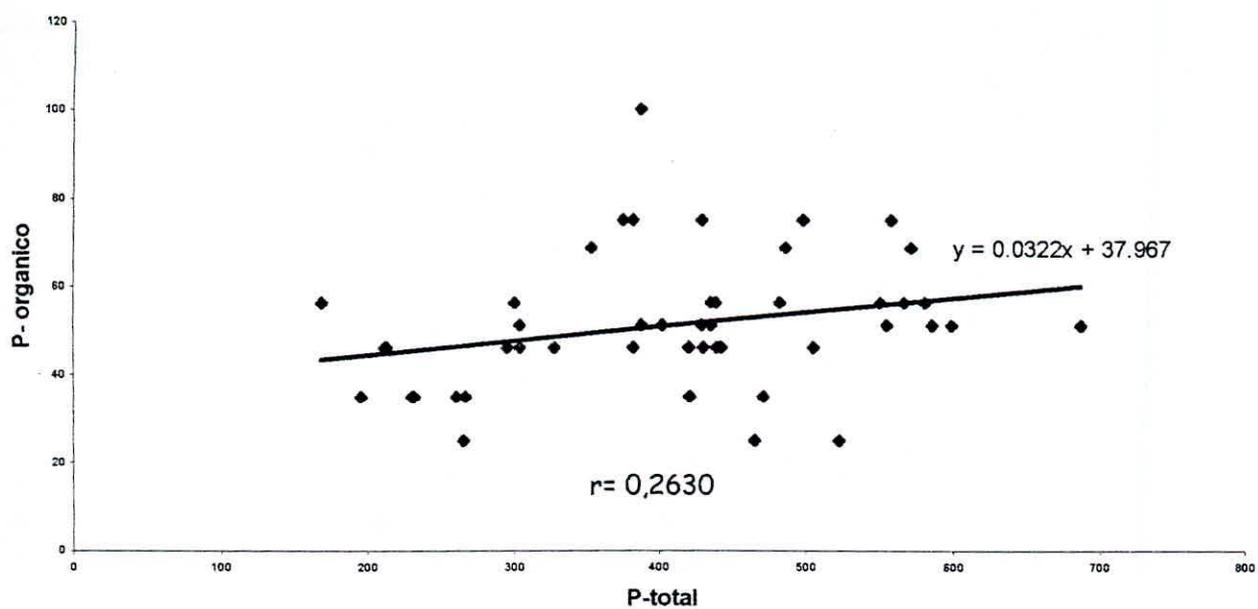


Figura 7. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

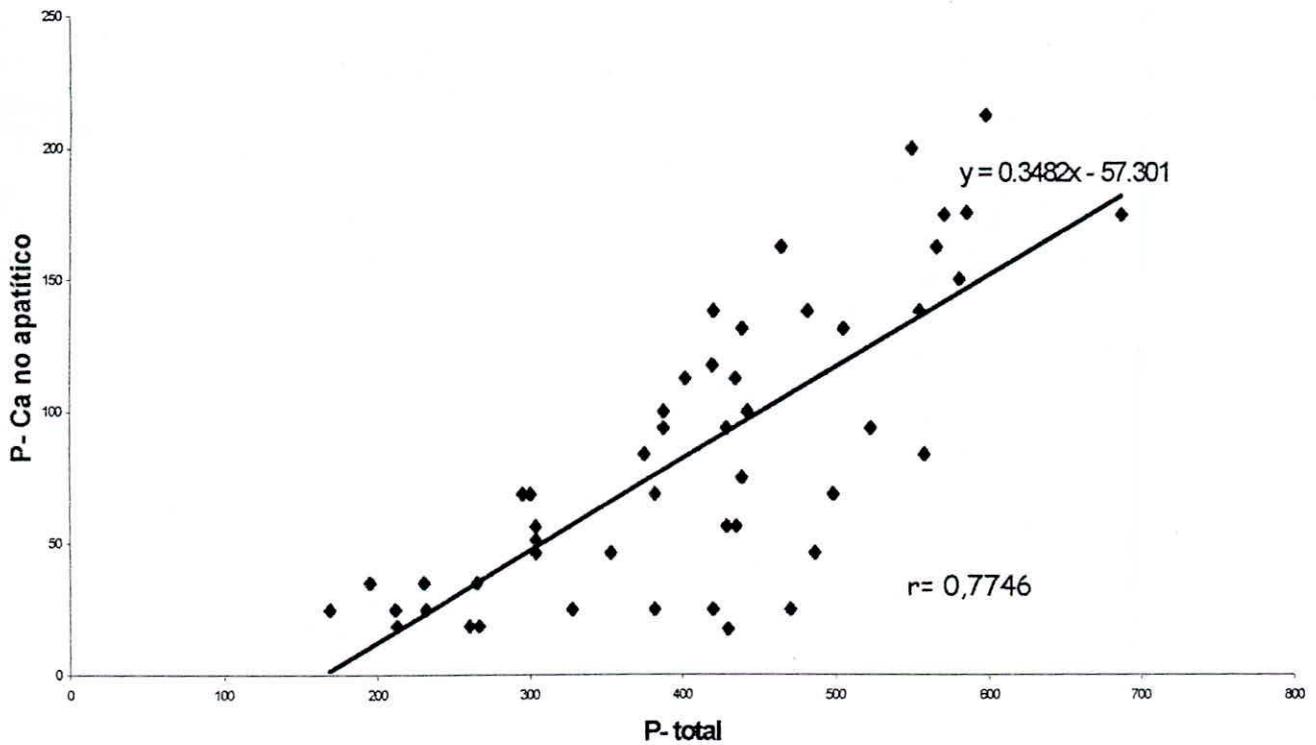


Figura 8. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.



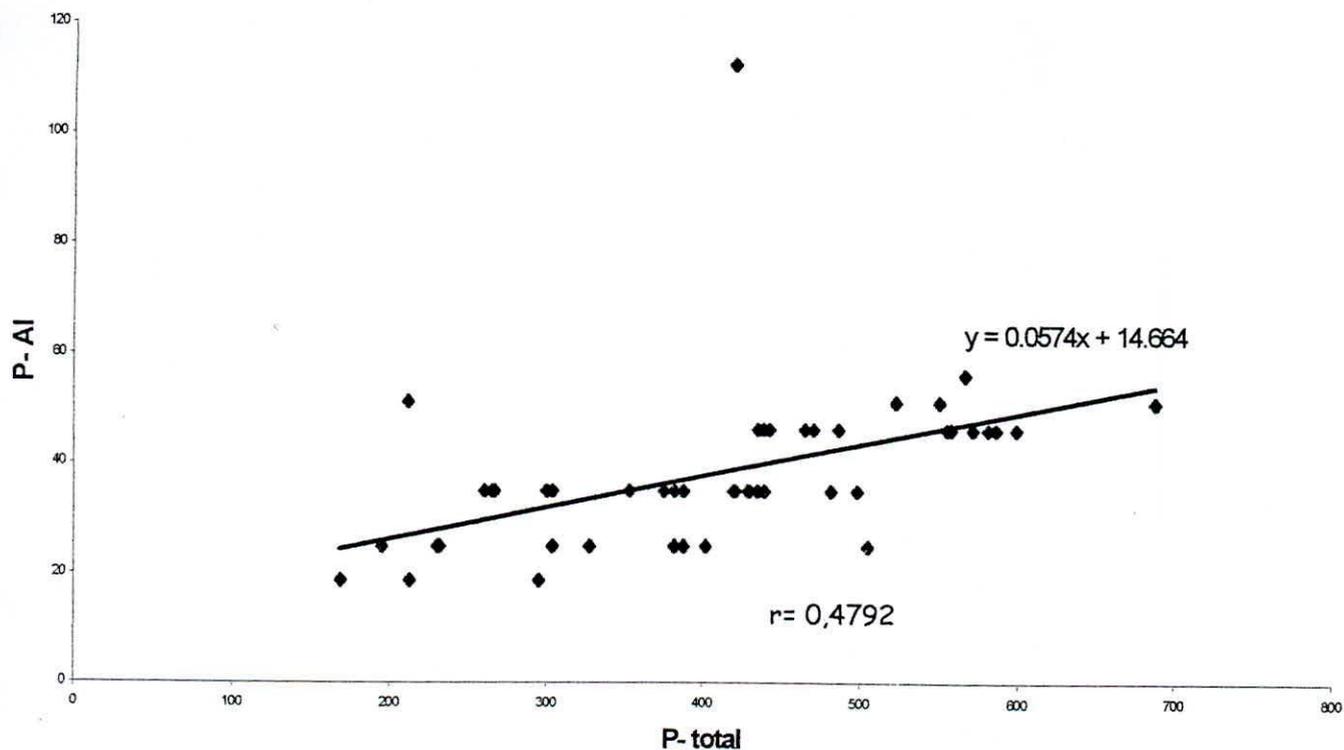


Figura 10. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al aluminio, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

