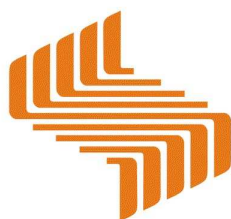


**Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"**



**LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA**

**VICERRECTORADO  
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
ESTADO PORTUGUESA**

**COORDINACIÓN  
ÁREA DE POSTGRADO**

**DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES (N, P, K, Ca y Mg)  
EN EL SISTEMA AGUA-SUELO DEL CULTIVO DE  
ARROZ (*Oryza sativa* L). SECTOR POTRERO DE ARMO,  
MUNICIPIOS ARAURE Y AGUA BLANCA,  
EDO PORTUGUESA**

**Autor: FRANCO ANTONUCCI  
Tutor: RICARDO ORELLANA**

**GUANARE, JULIO DE 2008**

**Universidad Nacional Experimental  
de los Llanos Occidentales  
"EZEQUIEL ZAMORA"**



La Universidad que siembra

**Vicerrectorado de Producción Agrícola  
Coordinación de Área de Postgrado  
Postgrado Manejo de Recursos Agua y  
Suelo**

**DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES (N, P, K, Ca y Mg)  
EN EL SISTEMA AGUA-SUELO DEL CULTIVO DE  
ARROZ (*Oryza sativa* L). SECTOR POTRERO DE  
ARMO, MUNICIPIOS ARAURE Y AGUA BLANCA,  
EDO PORTUGUESA.**

**Requisito parcial para optar al grado de**

***Magister Scientiarum***

**AUTOR: Franco José Antonucci Rausseo**

**C.I. 11.837.078**

**TUTOR: Ricardo José Orellana**

**GUANARE, JULIO DE 2009**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo RICARDO JOSE ORELLANA, cédula de identidad N° 5.971.539, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado, titulado DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES (N, P, K, Ca y Mg) EN EL SISTEMA AGUA-SUELO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L). SECTOR POTRERO DE ARMO, MUNICIPIOS ARAURE Y AGUA BLANCA, EDO PORTUGUESA, presentado por el ciudadano FRANCO JOSÉ ANTONUCCI RAUSSEO, para optar al título de Magister Scientiarum por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

Nombre y Apellido: RICARDO JOSE ORELLANA

\_\_\_\_\_  
Firma de Aprobación del tutor

Fecha de entrega: \_\_\_\_\_

## APROBACIÓN DE LA COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO

Yo, MARY VARGAS cédula de identidad N° 4.058.384, en mi carácter de miembro de la Comisión de Redacción y Estilo del postgrado de Manejo de Agua y Suelo de Grado, he leído el trabajo titulado DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES (N, P, K, Ca y Mg) EN EL SISTEMA AGUA-SUELO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa* L). SECTOR POTRERO DE ARMO, MUNICIPIOS ARAURE Y AGUA BLANCA, EDO PORTUGUESA presentado por el ciudadano FRANCO JOSÉ ANTONUCCI RAUSSEO, para optar al título de *Magister Scientiarum* por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

Nombre y Apellido: RICARDO JOSE ORELLANA

\_\_\_\_\_  
Firma de Aprobación del tutor

## **DEDICATORIA**

Primero que nada a Dios todo poderoso.

Y de segundo a todas las personas que de forma directa o indirecta contribuyeron con la culminación de este objetivo en la vida gracias.

## ÍNDICE GENERAL

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>II</b>
<b>APROBACIÓN DE LA COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
Objetivo general.....	2
Objetivo específico .....	2
<b>ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>12</b>
<b>CLIMA.....</b>	<b>16</b>
Precipitación .....	16
Evaporación .....	16
Temperatura.....	16
Humedad relativa.....	16
Insolación.....	16
Viento .....	17
Radiación solar .....	17
Manejo agronómico del cultivo.....	17
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
Relación entre manejo productivo y el desarrollo agrícola .....	4
Erosión de fertilidad:.....	4
Erosión vertical .....	4
Erosión física o enlodamiento:.....	5
La erosión hídrica presenta una naturaleza cíclica.....	5
El flujo concentrado;.....	5
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
Diseño de muestreo en las parcelas .....	18
Descripción del muestreo.....	18
En Suelo: .....	18
En Agua:.....	18
En Sedimentos.....	19

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
1.- Condiciones físicas y químicas de los suelos estudiados .....	21
Descripción del Suelo en las fincas seleccionadas: .....	23
2.- Características químicas del agua.....	35
2.1- Conductividad eléctrica en el agua. ....	35
2.2.- Valores de pH en el agua contenida en las melgas. ....	37
2.4.- Valores de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en el agua de la melga. ....	38
2.3.- Valores de Calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua contenida en la melga. ....	40
2.5.- Valores de Potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga. ....	42
2.6.- Valores de Nitrógeno total (Nt) en ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga del agua.....	44
2.6.- Valores de Fósforo Total en ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga.....	46
3.- Comparación de las variables químicas evaluadas en la fuente de agua – melga – salida.....	48
3.1- Comportamiento de la Conductividad eléctrica (C.E) (Pozo-melga-salida). ....	48
3.2- Comportamiento del pH (Pozo-melga-salida). ....	50
3.3- Comportamiento del calcio (Pozo-melga-salida). ....	51
3.4- Comportamiento del magnesio (Pozo-melga-salida).....	52
3.5- Comportamiento del potasio (Pozo-melga-salida). ....	54
3.6- Comportamiento del nitrógeno total (Pozo-melga-salida).....	56
3.7- Comportamiento del fósforo total (Pozo-melga-salida). ....	57
4.- Características químicas en el suelo.....	58
4.1.- comportamiento del pH en el suelo. ....	58
4.2.- Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E) en el suelo.....	60
4.3.- Comportamiento de la materia orgánica (M.O) en el suelo.....	62
4.4.- Comportamiento del fósforo en el suelo.....	63
4.5.- Comportamiento del calcio en el suelo.....	64
4.6.- Comportamiento del magnesio en el suelo.....	66
4.7.- Comportamiento del potasio en el suelo.....	68
5.- Materia orgánica y nutrientes en los sólidos sedimentables de las parcelas evaluadas.....	70
<b>FUENTE .....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>75</b>

## LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de tolerancia a la pérdida de suelo por la erosión, de acuerdo a la profundidad efectiva del suelo. ....	7
Tabla 2. Variables analizadas. ....	18
Tabla 3. Análisis de calicata valores promedios por fincas. ....	21
Tabla 4. Variables químicas de los suelos evaluados. ....	22
Tabla 5 Descripción perfil. ....	24
Tabla 6. Calicata finca el Cocotal (municipio Araure) (19-03-2003) .....	25
Tabla 7. Calicata finca el Cocotal (Municipio Araure) (19-03-2003) .....	25
Tabla 8. Descripción perfil. ....	28
Tabla 9 Calicata finca el Chaparral (municipio Araure) (28-03-2003) .....	30
Tabla 10 Calicata finca el Chaparral (municipio Araure) (28-03-2003) .....	30
Tabla 11. Descripción de perfil. ....	32
Tabla 12. Calicata finca el RR (municipio Araure) (28-03-2003).....	33
Tabla 13. Calicata finca el RR (municipio Araure) (28-03-2003).....	33
Tabla 14. Resumen de pruebas estadísticas en conductividad eléctrica (C.E) ..	35
Tabla 15. Resumen de valores de pH por finca en el tiempo. ....	37
Tabla 16. Resumen de pruebas estadísticas en pH. ....	38
Tabla 17. Resumen de valores de Magnesio por finca en el tiempo. ....	39
Tabla 18 Resumen de pruebas estadísticas en Magnesio. ....	39
Tabla 19 Resumen de valores de Calcio por finca en el tiempo.....	40
Tabla 20. Resumen de pruebas estadísticas en Calcio.....	41
Tabla 21. Resumen de valores de Potasio por finca en el tiempo. ....	42
Tabla 22. Resumen de pruebas estadísticas en Potasio. ....	43
Tabla 23. Resumen de valores de Nitrógeno Total por finca en el tiempo. ....	44
Tabla 24. Resumen de pruebas estadísticas en Nitrógeno Total. ....	45
Tabla 25. Resumen de valores de Fósforo Total por finca en el tiempo. ....	46
Tabla 26. Resumen de pruebas estadísticas en Fósforo Total. ....	47
Tabla 27. Resumen de valores de conductividad eléctrica mS/cm (pozo-melga –salida).....	48
Tabla 28. Resumen de pruebas estadísticas para conductividad eléctrica.....	49
Tabla 29. Resumen de valores de pH (pozo-melga –salida). ....	50
Tabla 30. Resumen de pruebas estadísticas para pH. ....	50
Tabla 31. Resumen de valores de calcio (pozo-melga –salida).....	51
Tabla 32. Resumen de pruebas estadísticas para calcio. ....	52
Tabla 33. Resumen de valores de magnesio (pozo-melga –salida). ....	53
Tabla 34. Resumen de pruebas estadísticas para magnesio.....	53
Tabla 35. Resumen de valores de potasio (pozo-melga –salida).....	54
Tabla 36. Resumen de pruebas estadísticas para potasio. ....	55
Tabla 37. Resumen de valores de nitrógeno total (pozo-melga –salida).....	56
Tabla 38. Resumen de valores de fósforo total (pozo-melga –salida).....	57

Tabla 39. Resumen de pruebas estadísticas para fósforo total. ....	57
Tabla 40. Resumen de valores de pH por finca en el tiempo. ....	59
Tabla 41. Resumen de pruebas estadísticas para pH. ....	59
Tabla 42. Resumen de valores de conductividad eléctrica por finca en el tiempo.....	60
Tabla 43. Resumen de pruebas estadísticas para conductividad eléctrica.....	61
Tabla 44. Resumen de valores de materia orgánica por finca en el tiempo. ....	62
Tabla 45. Resumen de pruebas estadísticas para materia orgánica. ....	62
Tabla 46. Resumen de valores del fósforo por finca en el tiempo. ....	63
Tabla 47. Resumen de pruebas estadísticas para fósforo. ....	64
Tabla 48. Resumen de valores del calcio por finca en el tiempo. ....	65
Tabla 49. Resumen de pruebas estadísticas para calcio. ....	66
Tabla 50. Resumen de valores del magnesio por finca en el tiempo.....	67
Tabla 51. Resumen de pruebas estadísticas para magnesio.....	67
Tabla 52. Resumen de valores del potasio por finca en el tiempo. ....	68
Tabla 53. Resumen de pruebas estadísticas para potasio. ....	69
Tabla 54. Análisis de varianza (Kruskal-Wallis) para sólidos sedimentables...	70
Tabla 55. Resumen de valores de sedimentos por finca en el tiempo. ....	70
Tabla 56. Comportamiento de elementos en sedimentos. ....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las fincas en los municipios Araure y agua Blanca...	12
Figura 2. Río Sarare sobre el puente.....	13
Figura 3. Vista panorámica zona de estudio.....	14
Figura 4. Modelo de formaciones geológicas y zonas de deposición.....	15
Figura 5. Captación de muestra a la salida de la melga.....	19
Figura 6. Cono de sedimento.....	20
Figura 7. Cápsulas de secado de sedimentos.....	20
Figura 8. Diseño estadístico.....	20
Figura 9. Perfil de suelo Finca Cocotal.....	26
Figura 10. Horizonte superior (0- 44 cm) inclusiones de un material de otro horizonte producto del batido del barro.....	26
Figura 11. Vista de horizontes finca Chaparral.....	29
Figura 12. Parcela establecida con arroz, en arcillas expansivas, Finca Chaparral.....	29
Figura 13. Vista de perfil del suelo Finca RR.....	34
Figura 14. Vista de horizontes Finca RR.....	34
Figura 15. Cambios de Conductividad eléctrica a nivel de finca y épocas en el agua.....	36
Figura 16. Cambios de pH en el agua durante el ciclo del cultivo.....	38
Figura 17. Cambios de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua en el ciclo del cultivo ...	40
Figura 18. Cambios de concentración de calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.....	42
Figura 19. Cambios de Potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.....	44
Figura 20. Cambios de Nitrógeno Total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.....	46
Figura 21. Cambios de Fósforo Total ( $\text{mg/l}$ ) en la finca y épocas en el agua.....	48
Figura 22. Cambios de la Conductividad Eléctrica ( $\text{mS/cm}$ ) (pozo-melga – salida).....	49
Figura 23. Cambios de pH (pozo-melga –salida).....	51
Figura 24. Cambios de calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).....	52
Figura 25. Cambios de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).....	54
Figura 26. Cambios de potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).....	55
Figura 27. Cambios de nitrógeno total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).....	56
Figura 28. Cambios de fósforo total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).....	58
Figura 29. Valores de pH en el suelo de las fincas estudiadas.....	60
Figura 30. Cambios de la Conductividad Eléctrica a nivel de las fincas estudiadas.....	61
Figura 31. Cambios de la Materia Orgánica a nivel de las fincas estudiadas... 63	63

Figura 32. Cambios del Contenido de Fósforo a nivel de las fincas estudiadas. .....	64
Figura 33. Cambios del calcio a nivel de las fincas estudiadas. ....	66
Figura 34. Cambios de Magnesio a nivel de las fincas estudiadas. ....	68
Figura 35. Cambios de Potasio a nivel de las fincas estudiadas. ....	69

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICERRECTORADO PRODUCCION AGRICOLA  
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO  
MAESTRÍA MANEJO DE SUELOS Y AGUAS  
MENCIÓN SUELOS Y AGUAS

**DINÁMICA DE LOS NUTRIENTES (N, P, K, Ca y Mg) EN EL  
SISTEMA AGUA-SUELO DEL CULTIVO DE ARROZ (*Oryza sativa*  
L). SECTOR POTRERO DE ARMO, MUNICIPIOS ARAURE Y  
AGUA BLANCA, EDO PORTUGUESA**

**AUTOR:** Franco José Antonucci Rausseo  
**TUTOR:** Ricardo Orellana  
**AÑO:** 2009

**RESUMEN**

El trabajo expuesto a continuación se realizó en los municipios Araure y Agua Blanca del estado Portuguesa en el periodo seco año 2005. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de nutrientes (Ca, Mg, P, K y N) en el agua, suelo y sedimentos en el cultivo de arroz. Para ello se seleccionaron cuatro fincas al azar y se tomaron muestras compuestas en el agua y suelo tanto en la entrada, centro y salida de la melga (zona cultivada), esta evaluación se realizó en cuatro etapas (épocas) del ciclo del cultivo: antes de la siembra, al momento de la siembra, a los 45 días y a los 90 días. Las unidades del suelo en estudio corresponden taxonómicamente como Alfisol y Mollisoles, son suelos básicos, con alto contenido de calcio, producto de procesos aluvionales. Los resultados indican el calcio es el elemento que posee los mayores valores en el suelo (7795 a 3840 mg/kg) al igual que en el agua (161 a 66,97 mg l<sup>-1</sup>), el resto de los elementos (Mg, P, K y N) poseen afinidad en las respuestas con las prácticas agronómicas que se realizan en el cultivo; en cuanto a los sedimentos por finca varió entre 2.7728 g l<sup>-1</sup> y 0,1235 g l<sup>-1</sup>; en función de la fecha de muestreo. Las pruebas no paramétricas no reportaron diferencias entre fincas (P<0,7845), con excepción de la variable fecha de muestreo que manifestó variaciones altamente significativas (P>0,001), debido a que al desarrollarse el cultivo se retiene mayor cantidad de sedimento en las melgas. La cantidad de nutrientes arrastrados por la carga de sedimentos fueron: calcio 4250 ppm, magnesio 150 ppm, potasio 160 ppm, fósforo 37 ppm y materia orgánica 3,3 %. Esto indica que existe una alta pérdida de nutrientes por efecto del batido, al momento de establecer el cultivo de arroz, lo cual puede repercutir sobre los cuerpos de agua naturales ya que disminuye su calidad, bien sea para consumo u otro fin específico.

**Palabras Claves:** arroz, sedimentos, nutrientes.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS  
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"  
VICERRECTORADO PRODUCCION AGRICOLA  
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO  
MAESTRÍA MANEJO DE SUELOS Y AGUAS  
MENCIÓN SUELOS Y AGUAS

**NUTRIENTS DYNAMICS (N, P, K, Ca and Mg) IN SOIL-  
WATER SYSTEM RICE (*Oryza sativa* L) CROPS, POTRERO  
ARAURE Y AGUA BLANCA MUNICIPALITIES, EDO  
PORTUGUESA**

**AUTOR:** Franco José Antonucci Rausseo

**TUTOR:** Ricardo Orellana

**AÑO:** 2009

**ABSTRACT**

In most Latin American countries and especially in Venezuela, the cultivation of rice has high priority due to its importance in our diet, yet the production of this crop, generates large amounts of sediment which pollute natural water bodies, and carry nutrients from agricultural fields. The study was carried out in the Agua Blanca and Araure municipalities of Portuguesa state during the dry period (2005). The aim was to evaluate the behavior of nutrients (Ca, Mg, P, K and N) in water, soil and sediments that are removed in cultivation. Four farms were selected and randomly sampled on the entry, exit and from the center of the Melga (cultivated area). Samples were taken before sowing, at sowing, 45 days and 90 days of the growing period. The soil is classified taxonomically as Alfisols and mollisols are basic soils with high calcium content, caused by alluvial processes. The results show that the amount of sediment per farm ranged from 2.7728 g l<sup>-1</sup> and 0.1235 g l<sup>-1</sup>, this variation depends on the date of sampling. When statistically evaluated by non-parametric tests were found differences between farms ( $P < 0.7845$ ), however the date of sampling shows highly significant differences ( $P > 0.00$ ), due to crop development that retains much of the sediment in the field. The amount of nutrients carried by the sediment load was: calcium 4250 ppm, magnesium 150 ppm, potassium 160 ppm, phosphorus 37 ppm and organic matter 3.3%. This indicates that there is a high loss of nutrients, due to the effect of tillage, the time for rice cultivation, which can affect natural water bodies, diminishing their quality, either for consumption or other purposes.

**Palabras Claves:** arroz, sedimentos, nutrientes

## INTRODUCCIÓN.

En Venezuela como en otros países el cultivo de arroz brinda una fuente de energía económica y rápida, ya que se logra producir en un ciclo de 90 a 120 días (Álvarez 1998). Este cultivo adaptado a suelos inundados, se considera como un rubro bandera dentro de los lineamientos productivos del país. El manejo dado al cultivo y la capacidad genética de la variedad pueden ser limitantes en la producción del mismo, ya que puede demandar a altas aplicaciones de insumos (fertilizantes, insecticidas, fungicidas, entre otros).

En la actualidad existe una enorme preocupación en cuanto al uso eficiente y sustentable de los recursos (económicos, biológicos, hídricos y abióticos entre otros), ya que cada vez se hacen mas escasos y costosos; en virtud de esto se realizan grandes esfuerzos para alcanzar los mayores beneficios, a fin de ser más eficiente en la utilización de los mismos, sin olvidarse de la conservación con el fin de mantenerlos en el tiempo.

Es por ello que la evaluación del recurso suelo y agua aunado al movimiento de nutrientes, son de alta importancia en el sistema de producción arrocero del país en la búsqueda del uso más racional de los recursos naturales, ya que en la actualidad, las pérdidas de suelo y el deterioro del agua, conllevan a enormes pérdidas tanto humana como económicas.

La investigación expuesta parte de evaluar los nutrientes principales como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio que se utilizan en la producción del cultivo de arroz, y que son arrastrados por el agua en campos arroceros, ocasionando alteraciones fisico-química y biológicas tanto en el suelo cultivado como en los cuerpos de agua donde son descargados.

El estudio se realizó en el sector conocido como Potrero de Armo municipios Araure y Agua Blanca, aproximadamente unos 8 kilómetros de la ciudad de Acarigua, entre las coordenadas 1.068.000 –1060.000 N y 482.000, 492.000 E. Se evaluaron cuatro fincas productoras de arroz, a las cuales fueron monitoreadas en el comportamiento de los nutrientes ya referidos, en el agua de pozo profundo hasta su descarga en cuerpos naturales (cauces).

## **OBJETIVOS**

### ***Objetivo general***

- Determinar el movimiento de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en la interfase sólido-líquido del cultivo de arroz (*Oriza sativa* L); sector Potrero de Armos, municipio Araure y Agua Blanca del estado Portuguesa.

### ***Objetivo específico***

1. Caracterizar las condiciones edáficas del suelo en las fincas en estudio.
2. Evaluar cambio en la conductividad eléctrica y pH en el suelo, agua y en los sedimentos.
3. Determinar la pérdida de suelo en sedimentos por efecto del sistema de manejo del cultivo de arroz.
4. Determinar el movimiento de N, P, K, Ca y Mg, el tiempo consecuencia del sistema de manejo del cultivo de arroz.
5. Determinar la cantidad de nutrientes N, P, K, Ca y Mg, removidos en los sólidos sedimentables de la parcela.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El cultivo de arroz (*Oryza saliva L.*) es el alimento básico para la mitad del mundo; a pesar de que en la India el arroz silvestre, contiene la mayor cantidad de fibra y potasio. Por otra parte los arroces comerciales tienen propiedades nutritivas parecidas, con variación de sabor y textura (Polo 2006).

En Venezuela el sistema de producción de arroz ocupa un 7 % de la superficie total (1.800.000 ha) apta para el cultivo de (Centro de Información y Documentación Empresarial de Iberoamerica 1997), siendo una actividad muy importante en el estado Portuguesa donde existen alrededor de 60.000 ha sembradas.

A nivel mundial el arroz (*Oryza sativa*) constituye el producto más importante desde el punto de vista de la alimentación; se estima que para el año 2025 el mundo requerirá 400 millones de toneladas adicionales de arroz para suplir la demanda. Esto representa, un alza de 70 % sobre la producción de 1996 que llegó a 575 millones de toneladas. Latinoamérica posee 8.3 % de la población mundial, el 12.1 % de las tierras agrícolas y 13.2 % de los recursos renovables de agua.

Ante esto, la demanda potencial del cereal constituye una gran oportunidad para esta región, que sólo produce unas 20 millones de toneladas de arroz por año (3.5% del total mundial) es por esto que los esfuerzos deben estar dirigidos a aumentar el potencial productivo de un alimento clave para la humanidad (FEDEARROZ 1995).

El arroz generalmente crece mejor en suelos inundados que en suelos con menor contenido de humedad. La inundación no solo proporciona al cultivo un buen suministro de agua y control de malezas, sino también mejora algunas características químicas de suelo, generando una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que afectan la absorción de los nutrientes por parte de la planta de el arroz, como la disponibilidad y pérdida de estos en suelo (Castilla 2003).

En suelos inundados, los microorganismos anaeróbicos se multiplican rápidamente y llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica utilizando compuestos oxidados del suelo para su respiración; en suelos con bajo contenido de materia orgánica la producción de amonio es baja y es lógico que el cultivo responda a la fertilización nitrogenada. La fertilización nitrogenada en riego por inundación favorece la eficiencia de este nutrimento, en razón a que sus pérdidas son menores (Guerrero 2000).

## ***Relación entre manejo productivo y el desarrollo agrícola.***

El hombre en el afán productivo ha olvidado que la conservación de los recursos es un factor preponderante en la perpetuación de la vida y que los procesos de degradación de tierras en varias regiones de América Latina y África, tienen su origen en factores sociales, económicos y culturales, que se traducen en la sobreexplotación de los recursos naturales y en la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas. La consecuencia de todo ello, es la inhabilitación productiva de muchas tierras agrícolas que va en detrimento de la producción de alimentos para una población creciente en estos dos continentes (FAO 1997).

Durante las últimas décadas se han realizado numerosos esfuerzos para detener la degradación de las tierras agrícolas, pero el proceso de cambio para la adopción de nuevas tecnologías conservacionistas por parte de los agricultores, todavía presenta un índice bajo, de igual forma se han planteado teorías y metodologías para evaluar la degradación en el recurso suelo, como es el caso de Hudson (1981) que señala la existencia de algunas formas de degradación de suelos asociadas a la erosión, algunas de las cuales, sin embargo, no implican ninguna remoción física del suelo:

**Erosión de fertilidad:** es la pérdida de fitonutrientes por la erosión, que puede ser comparable en magnitud con la remoción de los mismos elementos por la cosecha de cultivos. En suelos de texturas gruesas y pendientes suaves, mayormente afectados por estos procesos, el arrastre es diferencial, transportándose con preferencia las partículas muy finas y coloidales, liberadas al ocurrir la separación, debido a la baja energía del flujo superficial. El modo en que ocurre la pérdida de diferentes elementos es variable. El fósforo es principalmente perdido cuando las partículas coloidales son erosionadas, pero el nitrógeno puede perderse en solución sin que ocurra ningún movimiento de partículas de suelo.

Dentro de los factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes están los de orden físico como la compactación, lo cual limita el movimiento de agua en el suelo y el desarrollo radical de la planta de arroz; del orden físico y biológico como es la erosión, la cual disminuye la concentración de materia orgánica del suelo afectando los procesos bioquímicos de disponibilidad de nutrientes debido a una disminución en la población de microorganismos del suelo (Castilla y Guzmán 2003)

**Erosión vertical:** consiste en el lavado de partículas finas de arcilla (producto de la ruptura y separación de agregados), en suelos porosos de textura gruesa hasta acumularse en alguna capa subyacente menos permeable. Se pueden prever dos posibles efectos: la pérdida de partículas finas en un punto y su ganancia en otro dentro del perfil del suelo. En suelos de textura gruesa, una apreciable reducción de coloides y arcilla en superficie puede resultar de la erosión vertical, con la consecuente reducción en fertilidad. El efecto donde el material fino se acumula es,

probablemente, también indeseable cuando el resultado es la formación de una capa menos permeable tanto para las raíces como para el movimiento del agua.

**Erosión física o enlodamiento:** es un proceso de deterioro físico del suelo sin la ocurrencia de una pérdida neta del mismo, se le asocia con enlodamiento debido a que tiene lugar bajo tales condiciones. Puede ocurrir en tierras planas, donde si bien ocurre desprendimiento y separación de agregados del suelo por impacto de las gotas de lluvia, no procede el arrastre del material separado, por lo cual las partículas finas y coloidales estancadas, se orientan y depositan en la superficie dando lugar a la formación de un sello que al secarse puede generar encostramiento, por lo cual la habilidad productiva del suelo se ve considerablemente afectada.

**La erosión hídrica presenta una naturaleza cíclica.** Al estudiar el ciclo erosivo de cualquier localidad, podrá observarse que las diferentes etapas del proceso están representadas por las diversas formas de erosión ya descritas. El hecho de que una u otra forma de erosión se manifieste va a depender de un conjunto de factores tanto internos (propiedades del suelo) como externos (clima, topografía), ellos pueden actuar creando un medio favorable para que el proceso evolucione de una manera dada, manteniéndose así el carácter cíclico.

**El flujo concentrado;** es el agua que escurre en la superficie del suelo en forma concentrada. Las fuerzas y energías en el flujo concentrado se derivan del agua fluyente. Las fuentes de esta agua son en términos generales: los excedentes de la lluvia (mayormente de las áreas entre surcos), de la nieve al derretirse (en las zonas templadas y en las muy altas tropicales), del riego y del flujo subsuperficial emergente. La fuerza disponible para el desprendimiento de suelo de la periferia de los canales es generalmente expresada como fuerza de corte hidráulico y es aproximadamente proporcional al producto de la profundidad del agua fluyente y a la pendiente de la superficie del agua (Lafren y Roose 1998).

En contraste con los procesos que se asocian a la erosión entre surcos (flujo superficial), la erosión en canales (flujo concentrado) es posicionalmente sensitiva. La erosión en canales no ocurre hasta que las fuerzas hidráulicas, que desprenden material de los canales, exceden un valor crítico o limitante. Dependiendo de la naturaleza de las fuerzas actuantes y de las fuerzas de resistencia para las condiciones de precipitación, es en algún punto abajo, donde ocurre el flujo en el canal. En casos donde el escurrimiento es debido al riego por superficie, el derretimiento de la nieve o a la emergencia de flujo subsuperficial, las fuerzas ejercidas por el flujo concentrado pueden decrecer aguas abajo. Para condiciones de lluvia, la erosión en el canal por el flujo concentrado, se incrementa aguas abajo mientras la pendiente permanezca constante (Lafren y Roose 1998).

Existen evaluaciones del flujo concentrado que ocurre de manera turbulenta, pudiendo alcanzar velocidades de hasta 4 m/seg (Páez 1992). Este flujo concentra en

su carga los materiales desprendidos provenientes de la erosión entre surcos y en canales de otras áreas que le son convergentes. El depósito de estos materiales tiene lugar en puntos inconvenientes tales como alcantarilla, reservorios y canales de riego y de drenaje. Los canales remanentes constituyen la erosión visible que alerta al observador de la existencia de una amenaza a la sostenibilidad del uso de la tierra debido a la erosión hídrica.

De igual forma se conoce que la cobertura del suelo esta asociada con la no pérdida de suelo, ya que la acción protectora por la interceptación y absorción del impacto directo de la gota de lluvia, previene el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma (Adams 1966). De esa manera, la infiltración de agua puede ser mantenida a lo largo de la lluvia, por lo tanto, aumentando la cobertura del suelo se reducen la desagregación y movimiento del suelo por la salpicadura de la lluvia (Singer *et al.*, 1981). El volumen de escurrimiento superficial, según Singer y Blackard (1978), es afectado por la calidad y cantidad de residuos a través del retardo en el inicio de la escorrentía; del aumento del tiempo entre el inicio de la misma y el primer litro de agua escurrida; y de la disminución del tiempo entre el final de la lluvia y el final de la escorrentía.

Para poder precisar si existe pérdida en el suelo debe conocerse valores bien se de material, o de los elementos que son alterados en el mismo. La tolerancia del suelo a la erosión se puede definir como la máxima tasa anual de erosión que puede admitirse para lograr el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo en forma sostenida, para un nivel tecnológico establecido (Páez, 1992).

Este mismo autor señala que la erosión se inicia, generalmente, como un proceso lento y a menudo desapercibido hasta que alcanza intensidades destructivas; hecho que constituye un argumento de peso para usar los valores de tolerancia a la pérdida de suelo en la planificación del uso de la tierra. Los valores de tolerancia del suelo a la erosión pueden ser determinados en relación a la pérdida de material del perfil del suelo que afecta el rendimiento de los cultivos, o pueden ser determinadas en relación a la producción de sedimentos que afecta la calidad del agua o la acumulación de sedimentos en los embalses.

Los valores de la tolerancia han sido basados en las tasas de renovación del suelo; éstas conciernen, sin embargo, a la renovación del suelo superficial no a la renovación del solum (Bergsma *et al.*, 1996). Bajo esta consideración, los valores de tolerancia a la pérdida de suelo pueden ser muy altos, ya que los límites superiores son considerados demasiado altos para los suelos tropicales frágiles en comparación con los bajos niveles de fertilidad.

Los valores de tolerancia del suelo a la erosión usualmente son arbitrariamente determinados, tomando en consideración profundidad del suelo (Tabla 1), propiedades físicas y otras características que afectan el desarrollo de raíces,

problemas asociados al depósito de sedimentos, reducción en contenido de materia orgánica y de fitonutrientes.

Bergsma et al., (1996), consiguió que los valores de la tolerancia para perder el suelo pueden basarse en las tasas de renovación del suelo, niveles de manejo de fertilizantes y mejoramiento de variedades de plantas.

**Tabla 1. Valores de tolerancia a la pérdida de suelo por la erosión, de acuerdo a la profundidad efectiva del suelo.**

Profundidad efectiva (cm)	Tolerancia a la pérdida de suelo (Mg/ha x año)
Menor de 25	4
25 - 50	4-8
50 -100	8-12
100 – 150	12 -20
150 - 200	16 - 20
Mayor de 200	20 - 24

Fuente: Mannering, 1981.

La disponibilidad de información acerca de la tolerancia del suelo a la erosión es deficiente, razón por la cual se recurre a los artificios mencionados, tal situación es especialmente crítica para la mayoría de los suelos frágiles en ambientes severos y en aquellos ecológicamente frágiles. La referencia ampliamente usada de 11,2 Mg/ha x año representa un valor demasiado alto, especialmente para muchos de los suelos ampliamente usados, pero de escaso espesor, de los trópicos y subtropicos. Lal (1998b) cita sus experiencias con suelos Alfisoles de poco espesor, con capas restrictivas para el desarrollo de raíces a los 20 a 30 cm de profundidad, para los cuales la tolerancia a la erosión fue tan baja como 1 Mg/ha x año. En contraste con tal situación, las tolerancias a la pérdida de suelo para suelos fértiles y profundos (suelos derivados de loess, aluviones o cenizas volcánicas) pueden ser aun mayores de 11,2 Mg/ha x año.

Sharpley y Halvorson (1994) señalan que en el Parque Nacional de los Everglades en el Sur de la Florida los sistemas de drenaje en áreas agrícolas aportan fósforo que puede ser transportado en forma soluble y/o en partículas; el fósforo en partícula consiste en todas las fases sólidas que incluye fósforo adsorbido por las partículas del suelo y material orgánico transportado durante la escorrentía. Estudios de esta mismo sector conducidos en las fincas han demostrado que una porción significativa de la carga total de P en las aguas de drenaje en forma de partículas representa entre el 20 % y 70 % del P total. Por otra parte Fernando *et al* (2002) señalaron que en los suelos bajo condiciones anaeróbicas, aumenta la solubilidad de los fosfatos de hierro y en la fase aeróbica disminuye la disponibilidad de fósforo para las plantas; lo anterior también es referido por Thompson y Troeh (1988) cuando

manifiestan que los fosfatos son absorbidos por las plantas al encontrarse en la solución del suelo; aunque la concentración de la solución sea normal o muy baja. Las reacciones entre el suelo y las soluciones que contengan fosfatos se investigan, habitualmente, agitando una suspensión de suelo con la solución de fosfatos y determinando la cantidad de éstos que queda adsorbidos. Un porcentaje especialmente elevado de fósforo que pasa del suelo al agua viaja en los sedimentos, debido a que la mayoría de los compuestos fosforados presentan baja solubilidad

Mediciones de fosfatos realizadas en aguas de drenajes de suelos agrícolas determinaron concentraciones aproximadas de  $5 \times 10^{-6}$  ppm en suelos arenosos y de  $2 \times 10^{-6}$  ppm, ó incluso menores, en suelos arcillosos, aunque veces es superior en suelos orgánicos (Cooke 1976). Por esta razón, la cantidad de fosfatos perdido por lixiviación en la mayor parte de los casos es pequeña aunque en los suelos arenosos puede presentarse algunas excepciones.

Por otra parte la absorción de las plantas y otros seres vivos reduce la concentración de fósforo en la solución del suelo, lo que hace funcionar la reacción general de equilibrio que depende de la capacidad de adsorción del suelo. La relación entre fósforo adsorbido y el fósforo en solución depende de dicha capacidad y constituye lo que se denomina poder amortiguador del suelo. Domínguez (1989) encontró que cuanto mayor es la capacidad de absorción, mayor es la relación; se ha demostrado que los suelos con baja capacidad de adsorción y bajo poder amortiguador deben tener mayor concentración de fósforo y lo inverso ocurre en suelos con gran capacidad.

En suelos bajo inundación, la dinámica de los nutrientes calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn), responden a procesos de óxido reducción y los microorganismos anaeróbicos actúan sobre la materia orgánica en descomposición (Adams y Rivillo 1984).

Por otra parte Buhman (1993), refiere que el K de la solución del suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata, pero las cantidades presentes son muy pequeñas, apenas una mínima porción del K total del suelo se encuentra en esta forma. Las plantas en crecimiento rápidamente extraen el K de la solución del suelo, pero a medida que el K es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por la cesión de formas menos fácilmente accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo. La fijación y la capacidad de intercambio catiónico del suelo son medios tan efectivos para retener el potasio que hace difícil el lavado de este elemento. Paterson y Richer (1966) hallaron que tras 77 años de aplicaciones de potasio en un suelo franco limoso de Hagerstown, había aumentado significativamente la provisión de  $K^+$  cambiante en la parte superior del suelo.

Por otra parte Vittum *et al.*, (1968), demostraron que el potasio puede lavarse, aunque el proceso es lento, ellos señalaban una reducción de 12 kg K<sup>+</sup>/ año y que esta pérdida por lavado era causada por el riego.

Paterson y Richer (1966), reseñan que la reserva de K intercambiable y no-intercambiable depende fundamentalmente de la cantidad y calidad de arcillas presentes en el suelo. El término arcilla se refiere a las partículas minerales más pequeñas del suelo (menos de 2 micrones de diámetro). Se forman en el proceso de pedogénesis a partir de las alteraciones químicas de los minerales de las rocas que originan los suelos. Las arcillas son cristalinas y están formadas por capas en arreglos laminares de varios elementos químicos, fundamentalmente el oxígeno, el silicio y el aluminio en forma de capas de tetraedros de silicio y de octaedros de aluminio.

En cuanto al nitrógeno se encuentra en los suelos en forma de materia orgánica, ordinariamente se presenta en cantidades relativamente pequeñas, en forma de compuestos amónicos y nitratos, que son las formas asimilables. La conversión microbiológica del nitrógeno orgánico en formas iónicas constituyen un importante aspecto de la química del nitrógeno de los suelo (Jackson 1976).

El contenido medio de nitrógeno en el suelo es muy variable y depende del contenido de la materia orgánica; en general los suelos pueden contener entre 0,02 y 0,45 % de N en la solución del suelo y la mayor parte de este generalmente (98%) se encuentra en forma orgánica.

La planta de arroz (*Oryza sativa*) puede absorber el nitrógeno en formas amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y Nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), es por ello que permite obtener una alta eficiencia al utilizar fuentes amoniacales como la urea, a pesar de ser altamente soluble e higroscópica, ha sido la fuente utilizada por excelencia de los agricultores arroceros.

La disponibilidad del nitrógeno presente en los suelos inundados depende de procesos como: la mineralización de la materia orgánica (Hidrólisis de proteínas a polipéptidos y aminoácidos con consecuente desaminización que resulta en la formación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Las pérdidas de nitrógeno en suelos inundados ocurren principalmente por fenómenos como desnitrificación, volatilización del amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), lixiviación y escorrentía superficial. La desnitrificación depende de factores como tipo de suelo, temperatura, contenido de materia orgánica y microorganismos denitrificadores; De Datta (1981) reporta pérdidas por desnitrificación del orden de 30 y 40 % del total de nitrógeno aplicado entre los 12-14 días después de la aplicación de fertilizantes como sulfato de amonio; lo cual representa entre 10% y 95 % de los gases emitidos a la atmósfera por los suelos inundados.

La volatilización del amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), es el fenómeno que mayores pérdidas representa para los agricultores que aplican la urea sobre barro o lámina de agua (Perdidas entre el 60 y 80% del nitrógeno aplicado). Este proceso se presenta entre

los primeros 2 a 5 días después de la aplicación de urea. La volatilización del amonio está en función de propiedades del suelo como: contenidos de humedad, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), textura, contenidos de limos, temperatura y condiciones atmosféricas (De Datta 1981).

Diversos estudios mostraron relación directa entre valores altos de pH del suelo y altas pérdidas de amonio por volatilización; y relación inversa entre la capacidad de intercambio catiónico y las pérdidas por volatilización del amonio (FEDEARROZ 1995). La magnitud de las pérdidas por volatilización del amonio, es afectada por diversas prácticas agronómicas como fuentes, métodos y épocas de aplicación de nitrógeno.

En suelos que son inundados el primer o segundo día, comienza una disminución del pH cuando los suelos son calcáreos y en suelos ácidos comienza un aumento del pH hasta alcanzar un valor estable de 6,5 a 7,5. El aumento depende y está regulado por la cantidad de CO<sub>2</sub> y por la producción de ácidos orgánicos, derivados de la descomposición de los productos orgánicos. Los incrementos de pH están asociados y se producen junto con los más altos estados reductores del suelo. Los terrenos con pH alcalinos, se comportan de forma similar a los ácidos, pasan a un pH neutro pocos días después de encontrarse cubiertos con agua.

Con relación a la movilidad de nutrientes en los terreno inundado ocurren una serie de procesos físicos, microbiológicos y químicos que influyen en el crecimiento de la planta de arroz y en la absorción de los elementos para la nutrición, acompañado con pérdida o la utilización de los elementos y la acumulación de toxinas en el suelo o en el agua. Estos procesos dependen de:

- a. La modificación del intercambio de gas entre suelo y aire.
- b. El estado reductor del suelo.
- c. Del intercambio electro-químico y químico que tiene lugar en el estado de reducción.

Cuando el suelo está inundado se producen grandes cambios de carácter químico: desnitrificación del nitrógeno nítrico y aumento del nitrógeno amoniacal; reducción del manganeso, del hierro y de los sulfatos; aumentando la disponibilidad del fósforo y del silicio con el intercambio del estado para los compuestos del potasio y de otros cationes en la solución del suelo, determinado por el hierro en forma de Fe<sup>++</sup> y por el Mn<sup>++</sup> (FEDEARROZ 1995).

Los iones Ca, Mg, K y Na, al no estar sujetos a los procesos de reducción, deben el incremento de su solubilidad y consiguiente concentración en la solución del suelo a un fenómeno secundario de la inundación, por la acción disolvente del CO<sub>2</sub> y por las reacciones de intercambio entre los cationes. Estos son responsables del aumento del pH del agua. La concentración del potasio puede duplicarse después de inundar el suelo; este hecho constituye un beneficio para la nutrición de la planta y un inconveniente como consecuencia de las mayores pérdidas a las que pueden estar sujetos (De Datta 1981).

Según Rodier (1998) las características químicas del agua se ven alteradas cuando se incorpora el fertilizante, por dos causas fundamentales:

- Modificación de la conductividad eléctrica (CE), ya que la adición de las distintas sales fertilizantes aumenta el contenido salino del agua. Es conveniente que los abonos no aumenten más de 1 dS/cm, la CE del agua y por ello, se recomienda fraccionar el abonado. De esta forma la CE del agua, una vez incorporado el abono, no debería ser mayor de 3.

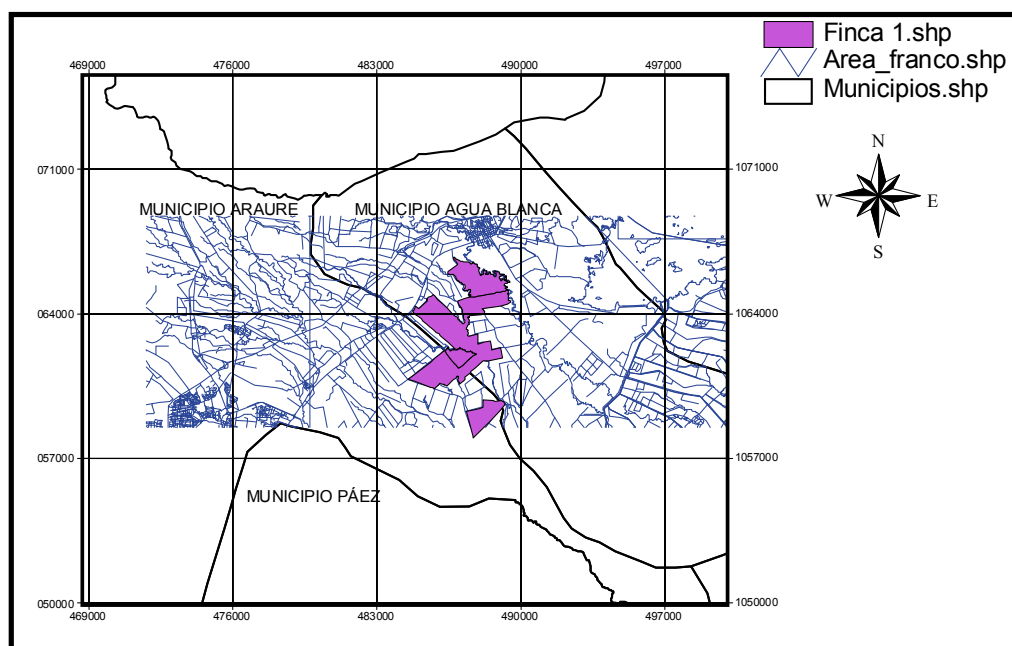
- Modificación del pH, debido a que los fertilizantes son sales disociables por tanto influyen en el pH. Si incrementa el pH puede ocurrir el riesgo de precipitaciones de iones de calcio, ya que a pH alcalinos sus sales son menos solubles. Por el contrario, si el abono hace descender el pH, no ocasionaría efectos de precipitación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El área está comprendida dentro de los municipios Araure y Agua Blanca, del estado Portuguesa (Figura 1). Las cuatro unidades de producción (fincas) estudiadas se caracterizan por un manejo intensivo del cultivo de arroz, en los que realizan tres ciclos de arroz por año aplicando un patrón similar en manejo de los suelos.