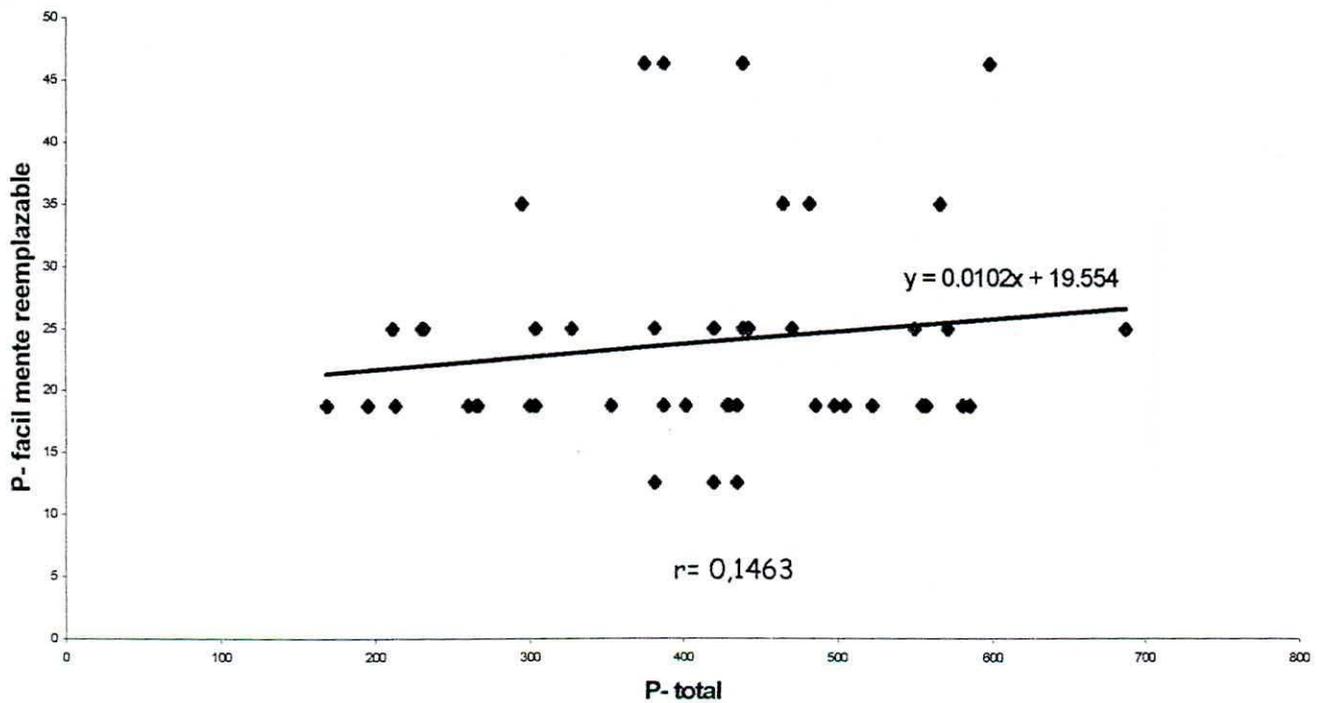


Figura 11 Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

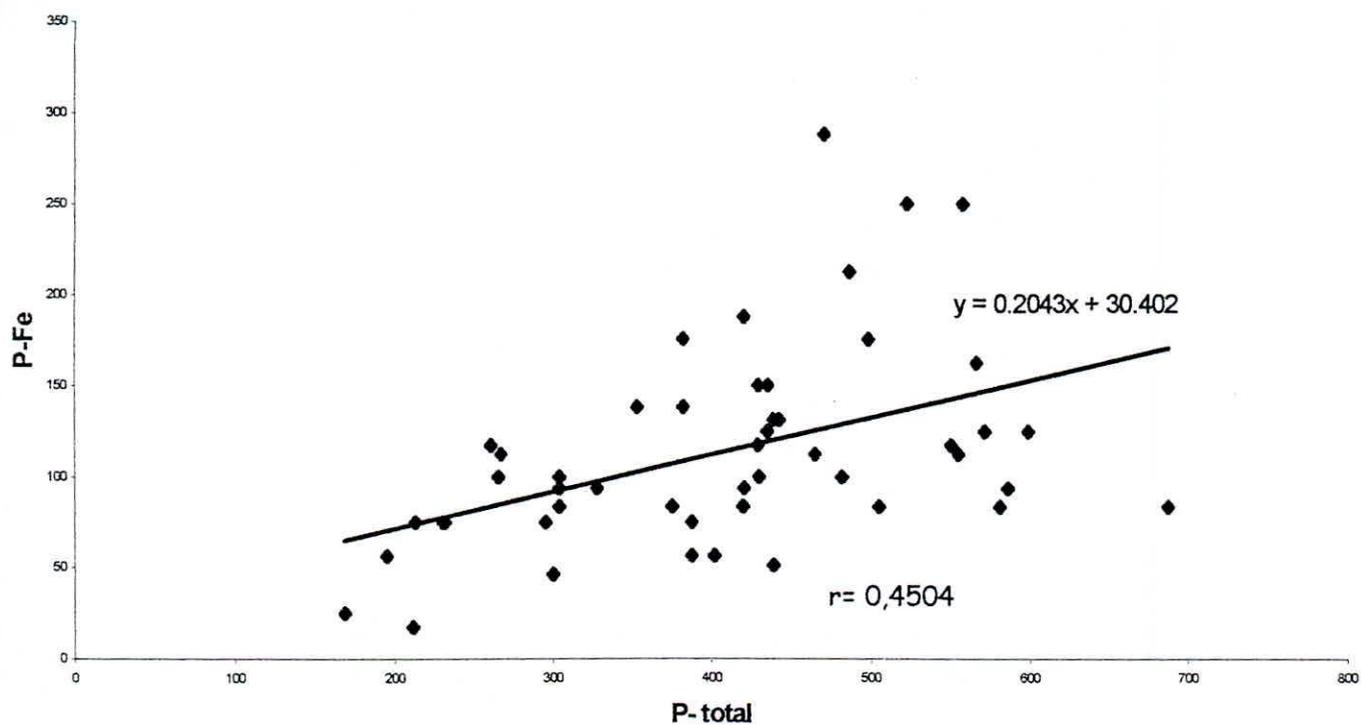


Figura 12. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y fósforo unido al hierro, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

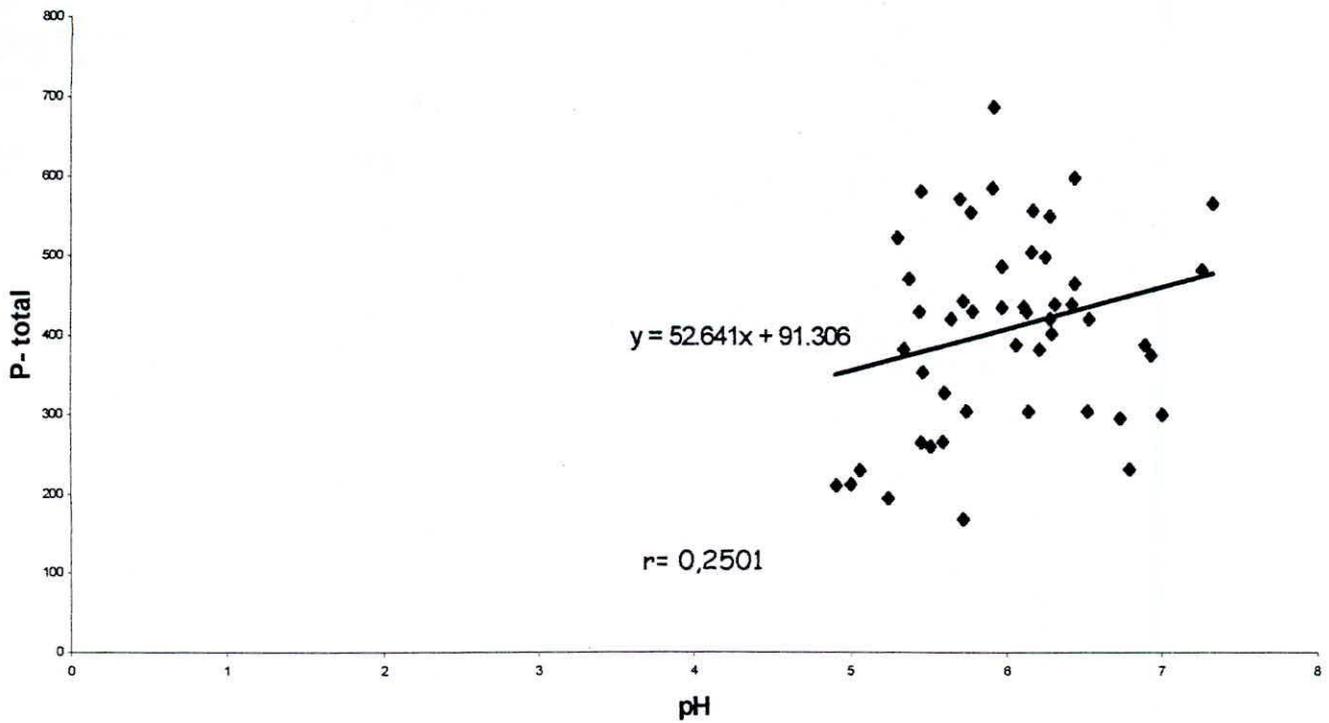


Figura 13. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo total y pH, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

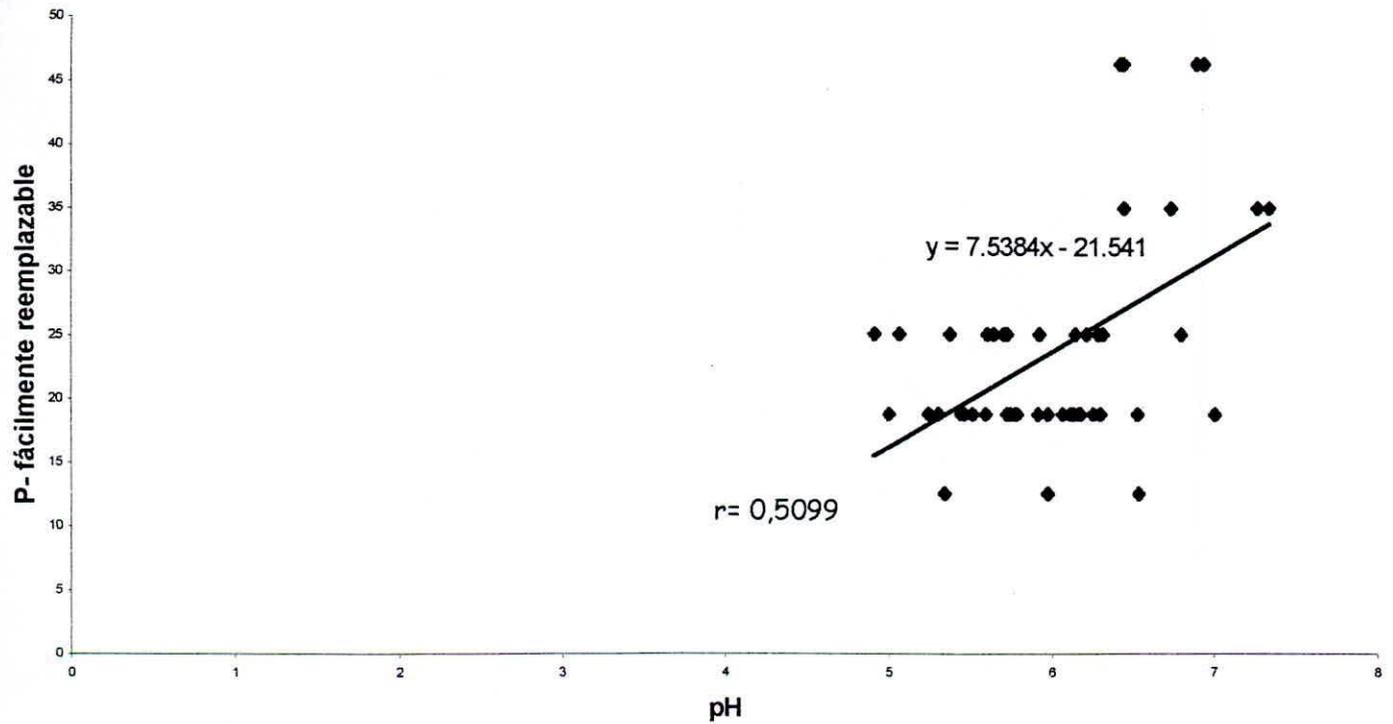


Figura 14. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

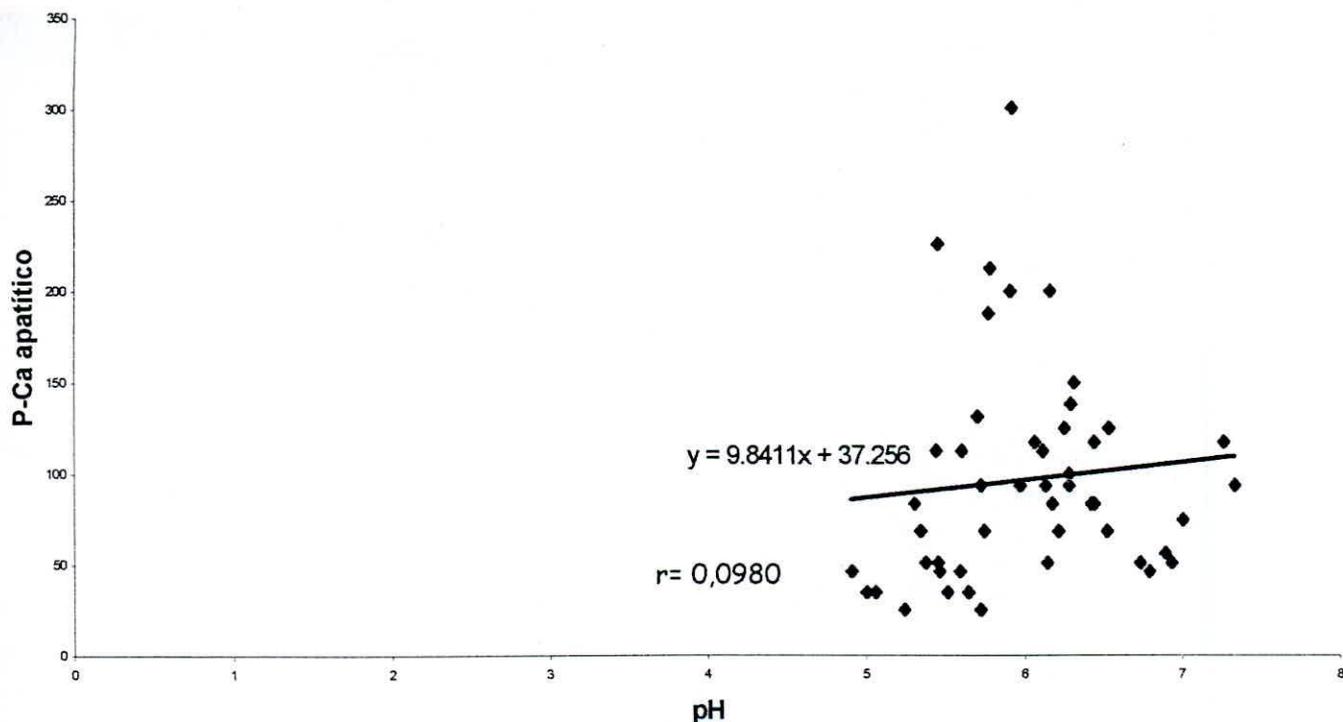


Figura 15. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.