El estudio se realizó en el sector denominado como Potrero de Armo, aproximadamente unos 8 km de la ciudad de Acarigua, entre las coordenadas UTM (Datum RegVen) 1.068.000 – 1.060.000 N y 482000 – 492.000 E.



**Figura 1. Ubicación de las fincas en los municipios Araure y agua Blanca; base cartográfica IGSB, 1998.**

La zona en estudio está dividida por cauces de regímenes permanentes, entre los cuales se encuentra la quebrada Potreros de Armo, que nace en un conjunto de fincas agrícolas, y colecta las aguas de las parcelas que se encuentran dentro de la subcuenca, esta quebrada se une con otra quebrada de régimen permanente, y posee una longitud de 15 km aproximadamente. El otro cauce que posee influencia en el área en estudio es el río Sarare, este nace en la parte alta (sistema montañoso), y desemboca en el río Portuguesa.

Este conjunto de cauces son usados para extraer agua y descargar agua de los lotes arroceros (en siembra y cosecha) en forma legal e ilegal, ya que resulta mas económico el manejo del agua, lo que en algunos momentos puede cambiar su condición natural en cuanto a caudal, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica entre otros (Figura 2).



**Figura 2. Río Sarare sobre el puente.**



**Figura 3. Río Sarare en periodo lluvia (25/06/03).**

Las fincas en estudio se encuentran a una altura promedio de 220 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m) con un leve descenso con rumbo noreste, similar dirección de los cauces del lugar.

Fisiográficamente las parcelas, están ubicadas en zonas de deposiciones, en cubetas de decantación, las cuales han evolucionado, por efecto de los cauces existentes a sus alrededores; las unidades de suelo poseen un relieve plano con micro relieve liso y pendiente entre 1 y 0,5%.

Geomorfologicamente pertenece a la planicie aluvial, con depresiones y pequeñas ondulaciones, las cuales han sido niveladas, para mejorar la eficiencia del riego (Figura 3).



**Figura 3. Vista panorámica zona de estudio.**

Según Gonzáles de Juana (1987), se presume que los materiales que dieron evolución a estos suelos son los de las formaciones siguientes:

- **Cojedes:** Unidad definida en la faja Piemontina en base a olistolitos y olistostromos; se caracteriza por areniscas feldespática de granzón grueso, conglomerados, caliza arenosa y algunas filitas; su sección tipo está 9,5 km al norte de Agua Blanca, estado Portuguesa. La litología de la formación Cojedes se caracteriza, por arenisca feldespática y calcáreas, conglomerados característicos en forma de lentes, capas macizas y horizontes delgados, en su mayoría calcáreas; el tamaño de grano varía considerablemente, alcanzando hasta 20 cm en peñas y peñones de cuarzo, cuarzita, filita, caliza y gneis. Las calizas forman capas espezas a mazizas, frecuentemente interestratificadas con areniscas y asperones, lentes y capas de conglomerados compuestos principalmente por fragmento de caliza.

- **Agua Blanca:** Es una secuencia de granulometría más fina que la formación Araure con filita, metareniscas y algunas calizas recristalizadas; esta secuencia está ligeramente metamorfizada, pero todavía muestra restos de fósiles de habito nerítico, lo suficientemente preservados para interpretar su ambiente plataformal.

- **Araure:** La formación esta considerada como unidades albienses o antigua, ya que carece de fósiles y su edad se asume en base a correlaciones; se secuencia es de filitas con metaconglomerados y metareniscas de grano grueso, esta asociada a la formación Maney.

- **El Pegón:** Los sedimentos que caracterizan a esta unidad son de origen continental y se presentan con pronunciada discordancia sobre rocas mesozóicas y del Terciario Inferior, con espesores muy delgados que sobrepasan los 100 m. La litología de la formación El Pegón es granulometría más gruesa que la formación Guamacire, con gravas y lentes de arena y arcilla. En algunos lugares se observa

interestratificación de las gravas y clásticos finos. La formación generalmente no tiene fósiles (González 1980).

- **Río Guache:** La Formación Río Guache muestra una típica estratificación rítmica de sedimentos “flysch”, en la que se repiten capas delgadas de areniscas, lutitas y limolitas de color oscuro; en algunos casos las areniscas llegan a desarrollar estratos de hasta un metro de espesor, están frecuentemente gradadas y presentan marcas de base tales como moldes de carga, marcas de corrientes e icnofósiles. La arenisca son líticas, subfeldespática, con cuarzo, feldespato, ftanita, muscovita y fragmentos líticos generalmente de rocas ígneas básica. La matriz, es muy abundantes en materiales micáceo – clorítica, arcillosa, con calcita micrítica dispersa (González 1980).

- **Mamey:** Según Bellizzia y Rodríguez (1967), la unidad cubre en aparente concordancia a la formación Aroa y aflora al norte de Yaritagua y al este de Duaca, estado Lara. Esta formación se compone de esquistos cuarzo – micáceos – sericíticos, metaconglomerados, metareniscas, calizas conglomeraticas y filita. La roca calcárea se presenta en capas macizas a foliadas en diferentes intervalos dentro de la unidad; muchas de ellas muestran marcada lenticularidad y en general sus espesores y continuidad lateral son bastantes irregulares.

Para poder entender la evolución y formación de los suelos en estudio, se realizó un modelo tridimensional que, permite generar la interpretación de lo antes señalado. Esta asunción se basa en que los procesos de compresión produjeron en efecto de lavado de materiales calcicos, los cuales caracterizan las formaciones geológicas (Figura 4).

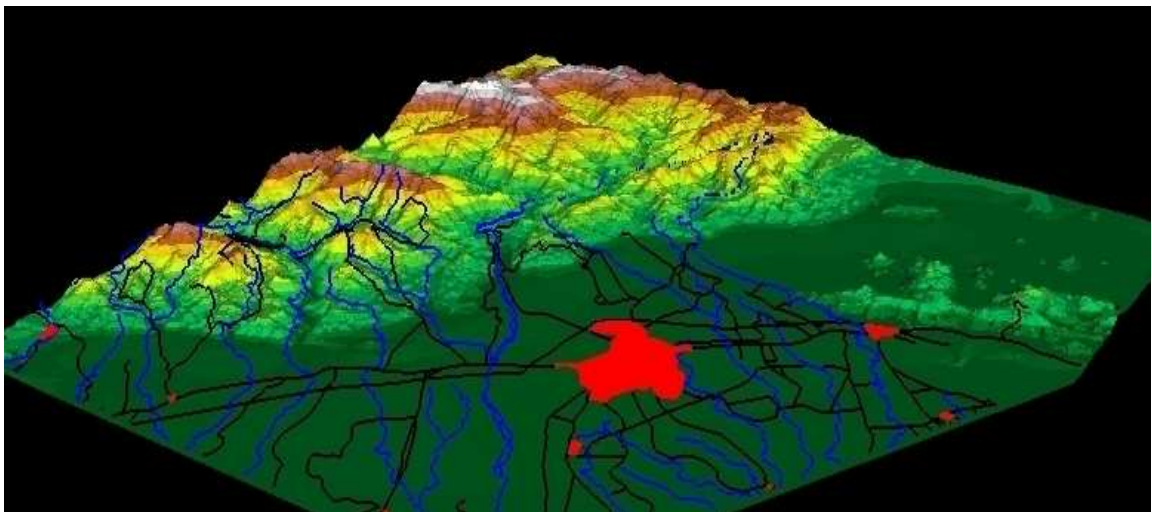


Figura 4. Modelo de formaciones geológicas y zonas de deposición.

## **CLIMA**

La información climática se tomó de la estación Acarigua – Aeropuerto que es la más cercana al área de estudio y con mayor cantidad de registros, está ubicada en la ciudad de Araure (Serial n° 0002264; coordenadas 09° 33 longitud norte 69° 41 longitud oeste, con una elevación de 226 mnsn (MARN 2001).

Según la clasificación de zonas de vida de Venezuela, basada en el sistema de Holdridge (Ewel y Madriz 1968), el sector corresponde al Bosque Seco Tropical, ya que el régimen de precipitación, temperatura y altura, lo correlaciona. Según BIOCENTRO (1996), en el área de estudio existe homogeneidad estacional, con dos periodos bien marcados. Esta bioestacionalidad, comienza con un periodo lluvioso desde mayo hasta octubre y uno seco desde diciembre hasta marzo, siendo abril y noviembre considerados como meses de transición entre ambos periodos representativamente.

### ***Precipitación***

La precipitación media anual es de 1550 mm, para el periodo 1987-2001, siendo el mes de mayor precipitación junio con una media de 309 mm.

### ***Evaporación***

La evaporación promedio anual para el periodo (1987- 2001) es de 1832 mm. Con un valor máximo de 278 mm y mínimo de 87 mm, los valores máximo de evaporación promedio mensual ocurre en el mes de marzo y la mínima que se presenta en el mes de septiembre.

### ***Temperatura***

La temperatura media anual es de 26,4 °C, presentándose valores de temperaturas medias máximas mensuales promedios de 31,7 °C, y temperaturas promedios mínimas mensuales de 22,2 °C. Siendo julio el mes más frío con temperaturas de 24,8 °C, y el mes más cálido marzo con temperatura de 27,3 °C.

### ***Humedad relativa***

La humedad relativa media en promedio es de 80 %, siendo la máxima media de 94 % y mínima media de 52 %. El valor máximo es reportado en los meses de agosto y septiembre (87 %) y mínimo en el mes de enero (70 %).

### ***Insolación***

El promedio del periodo de horas luz es de 7,0; siendo febrero el mes de mayor insolación, presentando 8,9 horas luz y mayo es el mes de menor insolación con un

valor de 4,9 horas luz. La insolación máxima absoluta es de 12,1 horas luz y la mínima absoluta 0 horas luz.

### ***Viento***

Los vientos predominantes son los alisios húmedos superficiales que provienen del Océano Atlántico y del mar Caribe, producidos por la circulación atmosférica en el hemisferio norte. Dentro del área de estudio, los vientos y el flujo de aire están influenciados de acuerdo a la época del año. La velocidad media promedio del viento es de 10,4 km/h con una dirección prevaleciente Norte y Noroeste; la velocidad máxima promedio es de 75 km/h, diciembre a mayo y de norte Norte Noroeste los meses restantes.

### ***Radiación solar***

La radiación solar media promedio anual es de 448 cal/cm<sup>2</sup>día, con valores máximos absolutos promedios de 746 cal/cm<sup>2</sup>día y mínimos absolutos promedios de cal/cm<sup>2</sup>día.

### ***Manejo agronómico del cultivo***

El cultivo de arroz en la zona de estudio es extenso, ya que casi todos los suelos son manejado bajo la misma modalidad de siembra por batido o fangueado, la fertilización se realiza con aplicaciones entre 25 y 45 días después de la siembra en dosis de 120kg N, 20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 K<sub>2</sub>O, los terrenos son nivelados con la intención de mantener laminas de agua muy eficientemente; el control de maleza y plaga se realiza con diferentes agroquímicos, los cuales pueden variar de acuerdo a la edad del cultivo.

### ***Selección de parcelas y Diseño experimental.***

El trabajo se realizó en los años 2004 a 2005, en fincas cultivadas con arroz, la primera etapa consistió en realizar un recorrido en toda la zona (municipio Araure y Agua Blanca, estado Portuguesa) para luego seleccionar cuatro fincas (Cocotal, El Rey, RR y Chaparral).

A fin de cumplir con los objetivos planteados se determinó la ubicación espacial de las fincas y se seleccionó un lote por cada finca de aproximadamente 2 hectáreas, a los cuales se les realizó un monitoreo en varias fases del cultivo: antes de siembra, siembra, 45 días y 90 días; la evaluación fue ejecutada en el agua, suelo y sedimentos siendo las variables: fósforo, potasio, calcio, magnesio, nitrógeno, materia orgánica, pH, CE .

Las parcelas seleccionadas en cada finca se les aplicó un manejo similar en cuanto a riego proveniente de pozo profundo, La siembra se realiza sobre suelo por batido o fangueado con buena nivelación, con aplicaciones de fertilizantes (120kg N, 20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 60 K<sub>2</sub>O) y control de maleza y plaga con agroquímicos.

Se tomaron muestras para análisis de calicata en tres de las fincas, a las cuales se les realizó análisis físicos, químicos y biológicos, antes de la siembra en la parcela seleccionada por finca, para ello se utilizó la metodología de levantamiento de suelo por el Soil Survey División Staff (1993).

### ***Diseño de muestreo en las parcelas***

El diseño consistió en cuatro parcelas (fincas), seleccionadas al azar, con arreglo de muestras compuestas, con tres repeticiones. Las variables evaluadas en suelo, agua y sedimentos se ilustran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Variables analizadas.**

<b>En suelo.</b>	<b>En agua</b>	<b>En sedimentos</b>
Materia orgánica (%).	Nitrógeno tota (ml/l%).	Materia orgánica (%).
Fósforo (ppm).	Fósforo Total (ml/l).	Fósforo (ppm).
Potasio (ppm).	Potasio (ml/l).	Potasio (ppm).
Calcio (ppm).	Calcio (ppm o ml/l).	Calcio (ppm).
Magnesio (ppm).	Magnesio (ppm o ml/l).	Magnesio (ppm).
pH	pH	pH
Conductividad eléctrica (C.E)	Conductividad eléctrica (C.E)	Conductividad eléctrica (C.E)
		Sólidos sedimentables (ml/l y g/l)

#### **Descripción del muestreo.**

**En Suelo:** para tomar las muestras en el suelo se realizó en dos frentes, el primero consistía en realización de calicata por el método antes señalado y el segundo que fue en cada parcela donde se definieron tres líneas en dirección Norte – Sur separadas entre sí, que conformaron las muestras compuestas de suelo, la distancia por cada sub-muestra fue entre seis y ocho metros en función del ancho de la melga. En cada línea se tomaron ocho sub-muestras, que conformaron una muestra compuesta por línea. Cada una de ellas conformó una repetición para un total de tres repeticiones por melga, las cuales fueron analizadas en laboratorio. Este procedimiento se realizó para cada fase o periodo considerado en la investigación, con un arreglo factorial = 4 parcelas X 3 repeticiones X 3 periodos o fecha = 36

#### **En Agua:**

*Pozo y salida de melga:* En este caso de la muestra en el agua fue constituida por 8 sub-muestras en pozo, melga y salida, para un total de tres muestras por finca, obteniendo se el siguiente diseño:

Arreglo factorial = 4 parcelas X 3 repeticiones X 3 sitios o lugares = 36

*Melga:* Se utilizó un procedimiento similar al suelo, en el que también se establecieron tres líneas espaciales, con ocho sub muestras, para conformar una muestra compuesta, para un total de tres muestras (repeticiones), para su análisis en laboratorio.

Arreglo factorial = 4 parcelas X 3 repeticiones X 4 periodos o fecha = 48

Esta practica se realizó en la salida, antes de siembra, en la siembra, a los 45 días después y a los 90 días (fin ciclo); las muestras de agua fueron preservadas a bajas temperaturas en cava para su traslado al laboratorio.

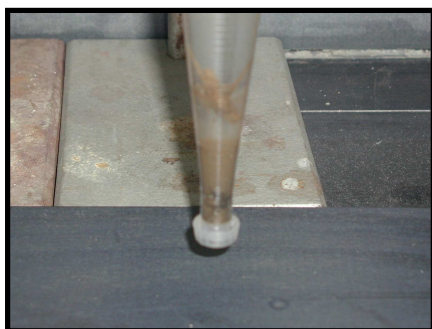


**Figura 5. Captación de muestra a la salida de la melga.**

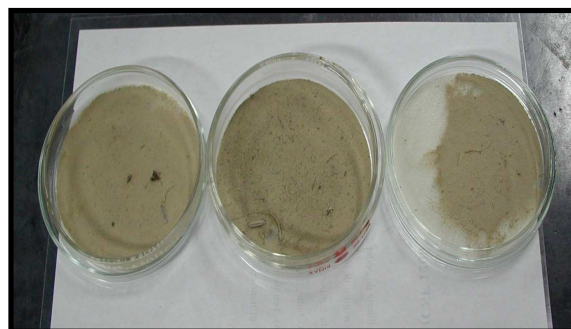
**En Sedimentos:** se tomaron ocho sub muestras de sedimentos a entrada o fuente de agua (pozo) y salida (descarga) con repeticiones similares a las anteriores en el periodo de siembra, 45 días y a los 90 días. Estas muestras se colocaron en recipientes de 4 litros aproximadamente, para llevarse al laboratorio. En este, las muestras se colocaron en embudos de sedimentación (Figura 6 y 7), para luego ser secados y pesados. Posteriormente se realizaron análisis químicos para conocer las concentraciones de elementos.

Arreglo factorial = 4 parcelas X 3 repeticiones X 3 periodos = 36

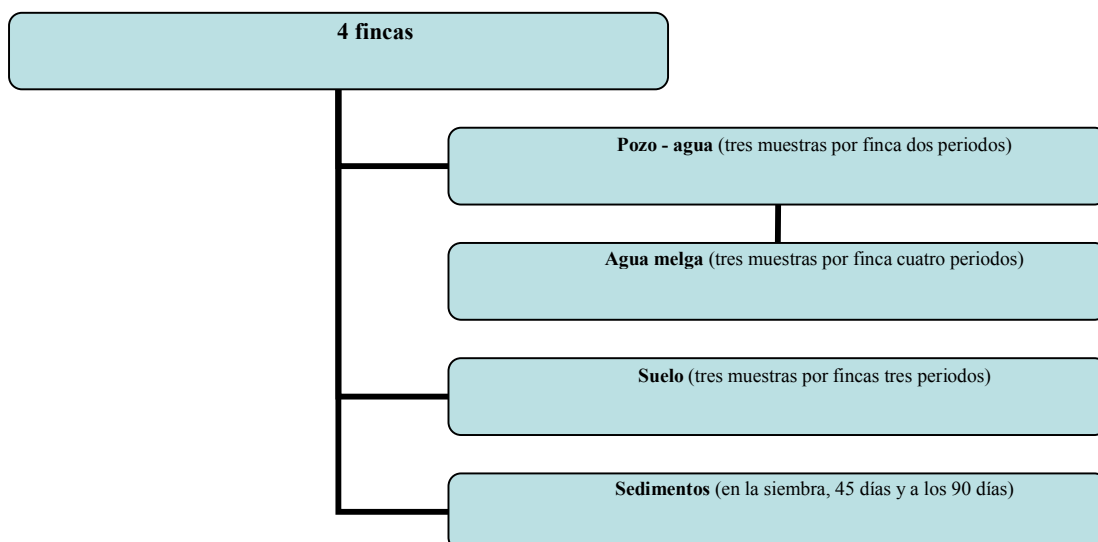
Los métodos químicos utilizados en laboratorio fueron los siguientes: Materia orgánica por Walkey – Black; Sales solubles; conductividad eléctrica; fósforo por Olsen o Bray; potasio por acetato de amonio – fometría de llama; calcio y magnesio por acetato de amonio pH 7 – Absorción Atómica: Textura Bouyusco; CIC por cloruro de bario.



**Figura 6. Cono de sedimento.**



**Figura 7. Cápsulas de secado de sedimentos.**



**Figura 8. Diseño estadístico.**

Los resultados estadísticos fueron analizados en el Software STATIXTIS, como variables no paramétricas, mediante las pruebas de Kruskal –Wallis. Los que resultaron con diferencias se les aplicó la prueba de comparación de media (MDS), al 5 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ***1.- Condiciones físicas y químicas de los suelos estudiados***

Los valores obtenidos de los análisis de suelo (Tabla 3) correspondientes a las parcelas seleccionadas de cada unidad de producción señalan que el pH se mantiene cercano a la neutralidad, lo que es un buen indicio en respuestas de producción; de igual manera los valores mostrados de conductividad eléctrica no reflejan condiciones de salinidad en ninguna de las fincas estudiadas. En el caso de las respuestas en las clases texturales se observa una variante en la profundidad del suelo, la cual favorece la acumulación de nutrientes en el caso de los suelos pesados debido a la disminución de la velocidad de infiltración.

Los resultados obtenidos son similares a los que indica autores como Bravo (2000) y Jaramillo y Duque (2003). Donde las características físicas del suelo poseen relación directa con el comportamiento químico con la producción del cultivo.

**Tabla 3. Análisis de calicata valores promedios por fincas.**

Finca	pH (Rel 1:2)	CE (dS/m)	Textura
Cocotal	7.6	0.4	FAa, A ; aumento en arcilla en profundidad
Chaparral	7.4	0.2	AL ; el contenido de arcilla es mayor al 40%
RR	7.4	0.2	FA; hay tendencia a disminuir la arcilla en profundidad
El Rey	6.7	0.4	FA, con aumento de arcilla en profundidad

En general se puede señalar que los suelos son representativos de las unidades de producción muestreados en cada finca, presentan texturas con alto contenido de arcilla, la cual aumenta en profundidad, esta condición era de esperar ya que en la preparación (batido) y acumulación de agua, constantemente la arcilla es lavada a los horizontes inferiores. En cuanto al comportamiento químico se observa que existe reacción positiva con ácido clorhídrico, por presencia de carbonatos de calcio en el horizonte.

En la Tabla 4, se presentan los valores máximos y mínimos de algunas variables químicas evaluadas en los suelos de las calicatas representativas en las fincas estudiadas, los resultados de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) muestran

que la Finca Cocotal posee los mayores valores, mientras que en las otras parcelas se mantienen similares valores de CIC. La saturación de bases se corresponde con la CIC, siendo la finca Cocotal la más favorecida. En el caso de calcio y fósforo, se observa poca variación en estos suelos, debido a que el material parental es rico en calcio y fósforo. Esto concuerda con lo señalado por Bravo (2000) cuando indica que la variación de los elementos del suelo depende del tipo y concentración de arcilla que facilitan la acumulación de elementos químicos, lo cual se evidencia en este suelo con los altos contenidos de arcilla.

**Tabla 4. Variables químicas de los suelos evaluados.**

Finca	Capacidad de intercambio Cationico cmol(+)kg <sup>-1</sup>	% saturación de base	Ca ppm mg kg <sup>-1</sup>	P ppm mg kg <sup>-1</sup>
Cocotal	min 38.8 max 49	min 88.3 max 97.4	min 3840 max 7995	min 12 max 30
Chaparral	min 26.1 max 38.2	min 80 max 83.7	min 4700 max 6050	min 9 max 30
RR	min 20.5 max 36.9	min 84.2 max 96.9	min 4200 max 5425	min 15 max 26

### ***Descripción del Suelo en las fincas seleccionadas:***

Calicata finca El Cocotal. (19-03-2003)

Posición (UTM; Datum. REGVEN) 486.546 E 1.062.042 N

Relieve: la unidad de suelo posee un relieve de plano con micro relieve liso y pendiente entre 1 a 0,5%.

Geomorfológicamente pertenece a la planicie aluvial Napa de desborde.

Drenaje: el drenaje externo es muy lento, ya que las parcelas fueron niveladas para evitar pérdidas de agua por drenaje superficial; en cuanto al drenaje interno muy lento en el primer horizonte y mediano en el segundo y tercer horizonte (Figura 11 y 12), motivado a las texturas y al efecto de taponamiento de poros por batido.

Vegetación: la vegetación actual se encuentra sobre bosques de galería (relictos de bosque), con una fuerte intervención; predominan Jobo (*Spondias mombin*); Drago (*Pterocarpus acapulcesis*).

Erosión: es probable la ocurrencia de erosión laminar ligera, ya que no existe indicio de mayores procesos erosivos.

Uso actual: estos suelos son utilizados con el cultivo de arroz, en ambos periodo seco y lluvioso. El horizonte orgánico no se diferencia por efecto del batido del terreno en las labores de preparación y siembra.

Descripción del perfil:

Predominio de texturas pesadas a medias.

Colores oscuros y amarillentos.

Estructura blocosa sub angular.

Presencia de carbonato en todo los horizontes.

Clasificación taxonómica:

Orden: Mollisol                      Aquic Haplustolls limosa fina.

Tabla 5 Descripción perfil.

0-44 cm Ap	Textura Franco Arcillo arenosa, Estructura blocosas subangular, limite claro, permeabilidad lenta. color en seco marrón rojizo oscuro (5YR 2,5/2), consistencia muy dura; en húmedo marrón oscuro rojizo (5YR 3/2), consistencia firme, presencia de óxidos de hierro (manchas de óxidos de hierro), presencia de micro y mesofauna, presencia de raíces, reacción débil con HCL (6%), presencia de mica blanca, feldespatos en pequeñas cantidades, pequeños fragmentos granulares, el drenaje es muy lento, pH 7,5; CE 0,4 dS/m,
44 -65 cm BA	Textura franca. Estructura blocosa, limite inferior difuso, permeabilidad moderada. color en seco oliva (5Y 5/4), consistencia seca débilmente dura; en húmedo oliva (5Y 5/6), consistencia húmeda friable, no hay actividad de microorganismo, Inclusiones del horizonte superior oscuras, reacción moderada con HCL (6%), presencia de mica blanca, el drenaje moderado, pH 7,7; CE 0,4 dS/m.
65-115 cm B1	Textura Franco limosa. Estructura granular, limite difuso con el horizonte superior, pero claro con el horizonte inferior, permeabilidad moderada. Color en seco amarillo olivo (5Y 6/8), consistencia seca blanda; en húmedo olivo pálido (5Y 6/4), consistencia muy friable no hay presencia de microorganismos ni de raíces, reacción violenta con HCL (6%), presencia de concreciones de calcio (2 cm), el drenaje es moderado, pH 7,7, CE 0,3 dS/m.
>115 cm C	Textura Arcillosa, estructura blocosa, limite claro, permeabilidad lenta, textura pesada. color en seco marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), consistencia seca dura; en húmedo marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2), consistencia húmeda friable, reacción violenta con HCL (6%), presencia de óxidos de hierro, en inclusiones, fluctuación de lamina de agua, drenaje es lento, pH 7,6; CE 0,3 dS/m.

**Tabla 6. Calicata fina el Cocotal (municipio Araure) (19-03-2003)**

Prof (cm)	Capacidad de Intercambio Iónico (CIC) Cmol(+) kg-1	% saturación de bases	% MO	Fósforo P	Potasio K		Calcio Ca		Magnesio Mg		Sodio Cmol(+) kg-1
				mg kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	
0-44	49	91,8	3	30	45	0,2	7995	38	500	6,7	0,1
44-65	38,8	97,4	1,1	12	10	0,1	3840	37	425	0,7	0,1
65-115	43,8	93,2	1,3	16	5	0,1	6500	40	500	0,7	0,1
>115	42,8	88,3	0,7	12	105	0,3	6955	35	500	2,4	0,1

**Tabla 7. Calicata fina el Cocotal (Municipio Araure) (19-03-2003)**

Prof (cm)	pH (Rel 1:2)	Cond Elec (dS/m)	Textura	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
0-44	7,5	0,4	FAa	46,8	31,2	22,0
44-65	7,7	0,4	F	40,8	17,2	42,0
65-115	7,7	0,3	FL	24,8	19,2	56,0
>115	7,6	0,3	A	18,8	53,2	28,8



**Figura 9. Perfil de suelo Finca Cocotal**



**Figura 10. Horizonte superior (0- 44 cm) inclusiones de un material de otro horizonte producto del batido del barro.**

Calicata finca El Chaparral. (28-03-2003)

Posición (UTM; Datum. REGVEN) 488.389 E 1.065.316 N

Relieve: la unidad de suelo posee un relieve de plano con micro relieve liso y pendiente entre 1 y 2%. Geomorfológicamente pertenece a la planicie aluvial, producto de la depositación del caño Potrero de Armo cercano al área de la finca.

Drenaje: el drenaje externo es muy lento, debido a las bajas pendientes, producto de la nivelación del terreno; el drenaje interno muy lento en todos los horizontes, causado por el alto contenido de arcillas expansivas (Figura 9 y Figura 10).

Vegetación: esta zona posee muy poca a poca vegetación a pesar de existir un cauce cercano, esto se debe a la fuerte intervención por la actividad agrícola.

Erosión: imperceptible, debido a la topografía plana.

Uso actual: en la actualidad estos suelos están siendo usados con cultivo de arroz, en ambos periodos.

Descripción del perfil:

Predominio de texturas arcillosas

Colores oscuros y amarillentos.

Estructura blocosa compacta a nivel de primer horizonte.

No existe reacción de carbonatos, con excepción del último horizonte.

Clasificación taxonómica:

Orden: Alfisol            Vertic Enpiaqualfs fina.

**Tabla 8. Descripción perfil.**

0 - 17 cm	Textura franco arcillosa; color en seco marrón (7,5YR 4/4), consistencia muy dura; en húmedo marrón oscuro (7,5YR 3/2); consistencia dura en seco, firme en húmedo, adhesiva y plástica en mojado; estructura blocosa subangular, grietas en el suelo profundas, límite difuso, permeabilidad lenta; presencia de óxidos de hierro en las raíces del cultivo; presencia de poca actividad biológica, presencia de raíces, no hay reacción con HCL (6%), drenaje es muy lento internamente, pH 7,0, CE 0,3 dS/m.
17 -51cm	Textura arcillosa, color en seco marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), gris muy oscuro (10YR 3/1); consistencia dura en seco, firme en húmedo y adhesiva y muy plástica; estructura blocosa subangular, limite difuso, permeabilidad moderada; presencia de raíces en menor cantidad al horizonte superior, sin actividad de microorganismo, Inclusiones del horizonte superior oscuras en las caras de contactos, no hay reacción con HCL (6%), pH 7,3; CE 0,2 dS/m.
51 -64cm	Textura Arcillo limosa; color en seco marrón oscuro (10YR 3/3), consistencia dura; en húmedo marrón amarillento (10YR 5/4), consistencia dura en seco, firme en húmedo, adhesiva y muy plástica en mojado; Estructura blocosa subangular, límite difuso con el horizonte superior, pero claro con el horizonte inferior, permeabilidad moderada;, no hay presencia de microorganismos ni de raíces, no hay reacción con HCL (6%), pH 7,5, CE 0,1 dS/m
64-118cm	Textura Arcillo limosa; color en seco marronoso amarillo (10YR 6/6); en húmedo amarillo parduzco (10YR 6/8); consistencia dura en seco, firme en húmedo, adhesiva y muy plástica en mojado, Estructura blocosa subangular, límite claro, permeabilidad lenta, no hay reacción con HCL (6%), presencia de óxidos de hierro, en inclusiones, fluctuación de lámina de agua, drenaje interno lento, pH 7,65, CE 0,1 dS/m.
> 118 cm	Textura Arcillo limosa, estructura blocosa subangular; color en seco amarillo parduzco (10 YR 6/6); amarilloparduzco (10YR 6/8) en mojado; consistencia muy dura en seco, firme en húmedo muy adhesiva y muy plástica en mojado; límite difuso, permeabilidad muy lenta; reacción positiva con HCL (6%), pH 7,8, CE 0,1 dS/m.



**Figura 11. Vista de horizontes finca Chaparral**



**Figura 12. Parcela establecida con arroz, en arcillas expansivas, Finca Chaparral.**

**Tabla 9 Calicata fina el Chaparral (municipio Araure) (28-03-2003)**

Prof (cm)	Capacidad de Intercambio cationico (CIC) Cmol (+) kg-1	% saturación de bases	% M.O	Fósforo P	Potasio K		Calcio Ca		Magnesio Mg		Sodio Cmol(+) kg-1
				mg kg-1	mg kg-1	Cmol (+) kg-1	mg kg-1	Cmol (+) kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	
0-17	38.2	81.7	3.54	30	85	0.3	4950	23	625	7.7	0.2
17-51	30.6	83.7	2.26	21	80	0.3	6050	18	625	7.2	0.1
51-64	30	80	1.03	9	43	0.2	5225	16	1125	7.2	0.2
64-118	26.1	80.8	0.52	13	45	0.1	4700	14	1150	6.9	0.1
>118	32.5	97	0.39	12	35	0.1	5975	22	650	9.2	0.2

**Tabla 10 Calicata fina el Chaparral (municipio Araure) (28-03-2003)**

Prof (cm)	pH (Rel 1:2)	Cond Elec (ds/m)	Textura	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
0-17	7	0.3	FA	22.1	36.5	41.4
17-51	7.3	0.2	A	16.5	44.5	39.4
51-64	7.5	0.1	AL	14.1	44.5	41.4
64-118	7.4	0.1	AL	12.1	40.5	47.4
>118	7.8	0.1	AL	12.1	46.5	41.4

Fe	Cu	Mn	Zn	CICtotal	acidez int Cmol(+) kg-1
130	9	18	2	31.2	7
35	7	11	1	25.6	5
13	3	3	1	24	6
9	2	1	1	21.1	2
6	1	3	1	31.5	1

Calicata finca RR. (28-03-2003)

Posición (UTM; Datum. REGVEN) 485.581 E 1.061.058 N

Relieve: la unidad de suelo posee un relieve de plano con micro relieve liso y pendiente entre 1 y 2%. Geomorfologicamente se formo de la planicie aluvial, producto de las deposiciones de los cauces.

Drenaje: el drenaje externo es muy lento, debido a las bajas pendientes, producto de la nivelación del terreno; el drenaje interno muy lento en todos los horizontes, causado por el alto contenido de arcillas expansivas (Figura 11 yFigura 12), condicionando un solo horizonte (>112 cm) un movimiento rápido.

Vegetación: la única vegetación alta existente se limita al bosque de galería y está fuertemente intervenida.

Uso actual: en la actualidad estos suelos están siendo usados con arroz, cultivados en ambos periodos.

Descripción del perfil:

Predominio de texturas franco arcillosas

Colores oscuros y amarillentos.

Estructura blocosa compacta a nivel de primer horizonte.

Reacción positiva a carbonatos.

Clasificación taxonómica:

Orden: Alfisol

Aquic Haplustolls francosa fina.

**Tabla 11. Descripción de perfil.**

0 - 30 cm	Textura franco arcillosa; color en seco marrón oscura (10YR 3/3), en húmedo marrón grisáceo muy oscura (10YR 3/2); estructura blocosa subangular dura; consistencia dura en seco, firme en húmedo, adhesiva y plástica en mojado; grietas en el suelo profundas, límite difuso, permeabilidad lenta; presencia de óxidos de hierro en las raíces del cultivo; presencia de poca actividad biológica, presencia de raíces, presencia de mica blanca, feldespato y fragmentos granulares, existen caras de contacto. Moderada reacción con HCL (6%), drenaje es muy lento internamente, pH 7,1, CE 0,3 dS/m.
30 - 43 cm	Textura franco arcillosa; color en seco marrón grisáceo muy oscura (10YR 3/2), en húmedo gris muy oscuro (10YR 3/1); estructura blocosa subangular dura; consistencia dura en seco, firme en húmedo, adhesiva y plástica en mojado; límite difuso, no hay actividad biológica, presencia de raíces, existen algunas inclusiones oscuras. Moderada reacción con HCL (6%), drenaje muy lento internamente, pH 7,4, CE 0,2 dS/m.
43 - 60 cm	Textura franco arcillosa; color en seco marrón oscuro (10YR 3/3), en húmedo marrón amarillento (10YR 5/4); estructura blocosa subangular dura; consistencia dura en seco, friable en húmedo, adhesiva y plástica en mojado; límite claro; no hay actividad biológica; sin reacción al HCL (6%), drenaje lento internamente, pH 7,4, CE 0,1 dS/m.
60 - 112 cm	Textura franco; color en seco ligeramente amarillo parduzco (10YR 6/6), en húmedo amarillo parduzco (10YR 6/8); estructura blocosa subangular; consistencia débilmente dura en seco, friable en húmedo, poco adhesiva y plástica en mojado; límite difuso, presencia de óxidos de hierro, en inclusiones, fluctuación de lámina de agua, drenaje interno lento, pH 7,8; CE 0.1 dS/m.
> 112 cm	Textura Franco arenosa; Color en seco amarillo parduzco (10 YR 6/5) consistencia débilmente dura. En húmedo amarillo parduzco (10YR 6/8). Estructura blocosa débil, límite difuso, permeabilidad moderada; Reacción positiva con HCL (6%), drenaje interno mediano a rápido, pH 7,7; C.E 0,2 dS/ m.

**Tabla 12. Calicata finca el RR (municipio Araure) (28-03-2003)**

Prof (cm)	(CIC) Cmol (+) kg- 1	% saturación de bases	% M.O	Fósfor o P	Potasio K		Calcio Ca		Magnesio Mg		Sodio Cmol (+) kg- 1
				mg kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	mg kg-1	Cmol(+) kg- 1	mg kg-1	Cmol(+) kg-1	
0-30	20.5	95.1	3.24	26	45	0.3	4600	17	200	2	0.2
30-43	32.1	96.9	2.49	26	45	0.3	5125	23	245	7.7	0.1
43-60	31.6	84.2	1.66	20	45	0.2	5425	19	325	7.2	0.2
60-112	37.9	97.4	0.5	15	23	0.1	4450	30	200	6.7	0.1
>112	36.9	94.6	0.32	19	45	0.06	4200	28	225	6.7	0.1

**Tabla 13. Calicata finca el RR (municipio Araure) (28-03-2003)**

Prof (cm)	pH (Rel 1:2)	Cond Elec (ds/m)	Textura	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
0-30	7,1	0.3	FA	30.1	32.5	37.4
30-43	7.4	0.2	FA	32.1	34.5	33.4
43-60	7.4	0.1	FA	26.1	38.5	35.4
60-112	7.8	0.1	F	40.1	22.5	37.4
>112	7.7	0.2	Fa	88.1	10.5	1.4

Fe	Cu	Mn	Zn	CI total	acidez int (me/100)
96	8	18	2	19.5	1
50	5	10	2	31.1	1
32	2	7	2	26.6	5
10	2	3	1	36.9	1
21	1	5	1	34.9	2



**Figura 13. Vista de perfil del suelo Finca RR.**



**Figura 14. Vista de horizontes Finca RR**

## 2.- Características químicas del agua

### 2.1- Conductividad eléctrica en el agua en la melga.

Los resultados obtenidos en la conductividad eléctrica (mS/cm) en agua demuestran un descenso en el tiempo, con excepción de los encontrados a los 45 días en la finca el Rey, donde mostró un incremento de 100 %, con un valor promedio de 1047 mS/cm; este valor atípico es consecuencia de aplicaciones de fertilizantes granulados, días antes al muestreo de campo (Figura 15). Tal y como lo señala Rodier (1998) la aplicación de concentraciones de elementos (fertilizantes) que poseen sales se refleja en el agua, producto de su disgregación, aumentando la conductividad eléctrica.

Los valores de C.E monitoreados en el tiempo, se encuentran entre los siguientes rangos 302,67 mS/cm a 1047 mS/cm, los cuales son evidencia clara del movimiento de sales en el agua.

**Tabla 14. Resumen de pruebas estadísticas en conductividad eléctrica (C.E)**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	7.4000 0.0602 NS
FECHA	3	0.5000 0.7788 NS
F d V		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	29.0297 0.0022 **

La prueba estadística no paramétrica de Kruskal –Wallis (Tabla 14) no manifestó diferencias entre fincas ni fechas de muestreo a nivel independiente, sin embargo en la interacción finca\*fecha, se encontraron variaciones altamente significativas ( $P < 0.01$ ).

La interacción fecha\*finca en las comparaciones de medias ( $P < 0.05$ ) confirma que el cambio se observa en el período de siembra y a los 45 días después de la

siembra entre las fincas el RR y El Rey. En el resto de las otras parcelas no se observan variaciones entre si. Este resultado puede ser producto del manejo del cultivo, lo cual puede estar asociado con una mayor presencia de sales acumuladas por la fertilización, o aporte de sales por el agua de riego proveniente de pozo.

La Figura 15 muestra valores de conductividad eléctrica (mS/cm) que van de 803 a 407 antes de la siembra, 334 a 476 en la siembra y a los 45 días después de establecido el cultivo de arroz; para luego descender a 302 y 533 a los 90 días del cultivo. Este cambio en los valores de conductividad eléctrica del agua puede ser influenciado por los aportes directos de fertilizantes aplicados. Después de los 90 días los valores en el agua de la melga vuelven a comportarse similar a cuando se estableció el cultivo, indicando que existe un cambio entre el agua y el suelo para restablecer los valores (poder buffer). Urbano (1992) señaló que la conductividad eléctrica del agua (C.E), aumenta linealmente a medida que se reduce el contenido de agua, ya que se concentran las sales; también considera que un suelo es salino cuando la C.E (extracto de saturación) tiene valores superiores a 4 dS/m, el cual es equivalente a 2,56 g l<sup>-1</sup>, limite a partir del cual se produce trastornos en la planta por ende reducción de rendimientos.

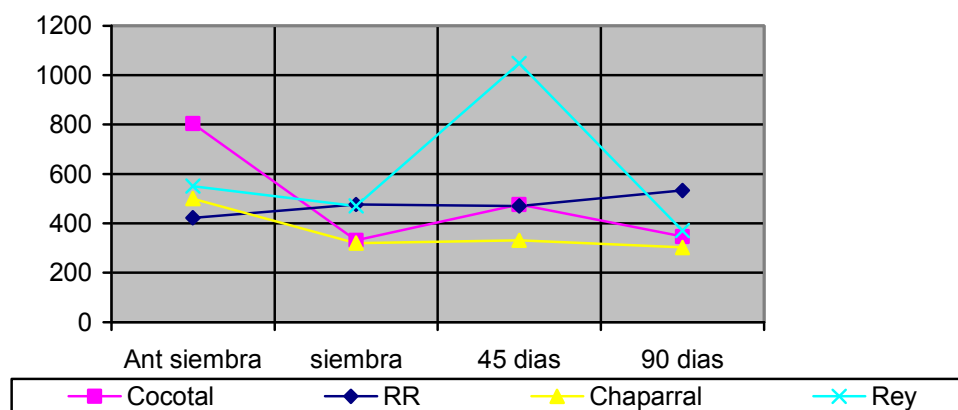


Figura 15. Cambios de Conductividad eléctrica a nivel de finca y épocas en el agua.

## 2.2.- Valores de pH en el agua contenida en las melgas.

En las cuatro fincas estudiadas (Tabla 15), se pudo observar que los valores de pH en el agua en las melgas disminuyen en el tiempo a medida que aumenta la edad del cultivo. El valor más alto fue obtenido en la finca RR (8,52) en la época de preparación del cultivo, seguido por la finca el Rey (8,32) y el valor más bajo fue reportado en la finca Chaparral al final del ciclo (7,01); estos valores tienen afinidad con la preparación del suelo ya que el sistema de batido genera cambios físicos y químicos por el movimiento de partículas en suspensión con elementos asociados al sustrato. En el transcurso del tiempo estos datos disminuyen a valores cercanos a la neutralidad por efecto de la sedimentación de partículas después de la siembra.

**Tabla 15. Resumen de valores de pH por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey	Promedio
Antes de siembra	8.15 ab	8.52 ab	7.56 ab	8.32 ab	8,13
Siembra	7.49 a	7.15 ab	8.18 ab	7.51 ab	7,58
45 días	7.15 ab	7.51 ab	7.49 ab	7.68 ab	7.45
90 días	7.33 ab	7.53 ab	7.01b	8.23 c	7.52

Los resultados señalan valores que fluctúan entre 7,01 a 7,68, lo que es de esperar ya que al desarrollarse el cultivo y con el suelo saturado, los hidroxilos (OH) precipitan haciendo que los valores tiendan a la neutralidad a medida pasa el tiempo.

Álvarez (1997), señaló que un suelo con lámina de inundación permanente, desplaza el aire que se encuentra en los poros del suelo, a su vez existe un efecto de reducción sobre el pH, que se desplaza hacia valores cercanos a la neutralidad y se produce la liberación de nutrimentos que se encontraban no disponibles para ser adsorbidos por el cultivo.

Si comparamos los valores de pH en el agua con los del suelo, existen valores más altos en el agua que en el suelo, lo que indica que el agua de riego utilizada para saturar las melgas aporta iones OH<sup>-</sup>, que tienden a neutralizarse debido a procesos de óxido reducción que se generan durante el ciclo del cultivo hasta el periodo de cosecha.

Los resultados estadísticos (Tabla 16) por fecha y finca muestran variaciones significativas, no obstante en la interacción fecha\*finca si hubo cambios importantes ( $P < 0.01$ ) en la finca Cocotal a la siembra y en la finca El Rey a los 90 días. No está claro el comportamiento encontrado en la finca El Rey en el periodo de cosecha (90 días), ya que lo esperado era una reducción del pH hacia la neutralidad, tal como se refleja en las otras fincas, en las que probablemente ocurrió una dilución de los hidroxilos (Bravo 2000).

Tabla 16. Resumen de pruebas estadísticas en pH.

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	7.7586 0.0513 NS
FECHA	3	3.5000 0.1738 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	29.5504 0.0019 **

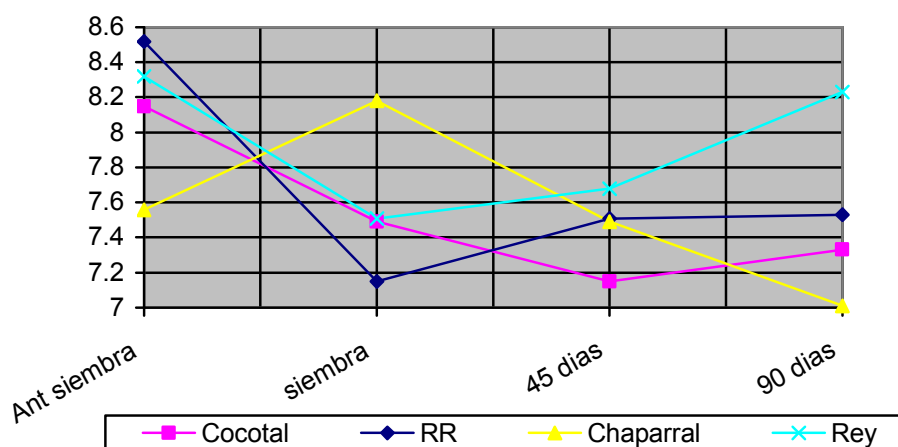


Figura 16. Cambios de pH en el agua durante el ciclo del cultivo.

#### 2.4.- Valores de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en el agua de la melga.

Los resultados (Tabla 17 y Figura 17) obtenidos indican que disminuye el contenido de magnesio en un 75 % en el agua a medida que transcurre la edad del cultivo. La finca El Rey mostró el valor mayor a los 45 días después de siembra, con tendencia posteriormente a decrecer, como las demás parcelas. La fluctuación del magnesio en el agua de las melgas se encuentra entre  $4,57 \text{ mg l}^{-1}$  y  $19 \text{ mg l}^{-1}$ .

Similar a lo anterior, solo se reportaron modificaciones significativas ( $P < 0.001$ ) en la interacción fecha\*finca para el Rey a los 45 días y para Chaparral a los 90 días. En el primer caso, el incremento pudiera estar asociado a los aportes de Mg por el agua de riego, aun cuando posteriormente decrece su contenido debido al consumo

del elemento por el cultivo. En segundo, caso la tendencia general para esta finca y el resto es una reducción del contenido de Mg debido al consumo de las plantas de arroz.

Casos semejantes fueron reportados por Salive (1995), en campos arroceros de las Mesas de Ibagué Colombia.

**Tabla 17. Resumen de valores de Magnesio por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Antes de siembra	21,40ab	13,13 ab	4,57 ab	10,00 ab
Siembra	3,83 ab	7,70 ab	12,77 ab	8,60 ab
45 días	7,70 ab	8,60 ab	3,83 ab	19,73 b
90 días	5,67 ab	7,77ab	5,57a	12,20 ab

Se puede indicar que el magnesio en el agua contenida en las melgas disminuye a medida que el cultivo se desarrolla, lo que es de esperar ya que las necesidades o requerimientos del cultivo incrementan con el tiempo (Domínguez 1989).

**Tabla 18 Resumen de pruebas estadísticas en Magnesio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	11.3831 0.0198 NS
FECHA	3	4.4853 0.2136 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	45.4023 0.0001 **

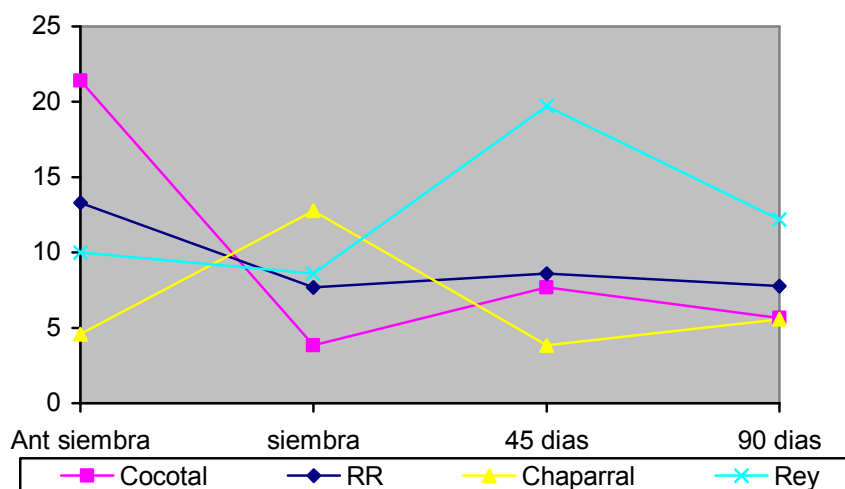


Figura 17. Cambios de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua en el ciclo del cultivo

### 2.3.- Valores de Calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua contenida en la melga.

Los resultados obtenidos (Tabla 19 y Figura 18) del elemento calcio en el agua, están comprendidos entre los rangos  $45,33 \text{ mg l}^{-1}$  y  $159,67 \text{ mg l}^{-1}$ . Solo tres de las fincas evaluadas manifiestan un crecimiento monomodal en los valores; es decir la cantidad de calcio aumenta a medida que crece el cultivo, luego desciende en el periodo de maduración (90 días).

Para la finca Cocotal el comportamiento es inverso, el valor mayor lo manifiesta al inicio del ciclo (antes de siembra) y luego disminuye paulatinamente a medida que aumenta la edad del cultivo.

Tabla 19 Resumen de valores de Calcio por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Antes de siembra	150.33 ab	54.93 ab	45.33 ab	83.33 ab
Siembra	53.53 ab	66.37 ab	93.27 ab	116.43 ab
45 días	66.37 ab	116.43 ab	53.53 ab	159.67 b
90 días	45.93 ab	79.27 ab	48.03 a	68.37 ab

En general, el contenido de calcio presente en el agua en las cuatro unidades de producción se corresponde con valores altos, producto del aporte de los pozos profundos, en el sistema de riego.

Domínguez (1989), reportó que el calcio en la solución del suelo se mueve en la rizósfera hacia la raíz con el movimiento del agua en cantidades muy superiores (10 a 20 veces) a las que absorbe la planta, siendo muy susceptible de perderse por lavado, a consecuencia del efecto de la carga de agua sobre el perfil del suelo.

Con respecto a los valores nutricionales en el cultivo de arroz, no debería esperarse una deficiencia de este elemento, ya que se encuentra en altas cantidades, tanto en el suelo como en el agua.

La prueba estadística entre fincas indica que existe diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), que confirma lo antes señalado. El valor menor de calcio lo presenta la finca Chaparral, esto puede deberse a concentraciones de Ca en el agua de riego en comparación con las otras. Con relación a los valores de calcio en el agua en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo, no se observaron cambios importantes, indicando esto que el calcio se mantiene estable en la melga a pesar de la aplicación de agua de riego con altas concentraciones de calcio.

Al evaluar la interacción finca\*fecha, se observa unas diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) donde la finca Chaparral se comporta diferente de la finca El Rey a los 90 días; lo que se asocia con los valores encontrados en el pH por el contenido de OH<sup>-</sup>, es decir existen indicios para señalar que el contenido de calcio en el agua difiere entre las dos fincas. Esta variación puede ser atribuida a la estratigrafía del acuífero, probablemente con mayor concentración de carbonato en la finca el Rey, produciendo cambios en el contenido de este elemento en el agua de las melgas.

**Tabla 20. Resumen de pruebas estadísticas en Calcio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	13.8540 0.0031*
FECHA	3	6.2094 0.1019 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	44.3741 0.0001 **

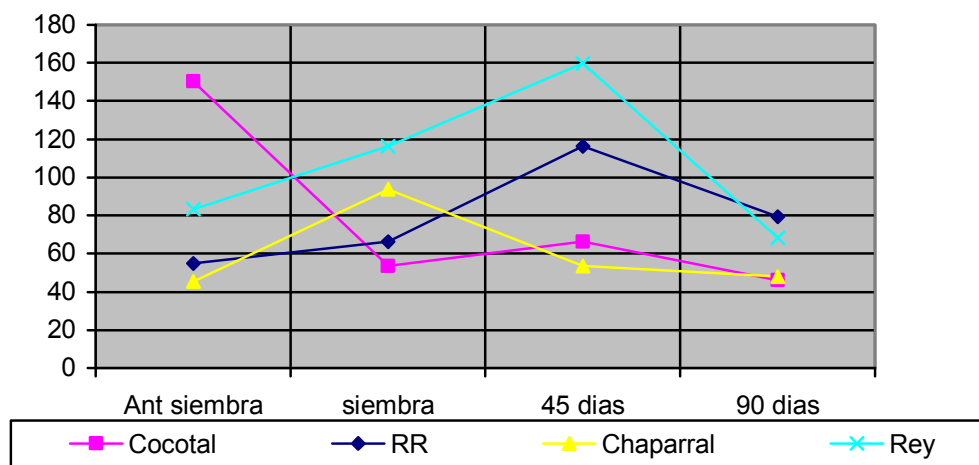


Figura 18. Cambios de concentración de calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.

### 2.5.- Valores de Potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga.

De acuerdo a Domínguez (1989) el potasio es uno de los elementos que se desplaza muy poco en el suelo; así se ha observado en evaluaciones realizadas por este autor durante 9 años consecutivos, consiguiendo un descenso máximo del potasio a 46 cm de profundidad en el suelo.

Para el presente estudio (Tabla 21 y Figura 19), el potasio evaluado en el agua contenida en las melgas en los diferentes periodos de desarrollo del cultivo no muestra un comportamiento homogéneo, ya que antes de la siembra, los valores de potasio eran inferiores a  $2.13 \text{ mg l}^{-1}$  en tres de las fincas (finca RR, Chaparral y El Rey), en la siembra el contenido de potasio aumentó y posteriormente descendió al final del ciclo; lo inverso ocurrió con la finca Cocotal, que con un valor de  $5.57 \text{ mg l}^{-1}$  de K al inicio (antes de siembra), disminuyó para el momento de la siembra, para después fluctuar similar a los resultados de las otras fincas. Estos valores difieren de lo señalado por Bravo (2000) y Mogollon (2000), quienes señalaron que la pérdida por lavado de potasio es generalmente muy bajo, especialmente en suelos cultivados.

Tabla 21. Resumen de valores de Potasio por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Antes de siembra	5,57 ab	0,87 a	2,13 ab	0,70 a
Siembra	1,33 ab	8,00 ab	3,57 ab	2,53 ab
45 días	8,00 ab	2,53 ab	1,33 ab	4,57c
90 días	2.63 ab	3,37 ab	4,77 ab	0,87 ab

Al igual que casi todas las variables mencionadas anteriormente, no se encontró diferencia entre finca ni fecha, la variación significativa ( $P < 0.001$ ) aparece nuevamente con la prueba de Kruskal –Wallis en la interacción de finca\*fecha, en la cual mostraron cambios bruscos con el incremento a los 45 días después de la siembra y a los 90 días respectivamente, lo cual coincide con la aplicación de fertilizante en este periodo en las fincas El Rey y Chaparral en los días 45 y 90.

**Tabla 22. Resumen de pruebas estadísticas en Potasio.**

F d V	Gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	4.8938 0.1797 NS
FECHA	3	4.4853 0.2136 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	42.6013 0.0002 **

El contenido mas bajo de potasio (Figura 21) se encontró en la finca El Rey antes de la siembra ( $0,70 \text{ mg l}^{-1}$ ), y el valor máximo correspondió a  $8 \text{ mg l}^{-1}$  para la finca RR y Cocotal; en la siembra y a los 45 días.

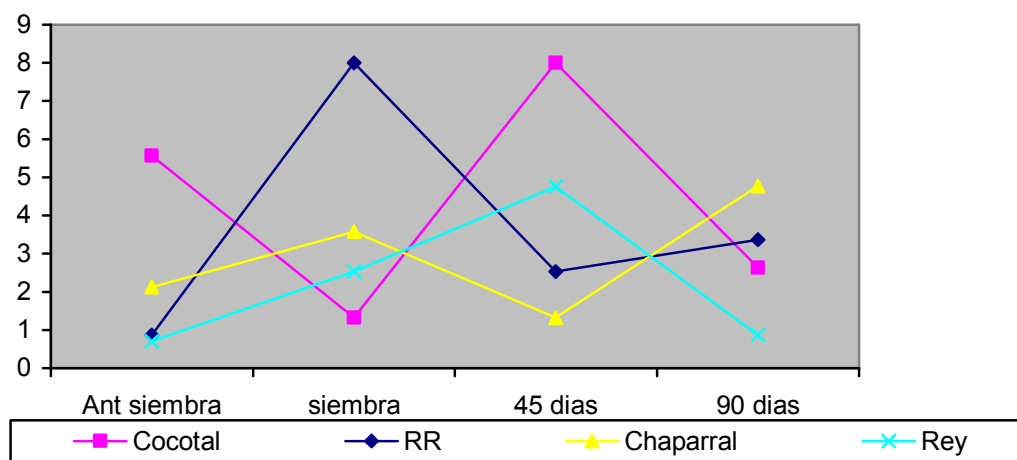


Figura 19. Cambios de Potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.

## 2.6.- Valores de Nitrógeno total (Nt) en ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga del agua.

En la Tabla 23 y Figura 20 se aprecian valores de nitrógeno total muy bajos antes de la siembra y en la siembra (1 a 3  $\text{mg l}^{-1}$  Nt), los cuales pudiesen ser consecuencia del movimiento de elementos en el suelo por efecto del batido (preparación de terreno); en el periodo de siembra se observa la menor concentración, posiblemente por actividad biológica, o captura del nitrógeno por enlaces con arcilla.

El cambio drástico se manifiesta a los 45 días después de la siembra, con un incremento en todos los valores de las fincas siendo más notable en la finca RR a los 45 días después de la siembra (5,65  $\text{mg l}^{-1}$  de Nt), posteriormente a los 90 días ocurre un descenso con excepción de la finca Cocotal, en la que se aprecia un ligero incremento, como consecuencia de un reabono fraccionado aplicado en las últimas etapas del cultivo (llenado y maduración de grano de arroz).

Tabla 23. Resumen de valores de Nitrógeno Total por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Antes de siembra	1,00 ab	0,18 ab	0,85 ab	0,30 ab
Siembra	0,07 ab	0,10 ab	0,09 ab	0,07 ab
45 días	2,27 ab	5,67 ab	1,30 ab	0,90 b
90 días	3,37 ab	0,70 ab	0,5 a	0,97 ab

A diferencia de los resultados anteriores, el análisis estadísticos indica que existen modificaciones importantes ( $P < 0.01$ ) en las fechas de evaluación, y la prueba de comparación de media corrobora lo antes señalado con relación a la finca Chaparral que presentó valores mas altos que la finca el RR.

Otra cambio se muestra en la interacción de finca\*fecha, siendo este altamente significativo ( $P < 0.01$ ), entre la finca Chaparral a los 90 días con la finca El Rey. Este mismo resultado se repite en las variables Mg y K y el Rey a los 90 días.

**Tabla 24. Resumen de pruebas estadísticas en Nitrógeno Total.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	3.4027 0.3336 NS
FECHA	3	32.3585 0.0000 **
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	15	42.3244 0.0002 **
COMPARISONS OF MEAN RANKS OF NT BY FECHA		
FECHA	RANK	GROUPS
3	38.667	a
4	29.625	ab
1	22.375	ab
2	7.3333	b

Los resultados de la Figura 20, concuerdan con los esperados ya que el aumento del nitrógeno se asocia al plan de fertilización a los 45 días o antes, según el manejo agronómico aplicado en la zona, que coincide con lo expuesto por Castilla (2002), quien señala que la fertilización debe realizarse en la época de macollamiento del cultivo (21 - 41 días), con dosis de 150 kg/ha. Alvarez (1997) señaló que las plantas al final del ciclo pudiesen inducir cambios marcados en los valores de nitrógeno total, debido al consumo o volatilización cuando se fertiliza con urea.

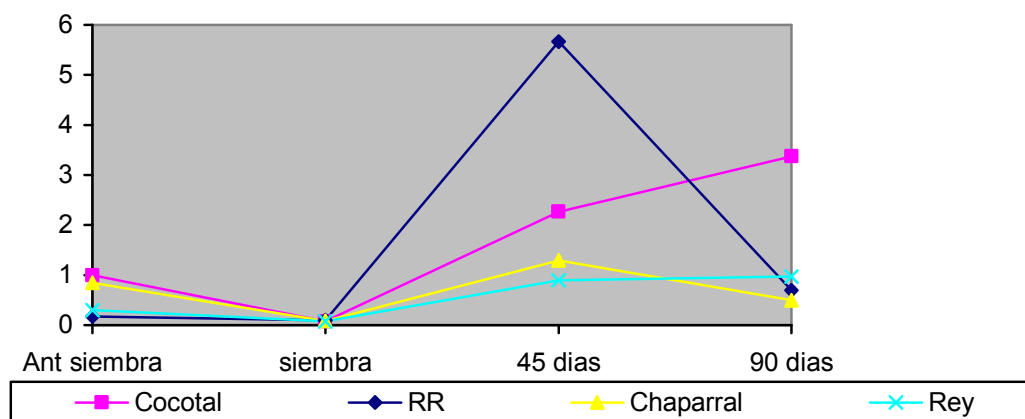


Figura 20. Cambios de Nitrógeno Total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el agua durante el ciclo del cultivo.

## 2.6.- Valores de Fósforo Total en ( $\text{mg l}^{-1}$ ) contenidos en las aguas de la melga.

En la Figura 21 y Tabla 25 se puede observar que el contenido de fósforo en el agua manifiesta valores bajos (menores de  $1 \text{ mg l}^{-1}$ ), con una pequeña variación en la finca RR. Para la fecha de siembra existe un incremento de los valores de aproximadamente 150 % para algunos casos, esto pudo deberse a la aplicación de fertilizantes fosfatados o preparación de suelo; luego que aumenta la edad del cultivo, los valores descienden y se mantienen similares hasta el final del ciclo.

Tabla 25. Resumen de valores de Fósforo Total por finca en el tiempo.

Fecha de	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Antes de siembra	0,06 ab	1,33 ab	0,18 ab	0,02 ab
Siembra	1,30 ab	2,27 ab	1,27 ab	5,67 ab
45 días	0,10 ab	0,07 ab	0,07 ab	0,08 b
90 días	0,05 ab	0,09 ab	0,07 a	0,03 ab

El análisis estadístico sobre pruebas no paramétricas no reflejó diferencias entre fincas, pero entre fechas, se observan cambios altamente significativos ( $P < 0.01$ ) siendo evidentes al momento de la siembra en comparación con los 45 días después de siembra y cosecha (90 días); de igual forma en la interacción de finca\*fecha, se observa variación ( $P < 0.01$ ), la cual esta influenciada por la interacción entre fincas y fechas; este mismo resultado se replica en las variable Mg, K, Nt, lo que llama la atención debido a la similitud en el comportamiento.

**Tabla 26. Resumen de pruebas estadísticas en Fósforo Total.**

<b>F d V</b>	<b>gl</b>	<b>VALOR DEL ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN Y SU SIGNIFICANCIA</b>
FINCA	3	2.2305 0.5260 NS
FECHA	3	25.8342 0.0000 **
		<b>VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA</b>
FINCA*FECHA	15	42.3244 0.0002 **
<b>COMPARISONS OF MEAN RANKS OF Fósforo Total BY FECHA</b>		
FECHA	RANK	GROUPS
2	41.708	a
1	22.083	.. b
3	19.208	.. b
4	15.000	c

Castilla (2002) indicó que en los suelos alcalinos se presentan concentraciones altas de calcio, las cuales afectan la disponibilidad de fósforo, potasio y nitrógeno, ya que no se forman complejos dentro del suelo. Para el caso en estudio los suelos tienen alto contenido de calcio, haciendo que este precipite en el suelo muy rápidamente, por otra parte el fósforo puede fijarse con la fracción coloidal o las arcillas presentes en el suelo y por último este pudo ser consumido por el cultivo.

Los resultados expuestos anteriormente se ajustan a los referidos por López y López (1990) y los de Prosad y Power (1997), cuando señalan que la reacción del fósforo con el calcio forma procesos de nucleación de cristales de fosfato de calcio, los cuales precipitan rápidamente, lo que explicaría el descenso drástico de los valores.

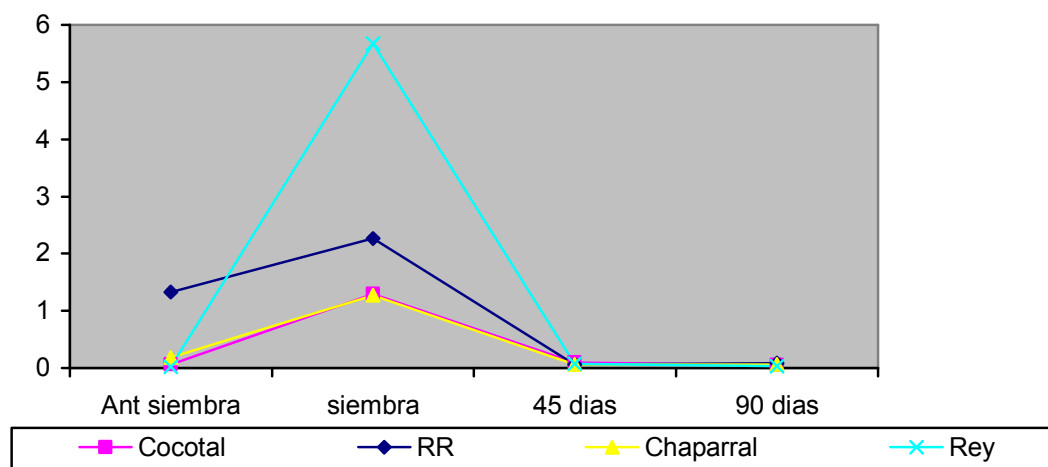


Figura 21. Cambios de Fósforo Total (mg/l) en la finca y épocas en el agua.

### 3.- Comparación de las variables químicas evaluadas en la fuente de agua – melga – salida.

#### 3.1- Comportamiento de la Conductividad eléctrica (C.E) (Pozo-melga-salida).

Los valores determinados para esta variable en la fuente o entrada de agua (pozo), en la melga y en la descarga o salida de agua de la melga (parcela en estudio), no mostraron un patrón regular de comportamiento en las cuatro fincas evaluadas. Por el contrario, se observó una mayor conductividad eléctrica en el agua de la fuente en las cuatro fincas, en comparación con los valores detectados en la melga y con la descarga, lo que presupone que existe un aporte de sales en el agua utilizada para riego (Figura 22).

La mayor C.E, fue reportada por la finca El Rey con 1003,3 mS/cm, seguida por la finca Cocotal con 872,33; y el menor valor lo reporta la finca Chaparral, al igual que la salinidad del suelo son valores bajos, según Blasco y De la Rubia (Laboratorio de suelo de IRYDA, 1973), el agua es de aceptable conductividad eléctrica.

Tabla 27. Resumen de valores de conductividad eléctrica mS/cm (pozo-melga –salida).

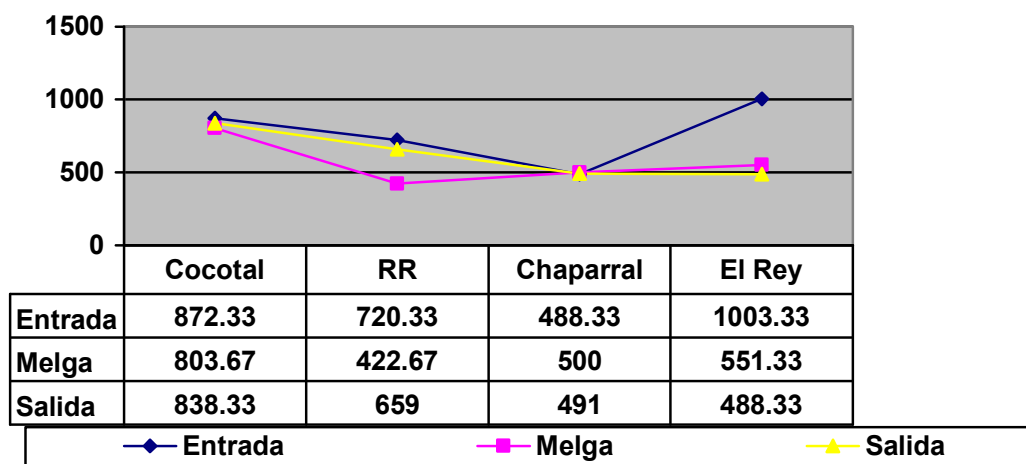
Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	872,33 ab	720,33 ab	488,33 ab	1003,33 b
Melga	803,67 ab	422,67 ab	500,00 ab	551,33 ab
Descarga	838,33 ab	659,00 ab	491,00 a	488,33ab

Los análisis estadísticos señalan que solo existió variación en la interacción de finca\*ubicación ( $P < 0.01$ ), entre agua de pozo de la finca Chaparral y el agua de salida de la finca El Rey.

**Tabla 28. Resumen de pruebas estadísticas para conductividad eléctrica.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	4.2000 0.2407 NS
UBICACIÓN	2	1.500 0.4724 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA * UBICACIÓN	11	32.5209 0.0006 **

Urbano (1992), señala que la conductividad eléctrica del agua aumenta linealmente a medida que se eleva su concentración salina. Ello no significa que el efecto en el suelo sea lineal, debido a mecanismo de regulación en el aporte de sal por agua profunda, la cual es capturada y regulada por el suelo cuando se realiza el riego.



**Figura 22. Cambios de la Conductividad Eléctrica (mS/cm) (pozo-melga –salida).**

### 3.2- Comportamiento del pH (Pozo-melga-salida).

Con respecto al pH se puede observar (Tabla 29 y Figura 23) que el agua de pozo presenta los menores valores. Los valores de pH en la fuente de agua pueden ser considerados como neutros. En la melga se observa que existe un cambio con tendencia al aumento de los valores de pH (valores básicos) cercanos a valores de 8. En la descarga se puede notar un descenso en el pH del agua la finca El Rey, en el resto de las fincas se obtuvieron valores de pH inferiores a los de la melga.

**Tabla 29. Resumen de valores de pH (pozo-melga –salida).**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	6,90ab	6,95ab	7,07ab	6,76ab
Melga	8,15a	8,52ab	7,56ab	8,32ab
Descarga	8,24ab	7,89a	7,63c	7,07ab

Los análisis estadístico, efectuados solo revelan cambios importantes en ubicación ( $P>0,01$ ) siendo el agua de pozo diferente a la de las melga. Cuando se compara la interacción finca\*ubicación, se detecta diferencias altamente significativa ( $P<0.01$ ) entre la finca el Rey y la finca Chaparral.

**Tabla 30. Resumen de pruebas estadísticas para pH.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	2.6000 0.4575 NS
UBICACIÓN	2	6.000 0.0498*
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* UBICACIÓN	11	32.8803 0.0006 **

Todos los valores de pH se encuentran en un rango de 6,9 a 8,53; lo que indica que existe una variación desde los pozos hasta las salidas del agua. De acuerdo con los resultados obtenidos existe un arrastre o carga de hidrogeniones por el agua del pozo, ya que dentro de la parcela de arroz, se observan los mayores valores. Esta respuesta puede ser consecuencia de la solubilización del calcio en el suelo y del efecto de batido que libera y oxigena el agua, obteniendo valores mayores.

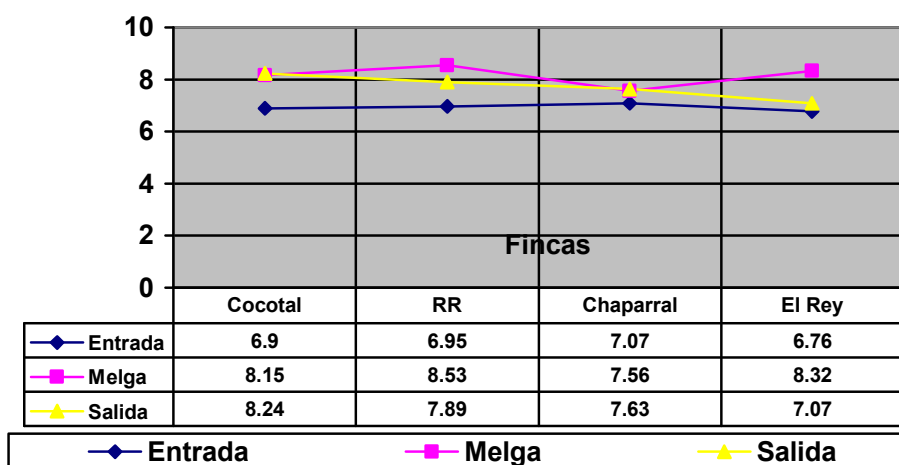


Figura 23. Cambios de pH (pozo-melga –salida).

### 3.3- Comportamiento del calcio (Pozo-melga-salida).

Los resultados obtenidos de la Figura 24 y Tabla 31, indican que el calcio se encuentra más alto en el agua de los pozos (100,67 a 180 mg l<sup>-1</sup>) de las cuatro fincas que en la melga (45,93 a 150 mg l<sup>-1</sup>) y la descarga de agua (66,97 a 144,67).

Para las cuatro fincas en estudio los niveles de calcio siempre son mayores en el agua de riego, esto se debe a que el contenido de carbonato de calcio que está en la solución del agua aumenta en profundidad por efecto del lavado en el suelo; en la melga los valores se reducen en tres de las fincas (El Rey, Chaparral y RR), y solo la finca cocotal reporta valores mayores en la melga que en la descarga de agua.

Tabla 31. Resumen de valores de calcio (pozo-melga –salida).

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	161,67abc	111,00ab	100,67 abc	180,67cd
Melga (antes de siembra)	150,33cd	54,93 abc	45,33 abc	83,33 abc
Descarga	144,67d	93,27 abc	66,97a	100,67 abc

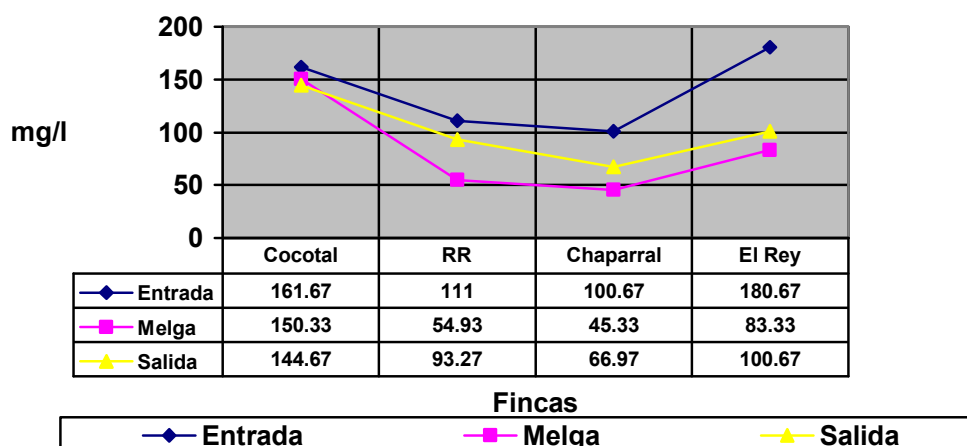
En este caso se mantiene la misma tendencia encontrada para la variable pH, donde la diferencia significativa es por ubicación (P<0.01), donde la Finca Cocotal manifiesta respuesta diferentes a la finca Chaparral en la descarga del agua

La otra variación detectada ( $P < 0.01$ ) es la interacción de finca\* ubicación (Kruskal –Wallis) donde la finca el Rey (pozo) se comporta diferente de la finca Chaparral (descarga).

**Tabla 32. Resumen de pruebas estadísticas para calcio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	8.2000 0.0421 NS
UBICACIÓN	2	6.5000 0.0388 *
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* UBICACIÓN	11	34.7124 0.0003 **

Se pudiese decir que el calcio que es aportado por el agua de riego se fija en el suelo y otra parte pasa a los sitios de descarga, parece que existe un movimiento interno en la parcela de arroz, el cual es realizado de forma natural, este comportamiento es planteado por Rodier (1998).



**Figura 24. Cambios de calcio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).**

### 3.4- Comportamiento del magnesio (Pozo-melga-salida).

Los resultados obtenidos en campo indican que el magnesio se encuentra en mayor cantidad en la melga de las fincas Cocotal, el Rey y RR. La tendencia de los

valores para pozo, melga y descarga es a la disminución, sin embargo existe un cambio en los valores en la parcela de la finca El Rey.

El valor mínimo ( $4,75 \text{ mg l}^{-1}$ ) esta representado por la finca el Chaparral en la melga y el máximo  $21 \text{ mg l}^{-1}$  entre la melga y descarga de la finca Cocotal.

El comportamiento evaluado indica que este elemento es retenido en la melga por los coloides en el suelo, o es absorbido por el ciclo del cultivo de arroz (Tabla 33 y Figura 25).

**Tabla 33. Resumen de valores de magnesio (pozo-melga –salida).**

Ubicación	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	17,70ab	11,07ab	9,83a	19,07ab
Melga	21,40ab	13,13ab	4,57ab	10,00ab
Descarga	21,17c	12,77b	11,40a	9,83ab

Al igual que muchas de las respuestas estadísticas en la presente investigación no existen diferencias entre finca ni ubicación; la diferencia evidente ( $P > 0.001$ ) aparecen en la interacción finca\*ubicación (prueba de Kruskal –Wallis) entre la finca Chaparral y la finca Cocotal (Tabla 34).

**Tabla 34. Resumen de pruebas estadísticas para magnesio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	3.4000 0.3340 NS
UBICACIÓN	2	0.5000 0.7788 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* UBICACIÓN	11	31.4617 0.0005 **

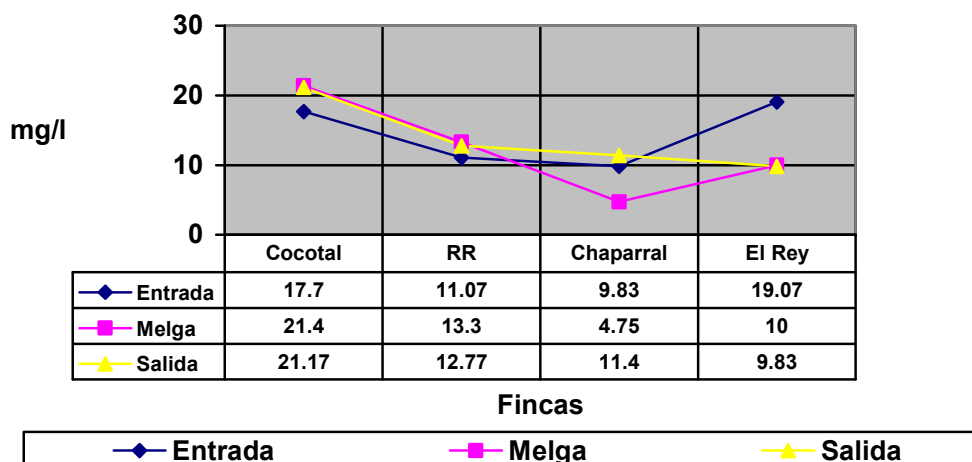


Figura 25. Cambios de Magnesio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).

### 3.5- Comportamiento del potasio (Pozo-melga-salida).

El potasio es un elemento móvil en la planta y se encuentra en el suelo en forma iónica como K, en la solución del suelo puede estar acompañado por Ca, Mg o Na, en condiciones de buen drenaje el contenido de potasio puede ser mas bajo que Ca y Mg intercambiable.

Los valores obtenidos en campo indican que el pozo no contienen prácticamente potasio el agua, ya que los valores oscilan entre  $0,3$  a  $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ ; los valores de la melga son intermedio ( $0,7$  a  $5,57 \text{ mg l}^{-1}$ ), y mayor concordancia en la salida del agua o descarga.

Los valores de potasio (Tabla 35 y Figura 26) en la melga supera casi 250 %, lo que significa que el agua de la melga moviliza potasio desde el suelo hasta el sitio de descarga, favoreciendo el lavado o pérdida de este elemento en el ciclo del cultivo.

Tabla 35. Resumen de valores de potasio (pozo-melga –salida).

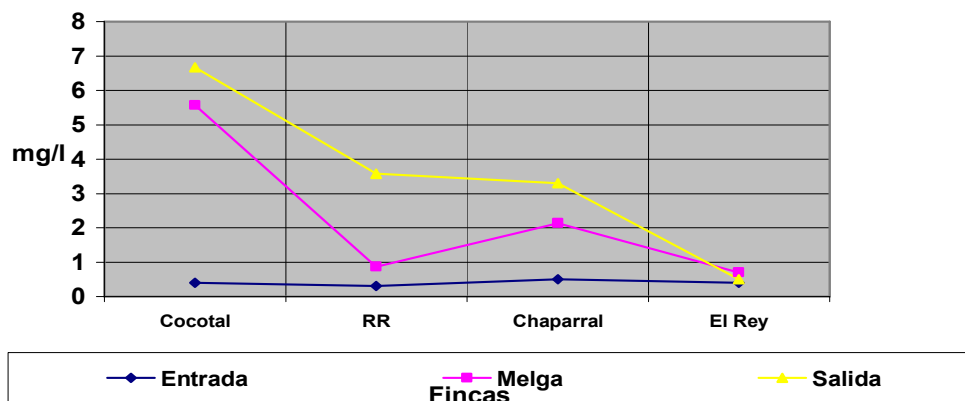
Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	0,40a	0,30ab	0,50a	0,40ab
Melga (antes de siembra)	5,57b	0,87ab	2,13ab	0,70ab
Descarga	6,67ab	3,57ab	3,30ab	0,50ab

En la misma tendencia anterior los resultados solo muestran modificaciones importantes ( $P>0.01$ ), manifestada en el agua de la melga de la finca Cocota (Tabla 36).

**Tabla 36. Resumen de pruebas estadísticas para potasio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	4.6552 0.1989 NS
UBICACIÓN	2	6.5000 0.0388 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* UBICACIÓN	11	30.6172 0.0013 **

Este cambio en el valor de potasio en el agua de la melga de la finca Cocotal puede estar asociado a aplicaciones previas de fertilizantes. Castilla (2002) señaló que la necesidad de fertilización con dosis alta de potasio se explican por su alto requerimiento en la nutrición del cultivo de arroz, por las pérdidas por lavado y fijación según el tipo de arcilla (2:1), al igual que por el equilibrio requerido con el nitrógeno.



**Figura 26. Cambios de potasio ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).**

### 3.6- Comportamiento del nitrógeno total (Pozo-melga-salida).

Si recordamos el nitrógeno es absorbido por las plantas como cationes  $\text{NH}_4$  o como cationes  $\text{NH}_3$ , y son considerados como elementos móviles, por esta razón sus deficiencias se presentan en las hojas inferiores o mas viejas; esta movilidad se presenta de igual forma en el agua, es por ello que la transformación del nitrógeno juega un papel fundamental en las aplicaciones y respuesta en el cultivo de arroz.

Con respecto al contenido de este elemento en las melgas, los valores obtenidos (Figura 27 y Tabla 37) también son bajos ( $0,3$  a  $1 \text{ mg l}^{-1}$ ) contrariamente a lo esperado por el efecto de aplicación de fertilizantes nitrogenados. No obstante, en la descarga se encuentran valores que duplican o exceden al de la melga o pozo; indicando esto que en la salida existe una pérdida de este elemento; estos resultados manifiestan que parte del fertilizante aplicado en el cultivo pasan a los cuerpos de agua naturales, ya que en el agua de pozo no se evidencia aporte de este elemento (nitrógeno total).

Tabla 37. Resumen de valores de nitrógeno total (pozo-melga –salida).

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	0,20	0,00	0,00	0,00
Melga	1,00	0,18	0,85	0,30
Descarga	1,47	1,27	2,40	0,00

El contenido de este elemento, no mostró un comportamiento distinto entre fincas, entre ubicación con la interacción finca\*ubicación.

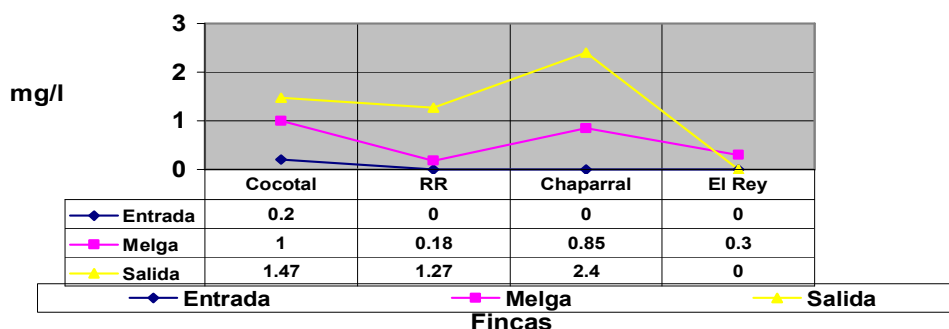


Figura 27. Cambios de nitrógeno total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).

### 3.7- Comportamiento del fósforo total (Pozo-melga-salida).

En cuanto al fósforo total, se observa que el movimiento es muy poco en los tres sitios evaluados, la única alteración, muy marcada es la de la finca RR; sin embargo el valor como tal no representa un incremento mayor a 1 mg l<sup>-1</sup> de este elemento (Figura 28).

En general el movimiento del fósforo total es muy poco tanto en el agua de pozo, como en la melga y en la salida o descarga, esto posiblemente sea consecuencia de reacciones que fijan el fósforo con el calcio, tal como se mencionó anteriormente (Tabla 38). En la finca RR se aprecia un cambio brusco en el agua de la melga, lo que pudiese estar asociado con la aplicación de fertilizantes.

**Tabla 38. Resumen de valores de fósforo total (pozo-melga –salida).**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Pozo	0,01ab	0,02ab	0,00ab	0,00 a
Melga	0,06ab	1,33ab	0,18ab	0,02c
Descarga	0,13ab	0,09ab	0,03c	0,00c

En concordancia con las respuestas encontradas en los otros elementos, tampoco se manifestaron variaciones entre las variables consideradas, con excepción de la interacción finca\*ubicación tanto en Chaparral como la finca El Rey muestra valores diferentes ( $P>0.001$ ) en la descarga y el pozo respectivamente (Tabla 39).

**Tabla 39. Resumen de pruebas estadísticas para fósforo total.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	4.2414 0.2366 NS
UBICACIÓN	2	4.1333 0.1266 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* UBICACIÓN	11	31.8162 0.0008 **

En general la movilidad del fósforo total es muy baja y las pérdidas son despreciables en la descarga, si comparamos con el nitrógeno. Similar

consideraciones señalo Álvarez (1997), cuando indica que el fósforo es el elemento que posee la menor movilidad entre los macro elementos.

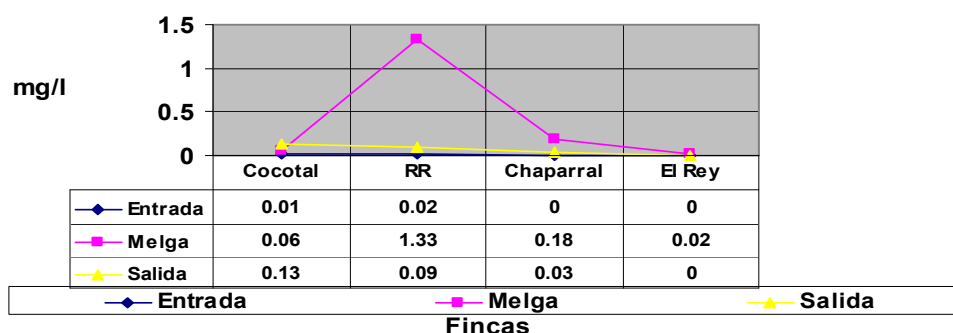


Figura 28. Cambios de fósforo total ( $\text{mg l}^{-1}$ ) (pozo-melga –salida).

#### 4.- Características químicas en el suelo.

##### 4.1.- comportamiento del pH en el suelo.

Bravo (2000) señala que la acidez activa está relacionada con la presencia de iones ( $\text{H}^+$ ) o aluminio intercambiable ( $\text{Al}^{+++}$ ); este es un indicador del grado de acidez o alcalinidad del suelo y es medido en unidades de pH. Sus valores se enmarcan entre 0 a 14, donde el punto neutro posee cantidades iguales de hidrogeniones ( $\text{H}^+$ ) e hidroxilos ( $\text{OH}^-$ ), correspondiendo a un valor de pH 7.

En las fincas evaluadas se puede observar (Tabla 41 y Figura 29) que existe variación en los valores con tendencia a disminuir a medida que se desarrolla el cultivo; estos valores de pH se manifiestan en tres de las cuatro unidades de producción estudiadas. Según Quintero (1999), las aplicaciones de abonos nitrogenados (urea y nitroplus) en suelos cálcicos, mejoran el pH a largo plazo en comparación con otros fertilizantes nitrogenados sólidos, debido a su poder acidificador, ya que la liberación de los  $\text{H}^+$  es mucho más eficiente; por otra parte, por efecto de la carga constante de la lámina de agua sobre el suelo, se produce un lavado en los horizontes superficiales (lavado de carbonatos), lo cual contribuye a la disminución del pH, en el suelo a lo largo del ciclo de cultivo de arroz.

Es importante señalar que puede ocurrir un efecto enmascarado en la determinación del pH, debido al método de determinación en el que primero se seca

la muestra y luego se satura para tomar la lectura del pH, mientras que en campo los suelos saturados con agua por un tiempo prolongado, su pH tiende a la neutralidad por efecto de dilución del H<sup>+</sup> o OH<sup>-</sup>.

**Tabla 40. Resumen de valores de pH por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	7,47ab	7,47ab	7,37ab	7,17ab
45 días	7,27a	7,97ab	7,67ab	6,73ab
90 días	7,23ab	7,80ab	7,03c	6.47c

Los valores de pH ilustrados en la Figura 29, fluctúan de muy ligeramente ácido a muy ligeramente ácidos (pH 6,47 a 7,16), los cuales decrecen en la medida en que se desarrolla el cultivo. Para el caso de la finca RR se registran valores mucho más alcalinos, con rangos que van de muy ligeramente alcalino a ligeramente alcalino (pH 7,47 a 7,8), con un comportamiento similar al pH del agua en la melga, para esta finca. En la finca Chaparral los valores oscilan entre 7,1 a 7,4 que corresponden a la condición de muy ligeramente alcalino.

Las pruebas estadísticas no mostraron diferencias entre finca ni entre fechas; no obstante la interacción fecha\*finca, reveló un comportamiento significativo ( $P < 0,01$ ) donde la finca Cocotal muestra cambios a los 45 días con respecto a la finca el Rey a los 90 días después de la siembra. Esta variación probablemente se explica por diferencias en las características de las unidades de suelo representativa de estas fincas o por la conformación pedogeomorfológica.

**Tabla 41. Resumen de pruebas estadísticas para pH.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE FRIEDMAN Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	7.7586 0.0513 NS
FECHA	2	3.5000 0.1738 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA* FECHA	11	29.5504 0.0019 **

Una de las características mineralógicas de los suelos en estudio, es la presencia de altos contenidos de carbonatos de calcio, los cuales se acumulan por los procesos aluviales que dieron origen a estos suelos, esto aunado al efecto de batido en la preparación de los mismos para el establecimiento del cultivo de arroz, hace que gran cantidad de este mineral pase a los horizontes inferiores o se diluya en la lámina de agua que se mantiene durante el ciclo de producción, indicando que en general los valores encontrados para el pH no deberían representar ningún problema para las unidades de producción, tal como es señalado por Urbano (1992), quien sostiene que el pH tiende a valores de neutralidad en suelos saturados por efecto del factor de dilución (Tabla 41 y Figura 29).

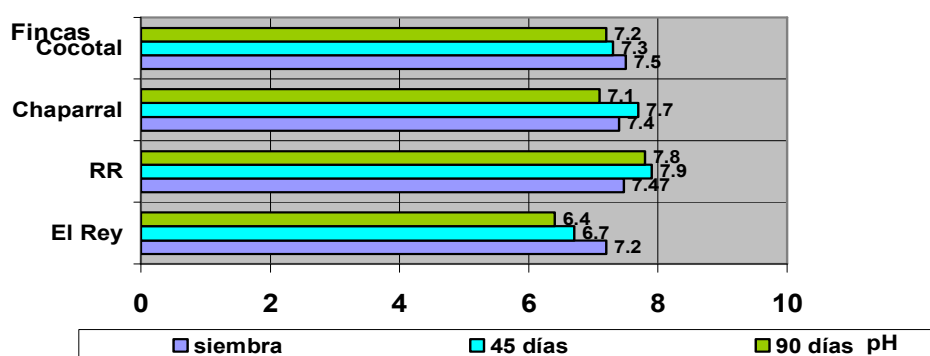


Figura 29. Valores de pH en el suelo de las fincas estudiadas.

#### 4.2.- Comportamiento de la conductividad eléctrica (C.E) en el suelo.

La C.E es consistentemente inferior a 0,5 dS/m 25 °C en todos los horizontes, cuando no existe ningún problema de salinidad, considerándose este valor normal (Chacón 2001), e indica que no existen problemas de salinidad por concentraciones de sales en la solución del suelo.

Según los rangos presentados por Smit y Doran (1998), los valores de las fincas varían entre bajos a medios, ya que los resultados obtenidos se encuentran en valores mínimos de 0,23 dS/m y máximos de 0,63 dS/m.

Tabla 42. Resumen de valores de conductividad eléctrica por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	0,43ab	0,37a	0,27ab	0,50ab
45 días	0,63ab	0,33ab	0,20ab	0,47c
90 días	0,57ab	0,23ab	0,30ab	0,37ab

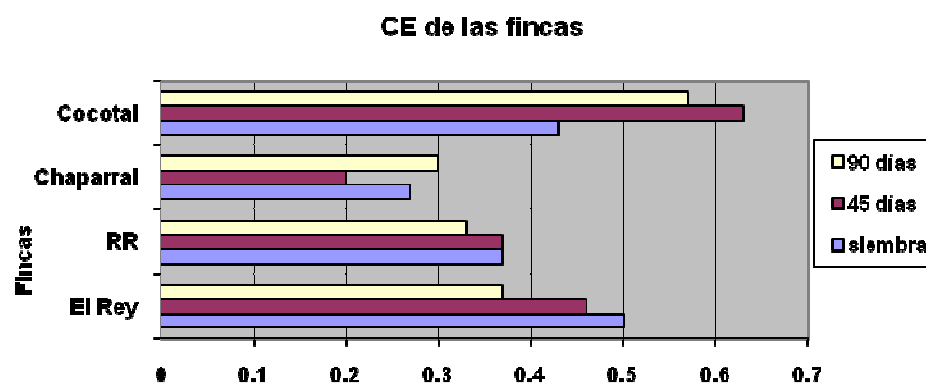
Los valores de CE, para el caso de las unidades de producción El Rey, RR y Chaparral, tendieron a disminuir a medida que aumentó el desarrollo del cultivo, lo cual era de esperar debido a que en el proceso de labranza las sales pueden estar en la superficie del suelo para luego lavarse en el perfil del suelo; lo contrario ocurrió con la finca Cocotal, el cambio ocurre en las mayores edades del cultivo, posiblemente condicionado por la aplicación de fertilizantes en esta finca, y al momento de la evaluación las muestras contenían fertilizantes.

Según el análisis no existe diferencia entre finca ni entre fechas; solo mostró cambios importantes ( $P < 0,01$ ), a medida que transcurre el ciclo del cultivo. La prueba de comparación de medias demostró diferencias en CE en la finca RR a los 45 días en la finca el Rey a los 90 días.

**Tabla 43. Resumen de pruebas estadísticas para conductividad eléctrica.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	7.4000 0.0602NS
UBICACIÓN	2	0.5000 0.7788NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	11	29.0297 0.0022 **

Según León (1999), las aplicaciones de fertilizantes en el cultivo de arroz generan pequeños aumentos en los niveles de salinidad, y está influenciado directamente por las dosis y épocas de aplicación. Esto coincide con los resultados obtenidos en la mayoría de las fincas evaluadas, con excepción de la finca Chaparral (Tabla 44).



**Figura 30. Cambios de la Conductividad Eléctrica en las fincas estudiadas.**

### 4.3.- Comportamiento de la materia orgánica (M.O) en el suelo.

El contenido de materia orgánica en las fincas muestreadas es bajo a muy bajo si se compara con los valores referenciales de Quiñónez (1989), lo cual puede ser producto del efecto de mecanización durante cada ciclo de cultivo. En general los valores oscilan entre 2,6 a 3 %, mostrando solo diferencias en la finca Cocotal. Se puede observar que existe un incremento de la M.O, al final del ciclo, lo cual puede deberse a la acumulación de restos vegetales (Tabla 44 y Figura 31 ).

**Tabla 44. Resumen de valores de materia orgánica por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	2,60	2,32	2,60	2,43
45 días	6,86	2,37	1,21	2,11
90 días	3,09	1,96	2,26	2,49

Rosales y Schargel (1971) reportaron que suelos pobremente drenados, con alto contenido de humedad y pobre aireación, generalmente tienen mayor contenido de materia orgánica, en comparación con los bien drenados, lo cual coincide con el comportamiento detectado en las fincas evaluadas; por otra parte Urbano (1992) indicó que el contenido de M.O en suelos cultivados varía entre 1% y 3%, y estos valores descienden en suelos sometidos a fuertes laboreos o en los que soportan rotaciones de cultivos de alta intensidad con pocos residuos.

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis no mostró que exista diferencia entre fecha ni en la interacción, solo existen diferencias altamente significativas entre fincas ( $P < 0,01$ ), las cuales indican variantes en el contenido de M.O. La prueba de comparación de media señala que la finca Cocotal es diferente de la finca Chaparral y RR (Tabla 45).

**Tabla 45. Resumen de pruebas estadísticas para materia orgánica.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	10.9086 0.0122 **
FECHA	2	0.0000 1.0000 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	11	19.3984 0.0543 NS

Las variaciones encontradas pueden ser producto de factores de la descomposición de restos de cosecha en un tiempo dado o acumulación por efecto de crecimiento del cultivo.

En general no existen cambios bruscos de M.O, en el suelo durante el ciclo evaluado, lo que pudiese indicar que el nitrógeno presente es muy poco o es consumido por el cultivo de arroz; la eliminación de restos de cosecha por quema puede también repercutir sobre estos valores.

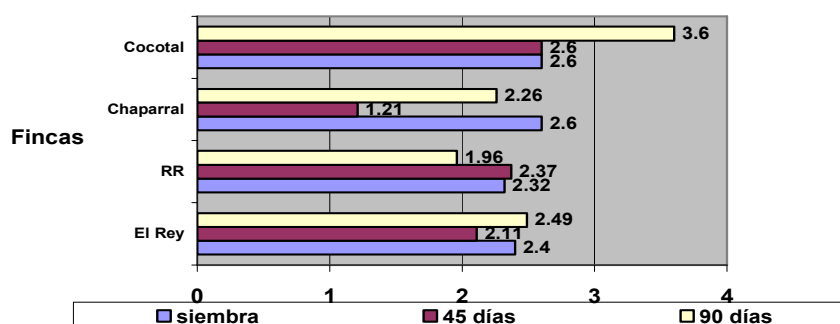


Figura 31. Cambios de la Materia Orgánica a nivel de las fincas estudiadas.

#### 4.4.- Comportamiento del fósforo en el suelo.

Las concentraciones de este elemento es predominante alto en todas las fincas evaluadas con el valor más alto en la finca Cocotal a los 45 días. La finca RR y Chaparral, mostraron menor variación en las etapas del cultivo, a diferencia de la Finca El Rey, que muestra una tendencia en los valores monomodal, posiblemente asociado a las aplicaciones o el patrón de extracción de este elemento por el cultivo.

La tendencia esperada para los suelos era un decrecimiento del contenido de fósforo, después de la aplicación del fertilizante, ya que el cultivo realiza una extracción de este elemento lentamente, para cumplir con sus etapas fisiológicas; hay que recordar que este elemento es poco móvil en el suelo, lo que favorece su acumulación en diferentes formas.

Tabla 46 . Resumen de valores del fósforo por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	15,67ab	21,67a	22,67a	15,67ab
45 días	34,67ab	19,33ab	18,33ab	20,00ab
90 días	31,00ab	21,00ab	28,00ab	7,33c

El análisis estadístico reveló comportamientos significativos ( $P < 0.05$ ) entre fincas y en la interacción, en la finca Chaparral al momento de la siembra diferente de la finca El Rey a los 90 días.

Tabla 47. Resumen de pruebas estadísticas para fósforo.

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	12.0057 0.0074 *
FECHA	2	1.5000 0.4724NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	11	25.8925 0.0067 *

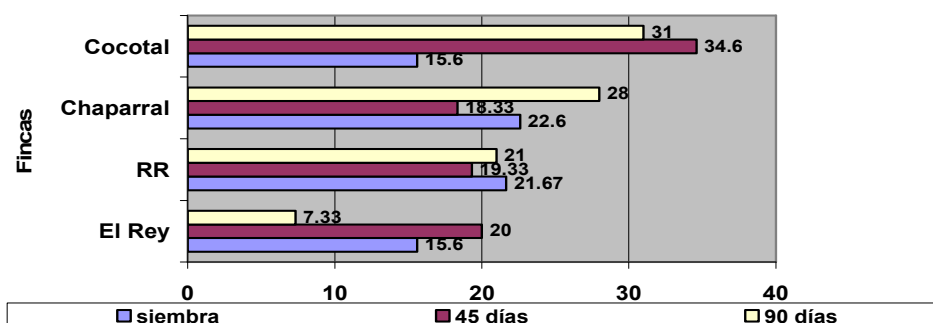


Figura 32. Cambios del Contenido de Fósforo a nivel de las fincas estudiadas.

#### 4.5.- Comportamiento del calcio en el suelo.

Las plantas se nutren a partir del  $\text{Ca}^{2+}$  que existe en las soluciones del suelo, y requieren entre 35 y 40 ppm, como concentraciones mínimas, para garantizar la correcta nutrición de las plantas cultivadas (Barber 1984). Lo señalado anteriormente además de las características del suelo generan una relación directa con el pH, ya que a medida que este sea más ácido, es menor el contenido de calcio presente en el suelo. Para este caso es inverso, ya que los suelos en estudio poseen una gran cantidad de este elemento, mostrando valores hacia la basicidad.

Los resultados del análisis de laboratorio de los suelos indican una saturación alta con calcio, ya que los valores oscilan entre 2300 a 5941 ppm.

Por otra parte si recomparamos estos valores con los tabulados por Urbano (1992), los suelos son ricos en este elemento, ya que superan el valor referencial señalado por el autor de 16000 kg/ha de Calcio. En la Tabla 48 y Figura 33 se observa un incremento en las fincas, Chaparral y Cocotal en el desarrollo del cultivo desde 100 a 1375 ppm en los primeros 45 días y 408 a 516 ppm entre los 45 días a 90 días. La respuesta encontrada es consecuencia de la concentración de calcio en el agua de pozo que pasa al suelo.

Para el caso de la finca El Rey y RR, el comportamiento no está definido en el tiempo, ya que en la finca RR el valor mayor se obtuvo al inicio del ciclo y el valor mayor de la finca El Rey fue a los 45 días.

**Tabla 48. Resumen de valores del calcio por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	3533,33ab	5941,67 ab	4862,33 ab	2783,33a
45 días	4908,33 ab	3850,00 ab	3000,00 ab	3266,67 ab
90 días	5316,67 ab	4708,33 ab	3516,67 ab	2300,00b

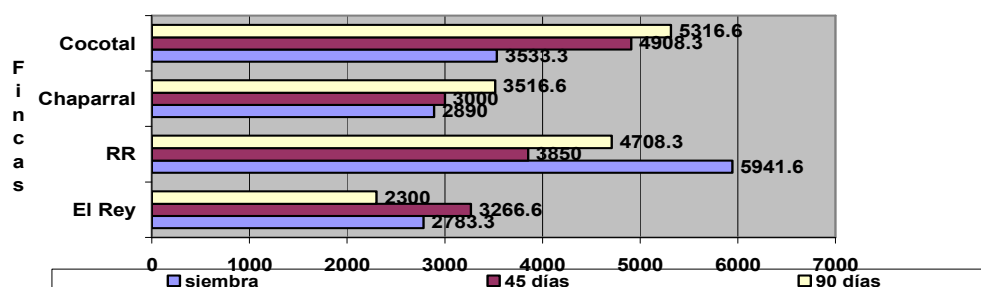
Las cantidades muy elevadas de calcio asimilable en las soluciones del suelo originan problemas importantes en la fisiología de la planta por su interacción con otros macroelementos y oligoelementos; son notorios los antagonismos con el potasio después de fuertes aportaciones de productos cálcicos, ya que existe insuficiente absorción de este elemento debido al antagonismo  $Ca^{++} < = > K^{+}$  (Bravo 2000); este mismo autor refiere que el tipo de arcilla influye en la disponibilidad del calcio, ya que las arcillas del tipo 2:1 requieren un grado de saturación más elevado, para un nivel dado de utilización por las plantas, que las arcillas 1:1; las arcillas montmorillonitas requieren un 70 % ó más de saturación con calcio antes de liberarlo. Otra posible explicación es que en el estado de saturación de suelo en las primeras etapas (siembra) libere de su complejo de cambio el calcio que tiene retenido.

No se observan diferencias entre las fechas evaluadas, cuando realizamos la prueba de Kruskal-Wallis, pero sí entre finca ( $P < 0.05$ ) y la interacción Finca\*Fecha ( $P < 0,01$ ), indicando que la diferencia entre finca son Cocotal y RR diferentes a Chaparral y el Rey.

En cuanto a la interacción finca\*fecha solo la finca El Rey muestra variación en la siembra y a los 90 días.

**Tabla 49. Resumen de pruebas estadísticas para calcio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	12.0057 0.0074 *
FECHA	2	0.5000 0.7788NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	11	30.6594 0.0012 **



**Figura 33. Cambios del calcio a nivel de las fincas estudiadas.**

#### 4.6.- Comportamiento del magnesio en el suelo.

Los resultados (Tabla 50 y Figura 34) del elemento magnesio en el suelo, indican que no existe una tendencia marcada entre fincas, en algunas de ellas (Cocotal y Chaparral) los valores aumentan a medida que el cultivo se desarrolla pero en otras disminuye.

Domínguez (1989) señaló que este elemento presenta interacciones con el K<sup>+</sup> y Ca<sup>++</sup>, ya que un elevado contenido de potasio puede afectar la deficiencia de este elemento. Adicionalmente señala que en texturas finas posee concentraciones entre 80 - 300 ppm, y se considerados suelos pobres en magnesio. Para el caso en estudio todas las fincas evaluadas se encuentran entre estos valores (133,33 a 366,6 Mg kg<sup>-1</sup>), donde la deficiencia de este elemento es malo.

**Tabla 50. Resumen de valores del magnesio por finca en el tiempo.**

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	183,33 a	120,67 a	222,33 a	175,00 a
45 días	183,33 a	158,33 a	250,00 a	200,00 a
90 días	366,67 a	133,33 a	141,67 a	216,67 a

Aún cuando el contenido de potasio en el suelo es bajo, se esperaba la disminución en el tiempo debido a la extracción por el cultivo, sin embargo se aprecia en la tabla 50 una tendencia al aumento al final del ciclo del cultivo, en las fincas Cocotal y el Rey.