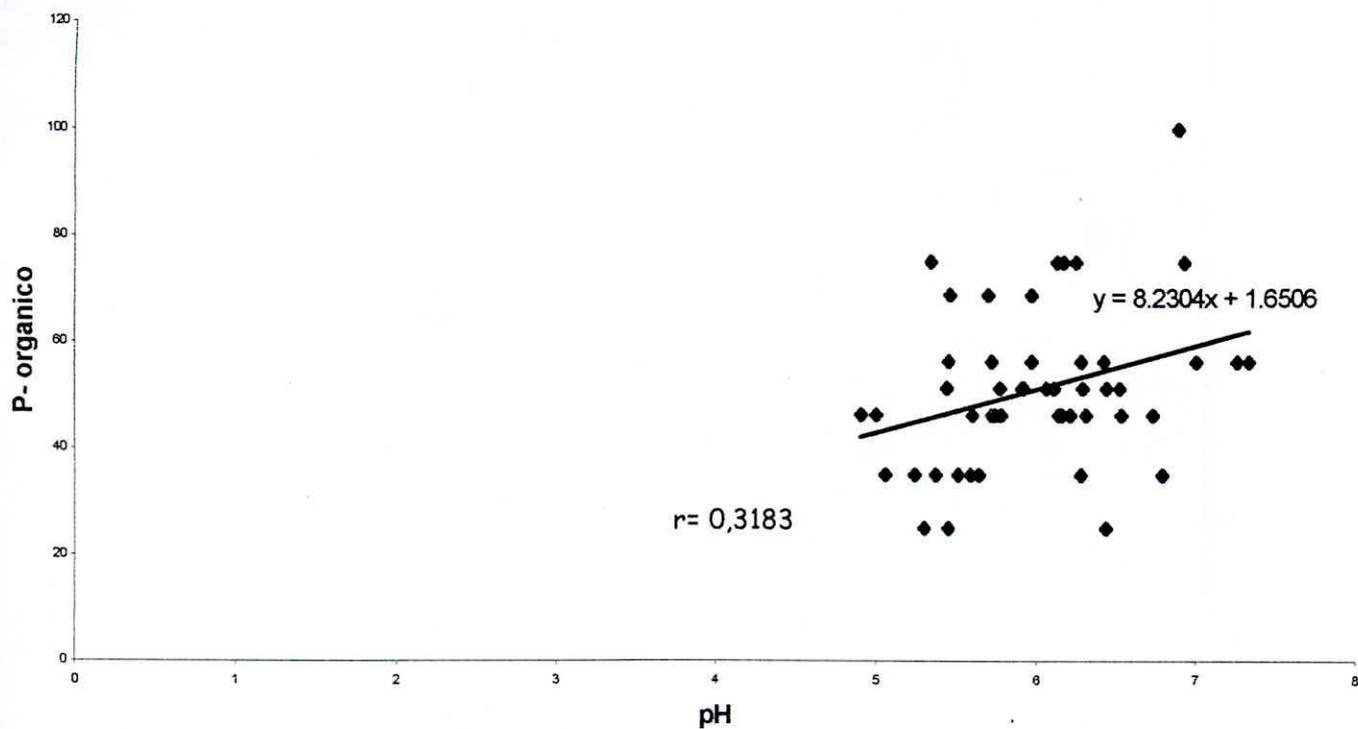


Figura 16. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo orgánico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

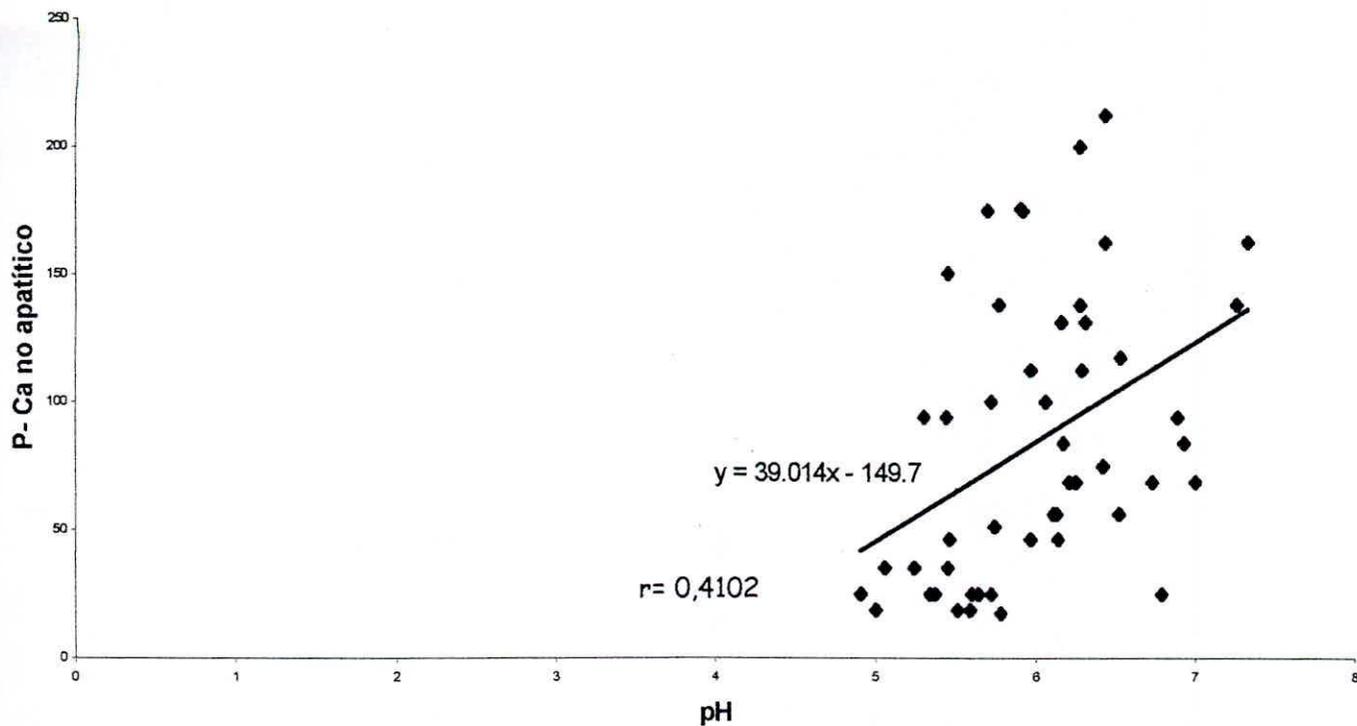


Figura 17. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el pH y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

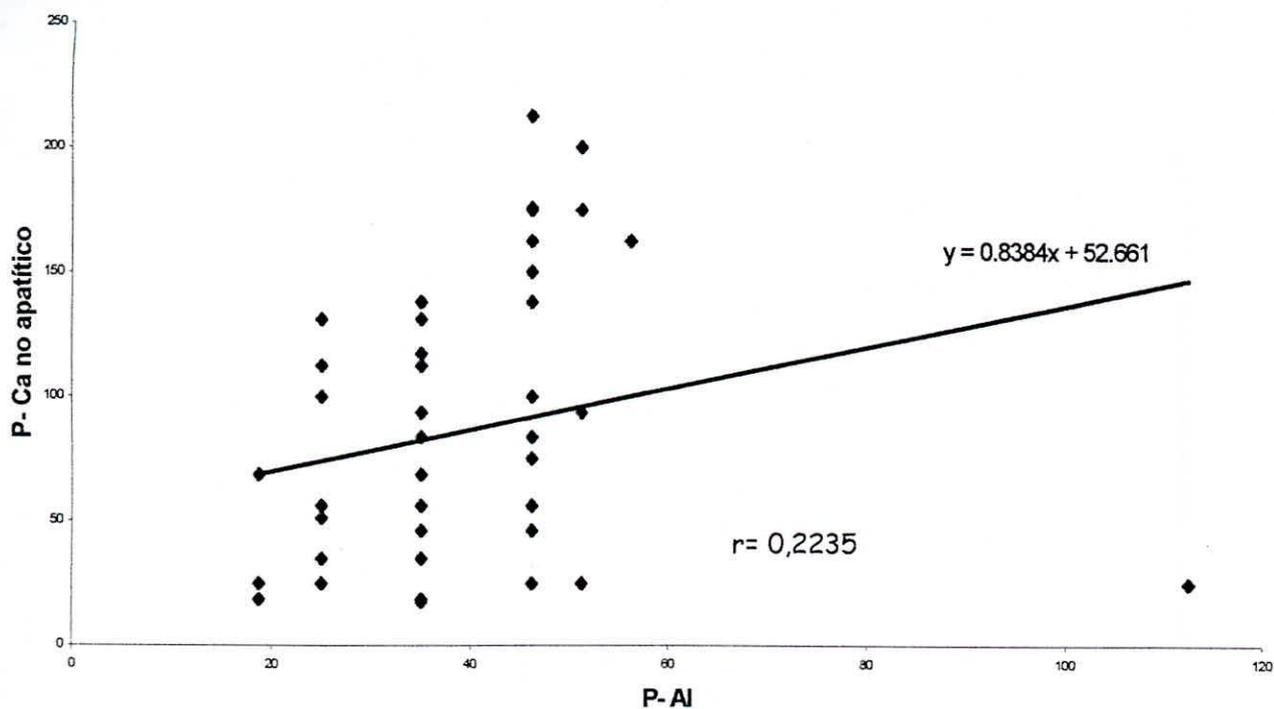


Figura 18. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

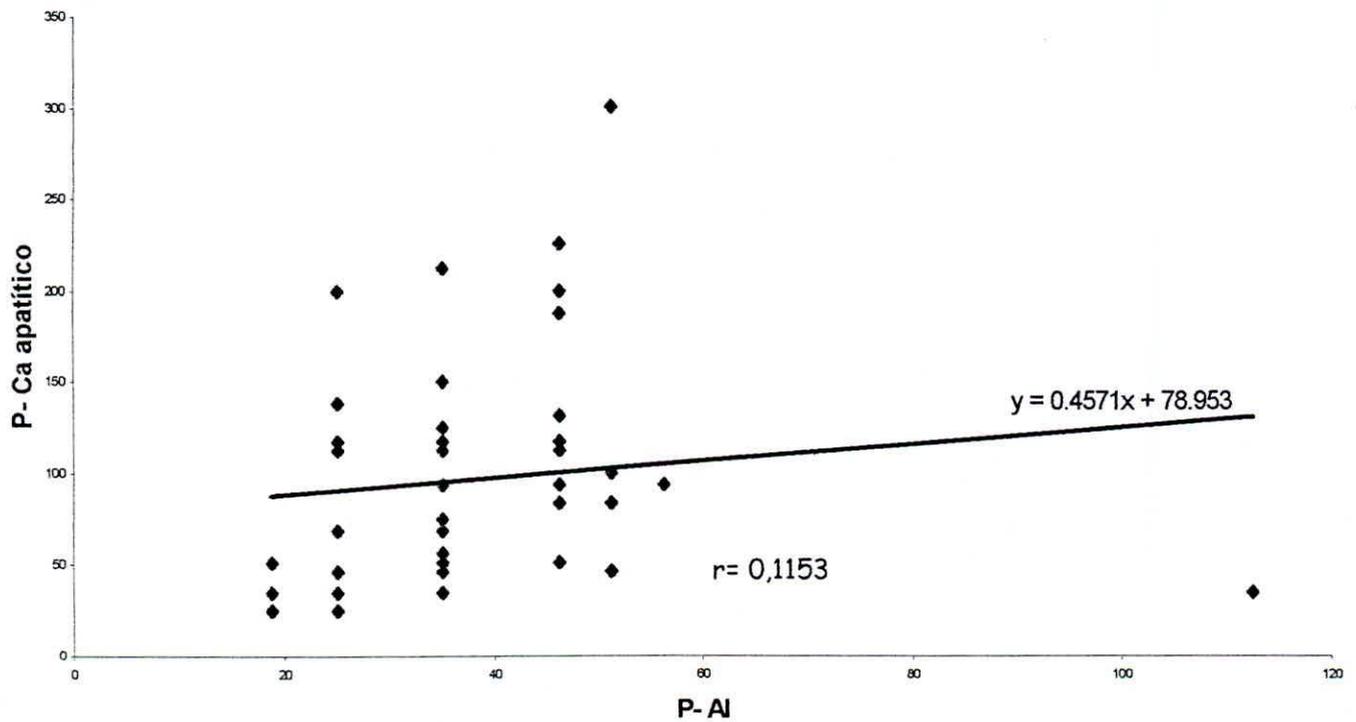


Figura 19. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

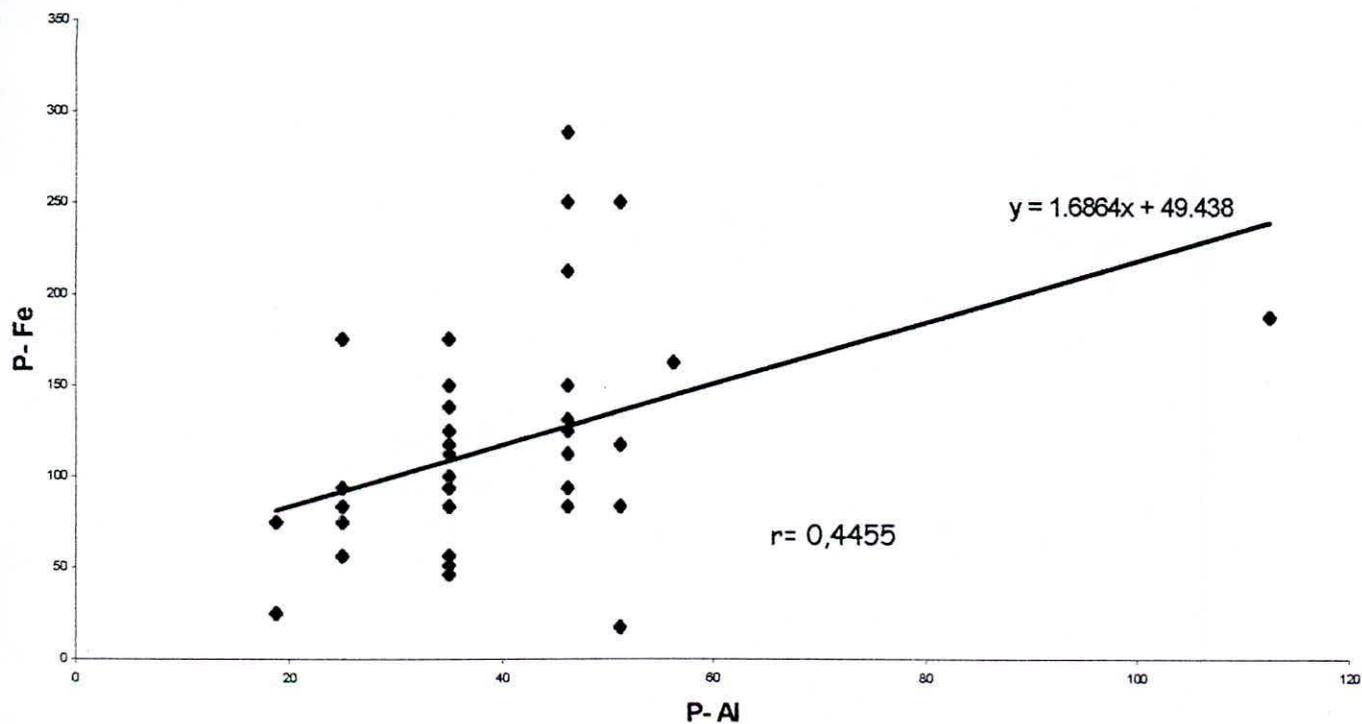


Figura 20. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo unido al hierro, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

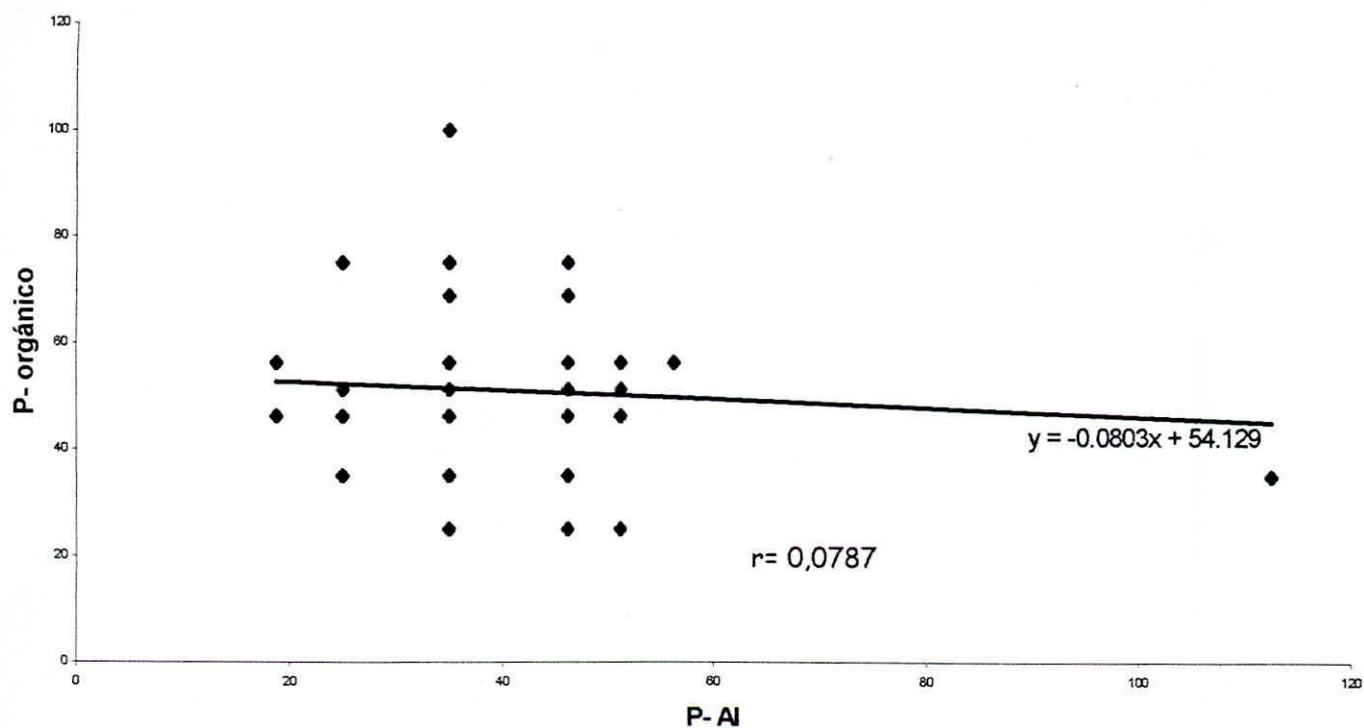


Figura 21. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al aluminio y fósforo orgánico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