Estadísticamente no se consiguió diferencias en finca, fechas ni en la interacción para el magnesio en el suelo (Tabla 51).

**Tabla 51 . Resumen de pruebas estadísticas para magnesio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	5.8966 0.1168 NS
UBICACIÓN	2	2.5333 0.2818 NS
		VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA*FECHA	11	24.6996 0.0101 NS

De acuerdo con las partículas finas en el suelo contienen más magnesio que las gruesas; Mokwuye y Melsted (1983), lo cual fue comprobado por estos investigadores en investigaciones en nueve suelos templados y tropicales con rangos de distribución del magnesio en las fracciones texturales, donde la arcilla contenía entre 51 y 70% del total de magnesio, el limo entre 22 y 42 % y la arena entre 0,1 y 11%.

El comportamiento anterior, se repite en la fincas en estudio, ya que las fracciones texturales mas finas manifiestan valores más altos; por ejemplo la finca Cocotal tiene 366 ppm, con el contenido más alto en arcilla.

Se puede señalar que este elemento no es arrastrado o alterado por el manejo del cultivo de arroz, a pesar de que estos suelo anualmente son batidos para el establecimiento de este rubro lo cual se evidencia en lo antes señalado con el contenido de magnesio en el agua de descarga. La aplicación de fórmulas completas en el suelo contribuye a facilitar que los niveles de este elemento se mantengan en el tiempo, aunado a esto el comportamiento del calcio y el pH en el suelo, facilita que este elemento este muy estable en la estructura tetraédrica de las arcillas (Lombin y Feyemi 1975).

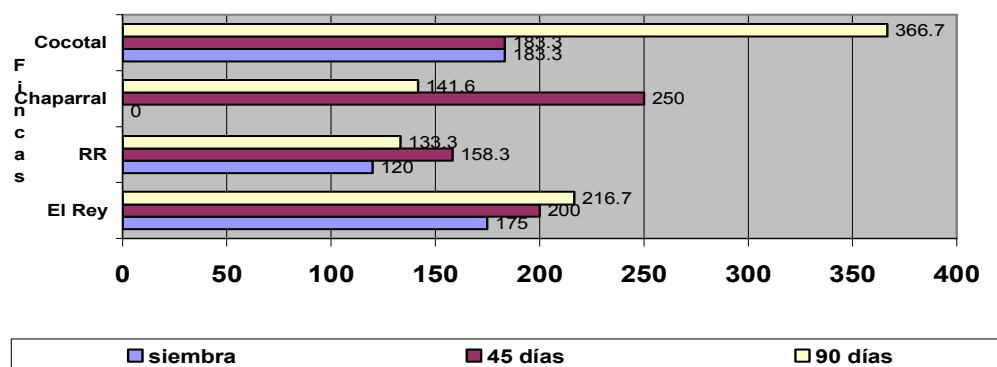


Figura 34. Cambios de Magnesio a nivel de las fincas estudiadas.

#### 4.7.- Comportamiento del potasio en el suelo.

Los niveles de potasio en la finca se observan en mayor incremento a los 45 días después de establecido el cultivo, siendo los mayores valores encontrados en la finca Cocotal (103 ppm) y el menor valor en la finca RR (35 ppm), en general los menores valores se encuentran al final del ciclo del cultivo debido a la extracción de este elemento o la pérdida por arrastre por el agua de riego (Figura 35).

Tabla 52. Resumen de valores del potasio por finca en el tiempo.

Fecha	Cocotal	RR	Chaparral	Rey
Siembra	75,00ab	45,33a	63,33ab	56,67ab
45 días	103,33ab	35,00c	58,33ab	91,67ab
90 días	71,67ab	15,00ab	41,67ab	68,33ab

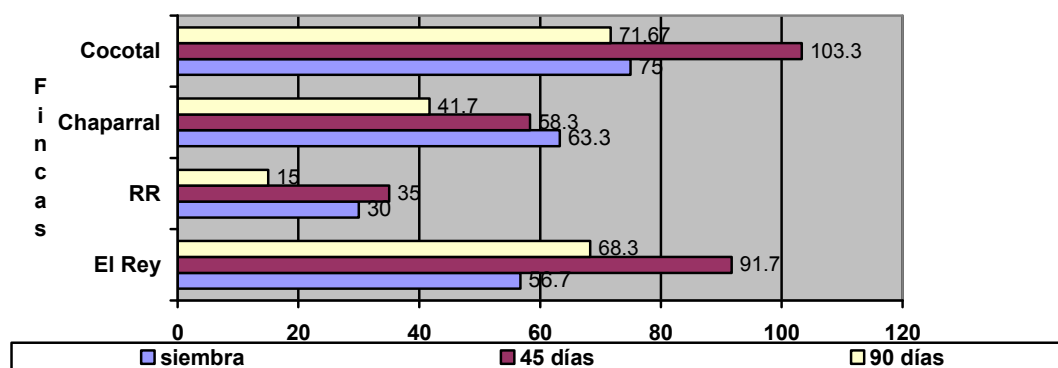
Se puede observar en la Figura 35 para todas las fincas, que los niveles de potasio en el suelo descenden a medida que aumenta la edad del cultivo, probablemente por la demanda del cultivo.

Existe modificaciones entre finca ( $P < 0.001$ ) y en la interacción finca\*fecha ( $P < 0,05$ ) para este elemento donde la finca Cocotal se comporta distinto de la Finca RR a los 45 días y a siembra.

**Tabla 53. Resumen de pruebas estadísticas para potasio.**

F d V	gl	VALOR DEL ESTADÍSTICO DE KRUSKAL - WALLIS Y SU SIGNIFICANCIA
FINCA	3	13.8359 0.0031 **
FECHA	2	3.5000 0.1738NS
VALOR DEL ESTADÍSTICO		
FINCA*FECHA	11	24.0503 0.0125 *

Es decir el comportamiento del potasio en el suelo no está influenciado por el tiempo en el cultivo sino por las fincas, por tal motivo la variación en el tiempo no es determinante para el cultivo. Como es de esperarse con el elemento potasio en la disminución.



**Figura 35. Cambios de Potasio a nivel de las fincas estudiadas.**

### ***5.-Materia orgánica y nutrientes en los sólidos sedimentables de las parcelas evaluadas.***

Los resultados (Tabla 54 y Tabla 55), en cantidad de sedimentos por finca varió entre 2.7728 g l<sup>-1</sup> a 0,1235 g l<sup>-1</sup> en función de la fecha de muestreo (antes de siembra, siembra, 45 días y cosecha). Las pruebas no paramétricas mostraron similitud entre fincas pero diferencia entre fechas ( $P < 0,01$ ), lo que era de esperar, ya que a medida que el cultivo se desarrolla este retiene mayor cantidad de sedimento, y existe un tiempo mayor de estabilización del agua en la melga. La finca RR arrojó el mayor valor en pérdidas de suelo.

**Tabla 54. Análisis de varianza (Kruskal-Wallis) para sólidos sedimentables.**

<b>Fuente</b>	<b>g l</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Fechas	2	12.45	0.0351**
Error	3		

El comportamiento encontrado indica que existe una alta pérdida de nutrientes por efecto de batido, al momento de establecer el cultivo de arroz, lo cual puede repercutir sobre los cuerpos de agua naturales, disminuyendo su calidad, bien sea para consumo u otro fin específico, por otra parte los productores pierden gran parte de estos elementos que pueden ser usados por las plantas en el próximo ciclo.

**Tabla 55. Resumen de valores de sedimentos por finca en el tiempo (g l<sup>-1</sup>).**

<b>Fecha</b>	<b>Cocotal</b>	<b>RR</b>	<b>Chaparral</b>	<b>Rey</b>	<b>Promedio</b>
Antes de siembra	2.77	1.32	2.16	1.83	2.02
Siembra	0,8899	1,693	0,397	0.922	0.97
45 días	0,488	0,319	0,259	0,318	0.346
90 días	0.123	0.210	0.156	0.251	0.185

Aún cuando en todas las fincas evaluadas ocurren pérdidas de suelos, en la finca RR esta pérdida fue mayor posiblemente al manejo.

Por razones metodológicas no fue posible obtener suficiente muestra de sedimento que permitiesen analizar las pérdidas de nutrientes por finca, por ello sólo se calculó las pérdidas de elementos en conjunto para todas las fincas (Tabla 56).

**Tabla 56. Comportamiento de elementos en sedimentos.**

CE mS/cm	pH	M.O %	Calcio mg kg <sup>-1</sup>	Mg mg kg <sup>-1</sup>	Potasio mg kg <sup>-1</sup>	Fósforo mg kg <sup>-1</sup>
0,7	6,3	3,3	4250	150	160	37

Se puede notar en los valores de la tabla 56, que la mayor pérdida es de calcio (4250 mg/kg), representando por unos 13850 kg de suelo por hectárea en la preparación de suelo y 617.5 kg de suelo en cosecha, siendo esto unos 58862 ppm de calcio que pasa a cuerpos de agua naturales al momento del batido.

## CONCLUSIONES.

Entre las cuatro fincas evaluadas la unidad de producción RR, es excelente para el establecimiento de de maíz, la cual fue transformada para el establecimiento de arroz y la de Chaparral muestra las mejores condiciones de suelos, para arroz.

La conductividad eléctrica en el agua de la melga disminuye en el tiempo para las finca, indicando esto que las sales presentes en los sectores de siembra pasan a cuerpo de agua naturales, por otra parte esta conductividad eléctrica en el agua disminuye en el tiempo, indicando esto que el contenido de sales esta presente en mayores concentraciones al inicio del ciclo de cultivo producto de la preparación en batido.

Los valores de pH en el agua de las melgas de las fincas, tienen un comportamiento hacia la neutralidad en la medida que aumenta la edad del cultivo, que mejora la calidad del agua en el tiempo. Los valores de pH, del suelo poseen afinidad con los del agua tanto en la melga como en el agua de riego, ya que existe un efecto buffer por parte del suelo, al capturar iones OH, antes de ser descargado a cuerpos de agua naturales.

El calcio en la melga aumentó en las cuatro fincas con el desarrollo del cultivo, producto de los aportes del riego en los pozos profundos; los valores encontrados en promedio son mayores a  $45 \text{ mg l}^{-1}$ . de igual forma esto se observa en el suelo, en las diferente fechas, ya que es el elemento con mayor representación en el complejo de cambio del suelo.

El magnesio en el agua de las melgas disminuye en el tiempo producto de la extracción de este nutriente por el cultivo, sin embargo esto en el suelo no presenta un patrón definido, ni manifiesta diferencia estadística, por estar deficitario.

Los análisis estadísticos en la mayoría de las variables en estudio se dan en la interrelación de finca\* fecha, debido a que las variables interactúan en el tiempo.

El nitrógeno total en las melga de las fincas proviene del suelo o de fertilizantes, ya que no se evidencia en el agua de pozo la presencia de este elemento.

El potasio en el agua de las melgas mostró un comportamiento errático debido a fluctuaciones en la concentración o descenso no esperado.

El agua de los pozos en las fincas no aportan el fósforo total a las melgas, y su pérdida es insignificante en el agua descargada a cauces naturales, este elemento es consumido y fijado por el suelo, en las melgas.

Se evidencia pérdidas de todos ellos en los sedimentos, el calcio refleja la mayor pérdida, seguido de potasio, magnesio y fósforo, lo que es lógico en virtud de que el calcio está presente en el agua y el suelo. Concentraciones en los otros elementos están contenidas en el agua como en el suelo pero son menores y poseen una menor movilidad, como es el caso del fósforo.

Los movimientos de nutrientes de del agua de pozo hasta las melgas son bajos, siendo el más notorio el calcio en el agua de riego; para el caso de la melga hasta la descarga, se evidencia valores más altos, indicando que existe un mayor flujo del suelo hacia el cuerpo de agua naturales.

El potasio en el suelo indica un incremento a los 45 días después de establecido el cultivo, para luego disminuir al momento de siembra.

La cantidad de sedimentos por finca varió entre  $2.7728 \text{ g l}^{-1}$  a  $0,1235 \text{ g l}^{-1}$  en función de la fecha de muestreo (antes de siembra, siembra, 45 días y cosecha).

La mayor pérdida la generó el elemento calcio ( $4250 \text{ mg/kg}$ ), representando por unos  $13850 \text{ kg}$  de suelo por hectárea en la preparación de suelo y  $617.5 \text{ kg}$  de suelo en cosecha. Dando un valor de  $58862 \text{ ppm}$  de calcio por hectárea ciclo al momento del batido.

## **RECOMENDACIONES.**

Se debe evaluar por más tiempo la conductividad eléctrica en tiempos más cortos para poder precisar si es el fertilizante el que produce el cambio en esta variable en el agua de la melga.

Es interesante considerar a futuro evaluar la asimilación de los elementos a nivel foliar para determinar la eficiencia en asimilación a nivel de los macro y microelementos.

Se debe realizar este mismo tipo de comparaciones en suelo ácidos, a fin de ver si este comportamiento es igual en el periodo seco y periodo de lluvia.

Seria importante evaluar en suelos que sean ácidos, a fin de poder comparar los resultados con los de suelos básicos.

Determinar las pérdidas por sedimento en cada finca, usando una muestra por lo menos 50 veces mas grande a la evaluada en el trabajo.

Se debe realizar análisis de rendimiento, y variables biométricas del cultivo, para comparar con los análisis de suelo por finca o parcelas.

## REFERENCIAS

- Adams M y Rivillo D, 1984. Efecto del tiempo en las dinámicas de pH, Fe, Manganeso, Calcio y Magnesio de un Vertisol del sistema de riego río Guarico. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay. P. 1-17.
- Adams, J.E. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison. 30: 110-14.
- Alvarez L, 1997. Producción arroz en los Llanos Occidentales de Venezuela. Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora. Colección docencia universitaria. Barinas. Pg. 98-99.
- Barber S, 1984. Growth requeriments nutrients in relaton to demand at the root surface. Phosphore et agricultura, N° 70.
- Bellizzia G y Rodríguez G, 1967. Geología del Estado Yaracuy. Cong. Geol. Venez. IV, Caracas, Noviembre; Bol. Geol. Caracas, Public. Esp. 5, VI: 3317 – 3417.
- Bellizzia G y Rodríguez G, 1968. Consideraciones sobre la estratigrafía de los estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. Bol. Geol., Venez. IV, Caracas, 9 (18): 515 – 563.
- BIOCENRO, 1996. Estudio de impacto ambiental central azucarero Portuguesa. Guanare – Portuguesa, 236 pg.
- Bravo Simón, 2000. Aspectos básicos de química de suelos. Editorial UNELLEZ. Colección Ciencia y Tecnología. Universidad de los Llanos Ezequiel Zamora. 229 pg.
- Buhman,C. 1993. K fixing phyllosilicates in soils, the role of in herieted componentes. J.Soil Sci. 44: 347 360.
- Castilla Luís 2003. Manejo del nitrógeno en el arroz de riego. Bogota – Colombia. Revista FEDEARROZ. Julio – agosto ; Volumen 50; numero 439. Pgs. 4-8.
- Castilla Luís, 2002. Fertilización y Nutrición, Factores claves en el cultivo de arroz. Bogota – Colombia. Revista FEDEARROZ. Septiembre – Octubre; Volumen 50; numero 441. Pgs. 10-17.

- Castilla Luís y Guzmán Myriam, 2003. Relación entre nutrientes y la presencia de enfermedades en la planta de arroz. Bogota – Colombia. Revista FEDEARROZ, Vol. 50. Pgs. 14- 20.
- CIDEIBER, 1997. Centro de Información y Documentación Empresarial De Iberoamerica. Caracas – Venezuela.
- Cooke G, 1976. Agriculture and watre quality, MAFF Tec. Bull. N° 32. P 5.
- DE DATTA, S.K; 1981: Principles and Practices of Rice Production. International Rice Research Institute (IRRI). Los Baños. Philipppines.618 p.
- Decreto N° 2.220. Decreto para asegurar las actividades capaces de provocar cambios de flujos, obstrucciones de canales y problemas de sedimentación. Publicado en gaceta el fecha 23 de abril de 1992. República de Venezuela. 6 pg.
- Domínguez Alfonso, 1989. Tratado de fertilización. Segunda edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid España. Pg 515.
- Ewel y Madriz, 1968. Zonas de vida de Venezuela. Segunda edición MAC y FONAIAP. Caracas Venezuela. 265 pg.
- FAO, 1997. manual de practicas integradas de manejo y conservación de suelo. Boletín de tierra y agua. Manual numero 6. Nigeria. 194 pg.
- FEDEARROZ (Federación Nacional del Arroz); 1995: Nutrición y Fertilización en Arroz. Un paso Adelante en Investigación y Transferencia de Tecnología. Santafé de Bogotá.D.C, Colombia. p. 197-200.
- González de Juana 1987. Geología de Venezuela y sus cuencas Petrolíferas. Tomo II. Ediciones Fonivves. Caracas, Venezuela. 236 pg
- González de Juana, 1980. Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas. Ediciones FONINVES. Caracas Venezuela. 1001 pg.
- González MG, Moreno G, Conti ME y de la Horra AM. 1999. Cambios en la fijación-liberación de potasio en Argiudoles con distinto tipo de arcilla y saturación potásica. Ciencia del Suelo 17(1):27-31
- Guerrero R, 2000. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. Fertilidad de suelos. Sociedad Colombiana de ciencia de suelo. Bogota Colombia.
- Hudson C, 1981. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial continental. Tercera edición en español. México D.F. 109 pg.

- Jackson M, 1976. Análisis químico de suelo. Segunda edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona España. P 46.
- Jaramillo, S.; Pulver, E.; Duque, M. 2003. Efecto del manejo de la fertilización nitrogenada en arroz de riego, sobre la expresión del potencial de rendimiento en líneas élite y cultivares comerciales. (enlínea). Consultado 12 nov. 2004. Disponible en: [www.blanquita.com/articulos/articulo4.html](http://www.blanquita.com/articulos/articulo4.html)
- Laboratorio de suelo IRYA, 1973. Guía para clasificar las aguas en relación con su calida de riego. Inst. para la reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA). Madrid - España. Pg 125.
- Lal R, 1998. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. Soils Bulletin 71. FAO, Rome, Italy
- Lombin y Feyemi, 1975. Critical level of Mg in Western Nigeria soils asestimated Greenhouse conditions, Agron. J. 67:272-275.
- López R y López Medida, 1990. El diagnostico de suelo y planta. Método de laboratorio y campo. Cuarta edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. Pg 95 -105.
- MARN, 2001. Resumen climatologicos de Aeropuerto Acarigua. Dirección de climatologica Portuguesa años 1990 a 2002. Pg 167.
- MARNR Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de cuerpos de agua y vertidos líquidos o efluentes líquidos. pg19.
- Mengel, K.; C. Rahmatullah. 1994. Explotation of K by various crops species from primary minerals in soils rich in micas. Biol.Fertili. Soils 17: 75-79
- Mogollón L. 2000. Uso eficiente de los fertilizantes. Curso de la fertilidad de los suelos. Sociedad venezolana de Ciencias del Suelo. Maracay Venezuela. Pgs. 25- 36
- Mokwuye y Melsted, 1983. Interrelation between soil magnesium forms, Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 4: 397-405.
- Páez, M. 1992. Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación en las tierras agrícolas del Valle Medio del Río Yaracuy. Revista de la Facultad de Agronomía, (Maracay). Alcance 37: 113-136.
- Paterson J y Richer C, 1966. Effect of long-term fertilizer application on exchangeable and acid-soluble potasium. Agron. 58: p 589 591.

- Polo V. M, 2006. El Arroz en el Mundo. Informe Red Telemática de salud, Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas, Republica de Cuba. <http://www.sld.cu/saludvida/tema.php>.
- Prasad R y Power J, 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis publishers. New Your. Pg 399.
- Quiñónez Rafael,1989. Manejo del cultivo de caña de azúcar en suelos alcalinos del Valle del río Cauca. CENICANA. Memorias del seminario fertilización y manejo de suelos alcalinos. Palmira septiembre 16 – 17. Universidad Nacional de Colombia. 95 pag
- Rodier J, 1998. Análisis de las aguas. Tercera reimpresión. Ediciones Omega, S.A. Barcelona – España. 3 - 9 p.
- Rosales A Y Schargel R, 1971. Estudio agrológico detallado y clasificación de tierras con fines de riego. Asentamiento San Miguel. Portuguesa. Pg 243-245.
- Salive Álvaro, 1995. Comportamiento y fertilización del arroz en suelos calcareos. Revista FEDEARROZ. Noviembre – Diciembre; Volumen 44; numero 399. Pgs. 26-28.
- Sardi,K.;Debreczeni,K.1992. Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 23; 26: 13 2632.
- Sharpley, A.N., and A.D. Halvorson. 1994. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. In R. Lal and B.A. Stewart (eds.) Soil Processes and Water Quality. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Singer, M.J. Matsuda, Y. y Blackard, J. 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. Soil Sci. Soc. Am. Journal, Madison. 45: 101-110.
- Singer, M.J. y Blackard, J. 1978. Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall. Soil Sci. Soc.
- Soil Survey Division 1993. Survey manual agriculture. Handbook N° 18. U.S. Department of Agriculture. Waschington, DC. 437 pg.
- Taylor A y Kilmer V, 1959. The role of phosphorus in agriculture. Soc Agron. Madison. P 545.

- Thompson y Troeh, 1988. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial Reverté. Barcelona España. Pg 362-364.
- Urbano Pedro, 1992. Tratado de fitotecnia general. Segunda edición, ediciones mundi – Prensa. Madrid – España. Pg 893.
- Vittum M; Lathwell D y Gibas G, 1968. Cumulative effects of irrigation and fertilizer on soil fertility, Agron. J. 60: 563-565.
- Vittum M; Lathwell y Gibbs G, 1968. Cumulative effects of irrigation and fertilizer on soil fertility. Agron. 60: P 563 –565.
- Zubillaga, M.M. y M. Conti. 1996. Availability of exchangeable and non exchangeable K in Argentine soils with different mineralogies Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., (159): 149-153