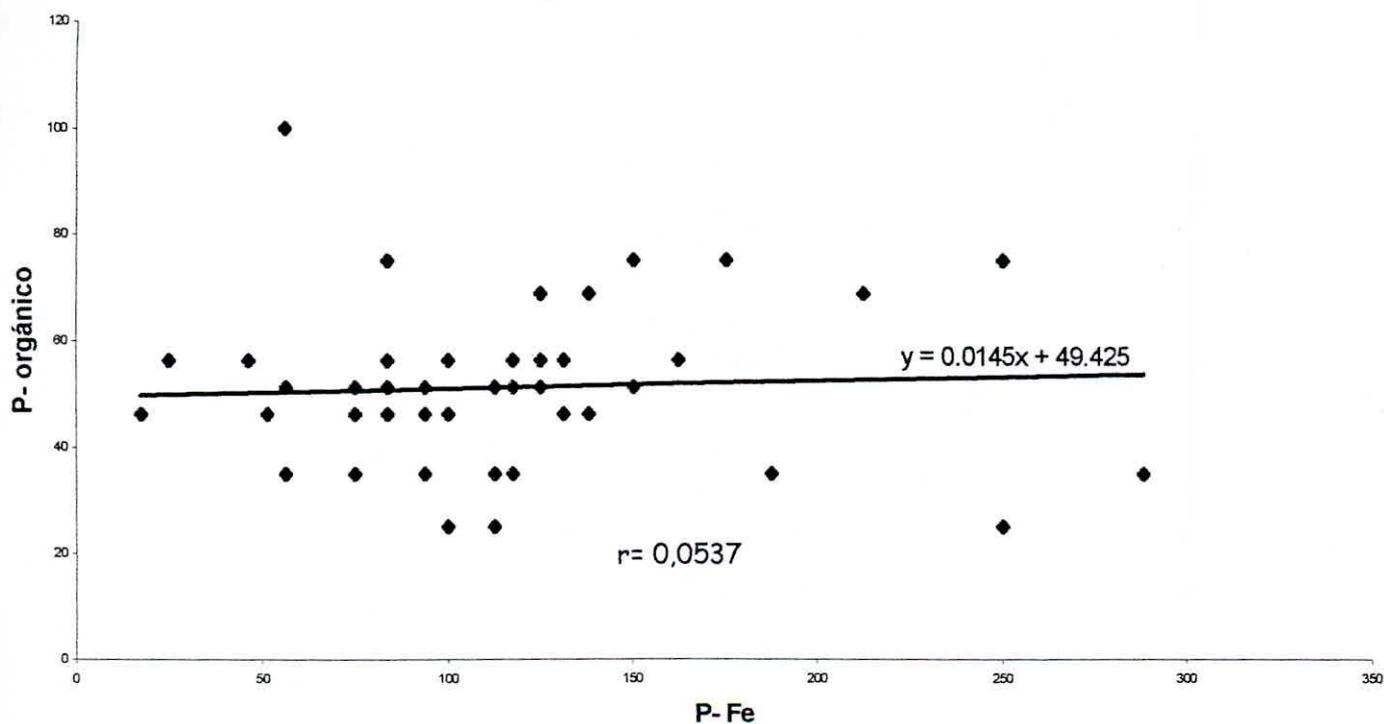


Figura 22. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo orgánico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

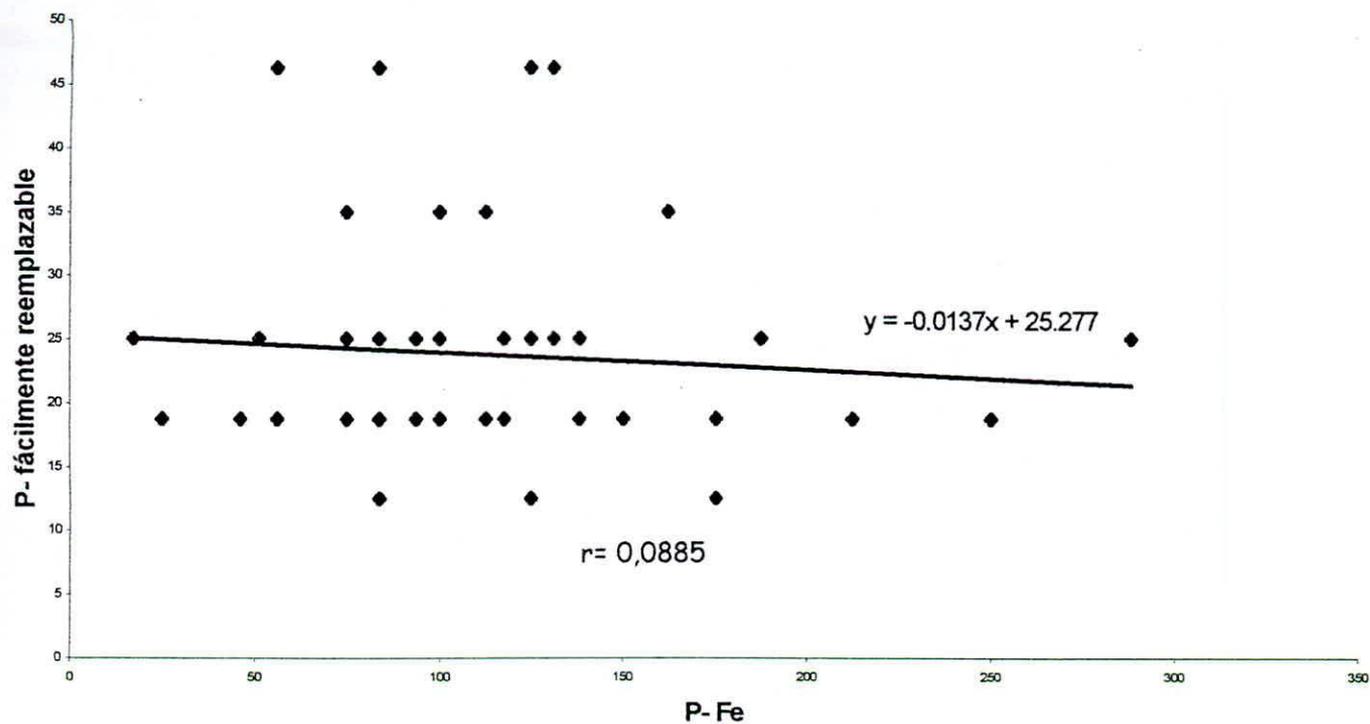


Figura 23. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo fácilmente reemplazable, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

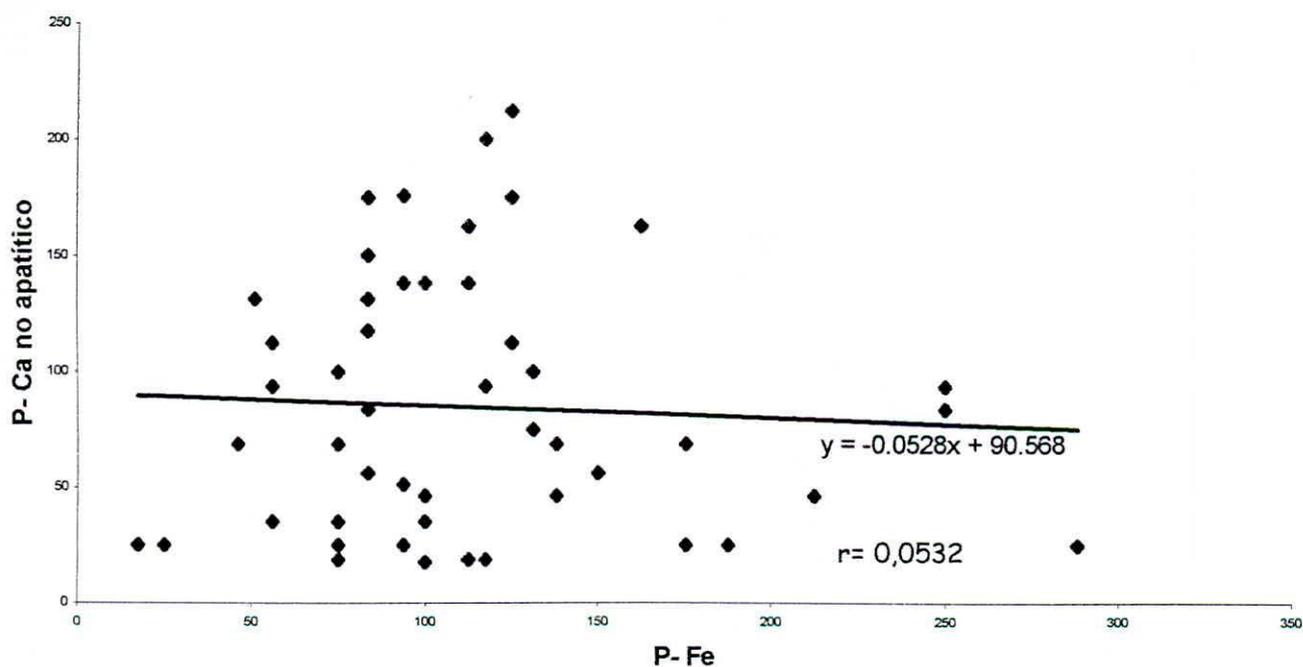


Figura 24. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo unido al calcio no apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

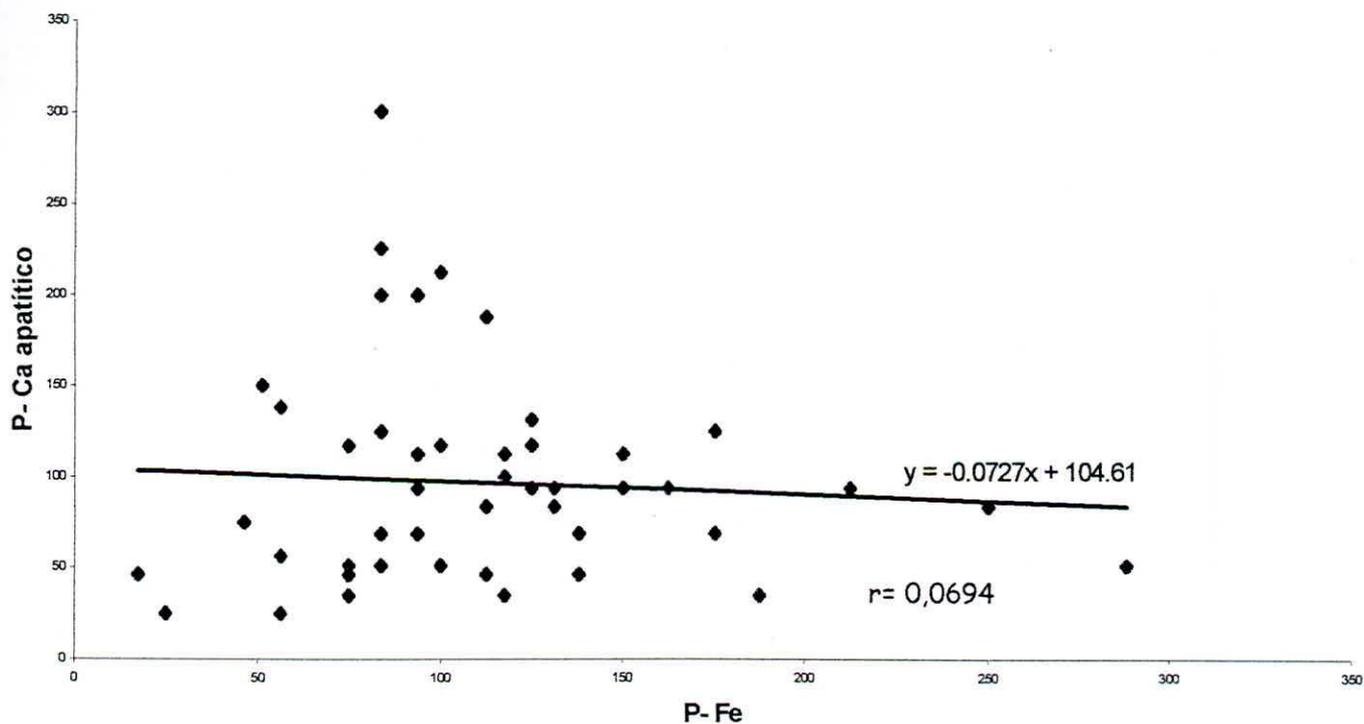


Figura 25. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido hierro y fósforo unido al calcio apatítico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

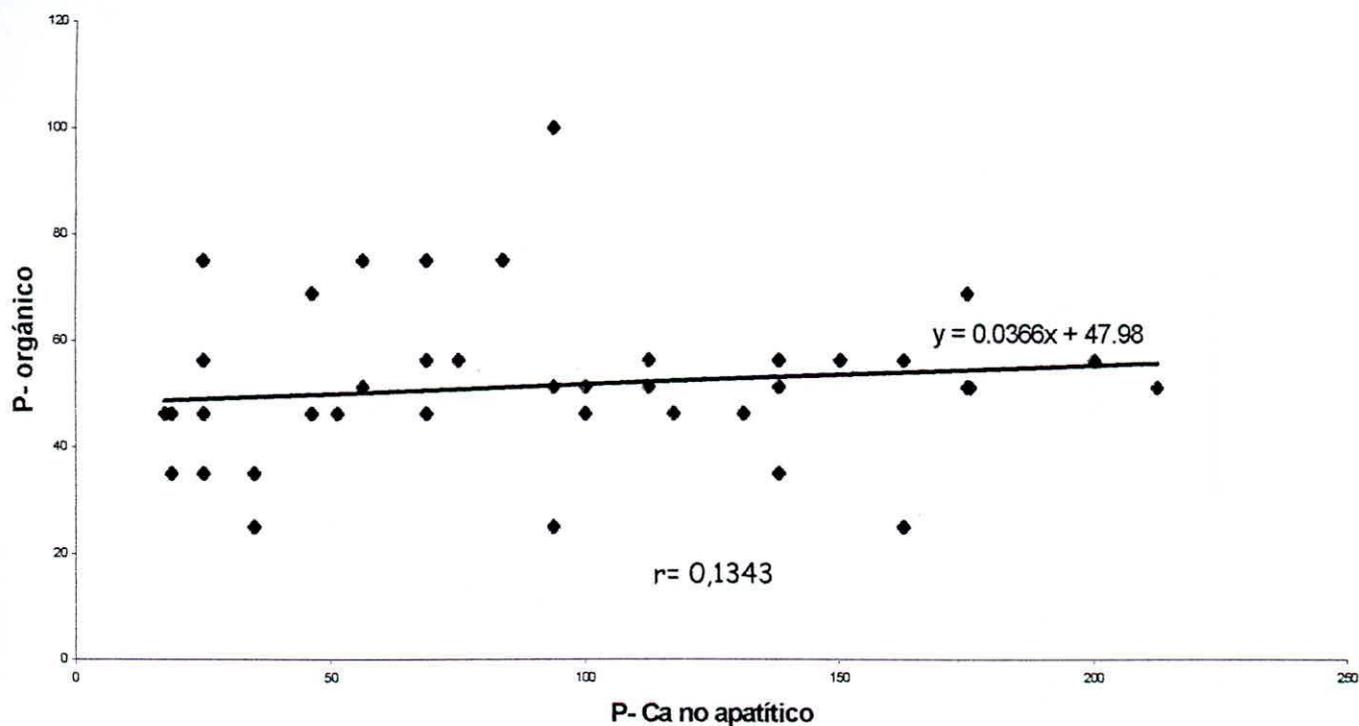


Figura 26. Gráfica de correlación, índice de correlación y ecuación de regresión entre el fósforo unido al calcio no apatítico y fósforo orgánico, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

Tabla 9. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	724.976	724.976	3.1568
Error	47	10793.75	229.654255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 10. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	85462.891	85462.891	27.54**
Error	47	145852.292	3103.240255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 11. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	165262.71	165262.71	47.76**
Error	47	162648.905	3460.615	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 12. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Al, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	2072.702	2072.702	9.39**
Error	47	10365.816	220.55	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 13. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	73.893	73.893	0.98
Error	47	3532.78	75.165	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 14. Análisis de varianza de regresión entre el P- total y el P- Fe, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	29489.99	29489.99	9.33**
Error	47	148469.46	3158.92468	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 15. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- total, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	44742.293	44742.293	2.91
Error	47	721815.827	15357.7836	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 16. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	917.718	917.718	12.21**
Error	47	3532.78	75.1655319	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 17. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	1563.474	1563.474	0.45
Error	47	162648.905	3460.615	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 18. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	1093.631	1093.631	4.76*
Error	47	10793.75	229.654255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 19. Análisis de varianza de regresión entre el pH y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	24573.907	24573.907	7.92**
Error	47	145852.292	3103.24026	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 20. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Ca no apatítico, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	7213.095	7213.095	2.32
Error	47	145852.292	3103.24026	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 21. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Ca apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	2132.029	2132.029	0.62
Error	47	162648.905	3460.615	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 22. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- Fe, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	29367.822	29367.822	9.29**
Error	47	148469.45	3158.92447	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 23. Análisis de varianza de regresión entre el P- Al y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	66.607	66.607	0.29
Error	47	10793.75	229.654255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 24. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	21.513	21.513	0.09
Error	47	10793.75	229.654255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 25. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- fácilmente reemplazable, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	20.21	20.21	0.27
Error	47	3532.78	75.1655319	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %



Tabla 26. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- Ca apatítico, en el estudio de determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	755.141	755.141	0.22
Error	47	162648.905	3460.615	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

Tabla 27. Análisis de varianza de regresión entre el P- Fe y el P- Ca no apatítico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	407.469	407.469	0.13
Error	47	145852.292	3103.24026	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %



Tabla 28. Análisis de varianza de regresión entre el P- Ca no apatítico y el P- orgánico, en el estudio determinación de las diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

F.V.	GL	SC	CM	F cal.
Efecto de regresión	1	239.901	239.901	1.04
Error	47	10793.75	229.654255	
Total	48			

\* regresión significativa al 1 %

\*\* regresión significativa al 5 %

#### 4. CONCLUSIONES.

De los resultados obtenidos en la presente investigación se pudo deducir las siguientes conclusiones:

1. En la zona de Guamachito y en la zona de Tucurinca las distintas formas de fósforo expresadas como porcentaje de fósforo total siguieron el siguiente orden decreciente: P unido al Fe, P unido al Ca apatítico, P unido al Ca no apatítico, P orgánico, P unido al aluminio P fácilmente reemplazable; y para la zona de Algarrobo, se obtuvo el siguiente orden: P unido al Ca no apatítico, P unido al Ca apatítico, P unido al Fe, P orgánico, P unido al aluminio y P fácilmente reemplazable.
2. El fósforo fácilmente reemplazable fue bajo para todas las zonas estudiadas, lo que significa que el fósforo asimilable es bajo en los suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena, implicando esto que es muy probable recurrir a la fertilización fosfórica.
3. Los valores de fósforo fácilmente reemplazable oscilaron entre 12,5 y 46,25 ppm, los de P unido al Ca no apatítico entre 17,5 y 212,5 ppm, los de P unido al Al entre 18,75 y 112,5 ppm, los valores de P unido al Fe están entre 17,75 y 288

ppm, los de P unido al Ca apatítico entre 25 y 300, 62 ppm, los de P orgánico están entre 25 y 100 ppm y los valores registrados para el P total oscilan entre 195 y 686,87 ppm.

4. Las correlaciones que presentaron alta significancia estadística fueron entre el P total y P unido al Ca no apatítico, P total y P unido al Ca apatítico, P total y P unido al Al, P total y P unido al Fe, pH y P fácilmente reemplazable, pH y P unido al Ca no apatítico; y P unido al Al y P unido al Fe.

5. Existe la necesidad de realizar estudios posteriores del fósforo en mismo tipo de suelo, para observar como va evolucionando bajo las condiciones del cultivo de palma de aceite. De igual manera realizar estudios relacionando las formas de fósforo con otras variables.

6. La fracción que predomina con relación al fósforo total es la del P unido al Fe, esto se debe posiblemente a que la mayoría de los suelos muestreados tienen una reacción entre ligeramente ácida y mediana mente ácida.

## BIBLIOGRAFIA.

ALI, W. y GOMEZ, C. Determinación de las distintas formas de fósforo en los cerros de San Isidro y San Javier de la Sierra Nevada de Santa Marta. Memoria de grado. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia. 1977.

BENAVIDES, G. Fraccionamiento de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Cariño. En: Memorias del 5 congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. Medellín, Colombia. 1975.

BENAVIDES, R.S.T. Citado Guerrero. 1973.

BENAVIDES, R.S.T. Distribution of native phosphorus and phosphorus sorption capacity of some tropical soil of Colombia, S.A. Master of thesis. Oklahoma State University. 1973.

BLASCO, L.M. and BOHORQUEZ N.A. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. Agrochimica. 1968

BONNER, J. Y GALSTON A. W. Citados por Lotero. 1955.

BORNEMIZA, E. E IGUE, K. Mineralización del fósforo orgánico en suelos ácidos de Costa Rica. Turrialba. Vol. 21 No. 1, 1971.

BORNEMIZA, E. El fósforo orgánico en los suelos tropicales. Turrialba. Vol. 15 No. 1, 1976.

CASTAÑEDA, R.P. Bioestadística aplicada. México. 1980.

CUADRADO, H. Y VUELVAS, P. Fraccionamiento del fósforo en las sabanas de Ayapel, Montería. Tesis (Ing. Agrónomo). Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Córdoba, 1974.

FASSBENDER, H, W. Química de suelos. Turrialba. Vol.3 No 8, 1968.

FASSBENDER, H. W., MULLER, L. Y BALERDY, F. Estudio del fósforo en América Central. Formas y su relación con las plantas. Turrialba, 1968.



FASSBENDER, R.W., MULLER, L. Y BALEBERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba. Vol. 18 No. 4, 1968.

GALVIS, R. Y ATENCIO, M. Determinación de fósforo disponibles y capacidad de fijación de fosfatos en suelos algodoneros en el municipio de Córdoba Bolívar. Tesis (Ing. Agrónomo). Universidad del Magdalena, 1997.

GOENAGA, R. Y CABRALES, E. Fraccionamiento del fósforo en suelos de la zona bananera del Magdalena. Tesis (Ing. Agrónomo). Universidad del Magdalena. Santa Marta, 1978.

GOMEZ, C. Y ALÍ, W. Determinación de las distintas formas de fósforo en los cerros de San Isidro y San Javier de la Sierra Nevada de Santa Marta. Tesis (Ing. Agrónomo). Universidad Tecnológica del Magdalena. Santa Marta, 1997.

GUERRERO, R. R. Formas de fósforo y sus relaciones con la fertilidad de los suelos. En: el fósforo en zonas tropicales. Tercer coloquio de suelos. Bogotá: SCCS. 1973.

IICA. Química de suelos. San José, Costa Rica: IICA, 1979.

INSTITUTO DE LA POTASA Y DEL FOSFORO. Informaciones agronómicas. Fósforo del suelo. Propiedades y dinámicas. No 16, 1994.

KAMPRATH, E. Aspectos químicos y formas minerales del fósforo del suelo en regiones tropicales. En: el fósforo en zonas tropicales. Tercer coloquio de suelos. Bogotá: SCCS. 1973.

LOTERO, J. Absorción de fósforo sus funciones en las plantas. Memoria del coloquio sobre fósforo de suelos ecuatoriales en zonas tropicales. Bogotá, 1979

LOTERO, J. C. Absorción del fósforo y sus funciones en la planta. En: el fósforo en zonas tropicales. Tercer coloquio de suelos. Bogotá: SCCS, 1973.

MARIN, G. Fertilidad de suelo con énfasis en Colombia. Bogotá, 1977.

MORILLO, M, R. Y FASSBENDER, H.W. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la cuenca baja del Río Choluteca, Honduras. Turrialba. Vol. 16 No. 1, 1968.

OSPINO, H. Y ARON, J. Fertilización del algodonero (*Gossypium hirsutum*). Santa Marta. Tesis (Ing. Agrónomo). Facultad de ciencias agrícolas. Universidad de Nariño, 1978.



SEN GUPTA Y CORNFIELD, D. Métodos de análisis químicos. Journal of soil Sc. Vol. 24 No. 1, 1974.

SEN GUPTA, M.B. and CORNFIELD, A.H. Citados por Guerrero. 1962.

TAFUR, N. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos del Valle del Sinú, Córdoba. En: Revista ICA. Vol. 4 No 2. 1969.

TAFUR, N. y BLASCO, L. El fósforo en los suelos de Valledupar, Cesar. En: Agricultura Tropical. Vol. 4 No 3. 1959.

TORREZ, O. y ARRIETA, G. Citados por Goenaga y Cabrales . 1977.

**anexo**

Anexo 1. Ficha de registro de la información de los lotes muestreados en las fincas palmeras, en el estudio de determinación de diferentes formas de fósforo en suelos cultivados con palma de aceite en el departamento del Magdalena.

FINCA:

FECHA:

LOTE:

EDAD DEL LOTE:

PRODUCCIÓN AÑO 2000:

FERTILIZACIÓN FOSFORICA: SI ó NO

EPOCA:

FUENTE:

DOSIS:

RECOLECTOR:

