

**UNIVERSIDAD DE PANAMA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ELABORACIÓN DE CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS
PARA ARROZ (*Oryza sativa*) VARIEDAD FCA 97116, EN EL
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DE CHIRIQUÍ
(CEIACHI)**

ROSA YANETH DOMÍNGUEZ CORREA

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2011

**ELABORACIÓN DE CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS
PARA ARROZ (*Oryza sativa*) VARIEDAD FCA 97116, EN EL
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DE
CHIRIQUÍ (CEIACHI)**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN MANEJO AMBIENTAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO

PROF. ALEXIS SAMUDIO

DIRECTOR

PROF. FELICITA GONZÁLEZ

ASESOR

PROF. SAMUEL LEZCANO

ASESOR

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ
2011**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios todopoderoso, a mis Ángeles guidores y protectores por haberme dado la sabiduría y oportunidad de culminar mi carrera como profesional.

A mis padres; mamá Yany, papá Dago, mis abuelos, mamita Rosa y papá Luis, mis hermanos Luis A., Yini y Beby. A toda mi familia por su cariño, consejos y apoyo brindado durante estos años de estudios.

Agradezco especialmente a Popeye, por su aprecio, cariño, comprensión, motivación y ayuda incondicional.

A mis profesores asesores de tesis: Alexis, Felicita y Samuel, por sus sabios consejos para desarrollar un buen trabajo de graduación. Igualmente al Ing. Villamil y el personal del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Chiriquí.

A mis compañeros, amigos, y aquellas personas que en algún momento ocupe para realizar mis tareas y trabajos.

Gracias a todos,

Rosa...

DEDICATORIA

Especialmente a mi mamá, abuela y abuelo ya que han sido ellos los pilares en mi formación educativa, ética y moral, y me han permitido culminar este logro como profesional.

A mis sobrinos, Luis René y Gabriel A, quienes son nuevos integrantes de mi familia a quienes adoro con todo mi corazón.

A toda mi familia que estuvo junto a mí durante esta preparación académica y nueva etapa de mi vida.

Rosa...

ELABORACIÓN DE CURVAS DE ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS PARA ARROZ ORYZA SATIVA VARIEDAD FCA 97116, EN EL CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DE CHIRIQUÍ (CEIACHI). TESIS INGENIERO EN MANEJO AMBIENTAL.

Domínguez C, Rosa Y. 2009. Elaboración de Curvas de Absorción de Nutrientes para arroz Oryza sativa variedad FCA 97116, en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI). Tesis Ingeniero en Manejo Ambiental.

RESUMEN

El estudio para la elaboración de curvas de absorción de nutrientes en arroz variedad FCA 97116, se desarrolló en la parcela nueve (9), del Centro de Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí, durante los meses de junio a octubre. La fertilización que se aplicó al momento de la siembra en la parcela de muestreo fue 70.91 kilogramos N/hectárea, 177.27 kilogramos P₂O₅/hectárea, 59.09 kilogramos K₂O/hectárea, 35.45 kilogramos Ca/hectárea. Adicionalmente se le aplicaron 113.63 kilogramos N (urea 46%), a los 25 días después de la siembra y posteriormente a los 52 días después de la siembra. Las fuentes utilizadas para estimar la fórmula de fertilizantes fueron sul-po-mag 90.91 kilogramos, urea (46%), 108.69 kilogramos, cloruro de potasio (KCl - 60 K₂O) 395.67 kilogramos. Resultando para la aplicación de fertilizante al momento de la siembra, la fórmula N 8.4, K₂O 43.12, Mg 2.5, S 3.3 por ciento. Las aplicaciones de urea 46% se fraccionaron para que el cultivo la pueda aprovechar al máximo y se disminuya la pérdida de la misma, la segunda y tercera aplicación se deben realizar a los 30-35 días después de la siembra y 60-65 días después de la siembra, para ambas aplicaciones se requiere de 293.47 kilogramos de urea al (46%), lo que se traduce a un total de 12.9 quintales por aplicación. El mayor contenido de materia seca se obtuvo a los 108 días después de la siembra con 1,664.07 kilogramos/hectárea, entre la etapa pastosa y de maduración. Los macronutrientes mayormente absorbidos en base a materia seca producida por el cultivo fueron el potasio con 101.70 kilogramos/hectárea, nitrógeno 96.98 kilogramos/hectárea seguido por el calcio 21.92 kilogramos/hectárea. En cuanto a los micronutrientes el mayor acumulado en la planta fue hierro con 5.92 kilogramos/hectárea, alcanzando su máximo en la etapa de desarrollo de la panícula, el manganeso obtuvo 1.15 kilogramos/hectárea obteniendo su máximo en la etapa pastosa, de igual forma el cobre con 0.04 kilogramos/hectárea y su punto máximo fue en la etapa pastosa a los 108 días después de la siembra.

PALABRAS CLAVES: Curvas de absorción, nutrientes, arroz, fertilización.

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	5
1.4.1. GENERAL	5
1.4.2. ESPECÍFICO	5
1.5. HIPÓTESIS	6
1.6. ALCANCE	6
1.7. LIMITACIONES	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1. El cultivo de arroz <u>Oryza sativa</u>	7
2.1.1. Morfología de la planta de arroz	7
2.1.1.1. Órganos vegetativos	8
2.1.1.2. Órganos florales	8
2.1.1.3. Fases de desarrollo	9
2.1.2. Exigencias ambientales	10
2.1.2.1. Temperatura	10
2.1.2.2. Precipitación	10
2.1.2.3. Luz	11

2.1.2.4. Viento	11
2.1.2.5. Suelos	11
2.2. Variedad de arroz FCA 97116	12
2.2.1. Origen	12
2.2.2. Características	13
2.2.3. Ecosistema	13
2.2.4. Densidad de siembra	13
2.2.5. Fertilización	14
2.2.6. Reacción a enfermedades y plagas	14
2.2.6.1. Control de malezas, enfermedades y plagas	15
2.2.7. Cosecha	15
2.3. Elementos esenciales para el cultivo de arroz	16
2.4. Nutrición mineral y manejo de los fertilizantes en el arroz	16
2.4.1. Nutrición mineral	16
2.5. Curva de absorción de nutrimentos	17
2.5.1. Factores internos	18
2.5.2. Factores externos	18
2.6. Importancia y utilidad de las curvas de absorción	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. Área de estudio	20
3.2. Metodologías	21
3.2.1. Elaboración de las microparcels	21
3.2.2. Muestreos de la parcela de arroz	23
3.2.3. Análisis foliares	25
3.2.4. Elaboración de las curvas de absorción	25
3.2.5. Estimación de dosis de fertilizantes	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Microparcels	27

4.2. Curvas de absorción de nutrimentos	29
4.2.1. Curvas de absorción de nutrimentos variedad FCA 97116	33
4.2.1.1. Curva de absorción de nitrógeno	33
4.2.1.2. Curva de absorción de fósforo	34
4.2.1.3. Curva de absorción de potasio	35
4.2.1.4. Curva de absorción de calcio	36
4.2.1.5. Curva de absorción de magnesio	37
4.2.1.6. Curva de absorción de hierro	38
4.2.1.7. Curva de absorción de cobre	40
4.2.1.8. Curva de absorción de manganeso	40
4.2.1.9. Curva de absorción de zinc	41
4.2.1.10. Curva de absorción de macronutrimentos	43
4.2.1.11. Curva de absorción de micronutrimentos	44
4.3. Procedimiento para el cálculo de las dosis de fertilizantes requeridos	44
4.4. Interpretación del análisis de suelo 2009	46
4.5. Estimación de la dosis de nutrimentos	48
4.6. Importancia de las curvas de absorción en las recomendaciones de fertilización	50
5. CONCLUSIONES	52
6. RECOMENDACIONES	54
7. BIBLIOGRAFÍA	55
8. ANEXOS	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Pág.
I	SERIE HISTÓRICA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN PANAMÁ	3
II	OCURRENCIA EN TIEMPO DE LAS ETAPAS DE CRECIMIENTO PARA ARROZ DE CICLO MEDIO.	9
III	DOSIS Y NIVELES DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO UTILIZADAS EN LAS MICROPARCELAS	23
IV	DISTRIBUCIÓN Y RENDIMIENTO SEGÚN LOS TRATAMIENTOS DE LAS MICROPARCELAS	28
V	CANTIDAD DE MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL ARROZ VARIEDAD FCA 97116	29
VI	EXTRACCIÓN PARCIAL Y TOTAL DE NUTRIMENTOS POR LA PLANTA DE ARROZ VARIEDAD FCA 97116	31
VII	MATERIA SECA Y NUTRIMENTOS PRESENTES EN EL GRANO DESPUÉS DE COSECHA	32
VIII	ANÁLISIS DE SUELO DE LA PARCELA NUEVE (9) DE (CEIACHI)	45
IX	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO 2009	47
X	ESTIMACIÓN DE DOSIS DE NUTRIMENTOS PARA UN RENDIMIENTO DE ARROZ VARIEDAD FCA 97116 DE 4.10 TON/HÁ. EN UN SUELO FRANCO ARENOSO FCA CHIRIQUÍ.	48
XI	CÁLCULO PARA LAS DOSIS DE FERTILIZANTES AL MOMENTO DE LA SIEMBRA	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	TITULO	Pág.
1.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
2.	LIMPIEZA DEL TERRENO Y ELABORACIÓN DE LAS MICROPARCELAS	22
3.	MATERIA SECA TOTAL PRODUCIDA POR LA VARIEDAD DE ARROZ FCA 97116	30
4.	CURVA DE ABSORCIÓN DE NITRÓGENO (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	33
5.	CURVA DE ABSORCIÓN DE FÓSFORO (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	34
6.	CURVA DE ABSORCIÓN DE POTASIO (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	36
7.	CURVA DE ABSORCIÓN DE CALCIO (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	37
8.	CURVA DE ABSORCIÓN DE MAGNESIO (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	38
9.	CURVA DE ABSORCIÓN DE HIERRO (GRAMOS/HECTÁREA)	39
10.	CURVA DE ABSORCIÓN DE COBRE (GRAMOS/HECTÁREA)	40
11.	CURVA DE ABSORCIÓN DE MANGANESO (GRAMOS/HECTÁREA)	41
12.	CURVA DE ABSORCIÓN DE ZINC (GRAMOS/HECTÁREA)	42
13.	CURVA DE ABSORCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS (KILOGRAMOS/HECTÁREA)	43
14.	CURVA DE ABSORCIÓN DE MICRONUTRIMENTOS (GRAMOS/HECTÁREA)	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°	Titulo	Pág.
1.	CORTE DEL MATERIAL VEGETAL DE LAS MICROPARCELAS	59
2.	MUESTREO DE LA PARCELA NUEVE (9) DE CEIACHI	59
3.	EMPACADO DE LAS MUESTRAS PARA TRASLADARLAS AL LABORATORIO DE SUELO Y AGUAS DE LA FACULTAD	60
4.	SECADO DE LAS MUESTRAS FOLIARES	60
5.	PESADO DE MUESTRAS PARA DETERMINAR FÓSFORO, MACRO Y MICRONUTRIMENTOS	61
6.	LECTURA DE FÓSFORO	61
7.	ESPECTROFOTÓMETRO PARA DETERMINAR MACRO Y MICRONUTRIMENTOS	62
8.	EQUIPO DE DIGESTIÓN PARA ANÁLISIS DE NITRÓGENO	62

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (**Oryza sativa**), es un cultivo que a pesar de su buena productividad potencial ofrece un estrecho margen de ganancia económica más aún cuando no se han cubierto ciertas exigencias tales como: una correcta preparación del suelo, un oportuno uso de agroquímicos, un eficiente control de malezas, el uso de semillas mejoradas, y su siembra en áreas agroecológicamente aptas para su óptimo desarrollo.

En muchos casos se tiene un buen conocimiento de la tecnología a aplicarse, pero no se logran los rendimientos esperados porque no se cultiva en las áreas adecuadas. La importancia del arroz como alimento básico se manifiesta de manera diferente en diversos países. En Panamá ya se han visto problemas ligados al incremento incesante en el costo de los insumos utilizados para la producción agrícola, debido a varios aspectos; lo que ha llevado a la disminución de la producción agrícola de este cultivo en gran parte de nuestro país.

La evolución del cultivo de arroz, ha tenido diferentes etapas que marcan en forma significativa un proceso de desarrollo paralelamente al de otras actividades del país, tales como su política y economía.

Con el transcurrir de los años el ser humano ha experimentado diversas formas de producción agrícola, con el fin de encontrar nuevas alternativas de producción que le resulten rentables para su actividad agrícola; ya que, son muchos los factores que afectan el desarrollo vegetativo de una planta. Por tal motivo se desarrolló una investigación en la parcela nueve del CEIACHI en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Chiriquí, la cuál estaba cultivada de arroz, variedad FCA 97116.

El objetivo de este trabajo fue determinar el requerimiento nutrimental de la variedad FCA 97116, empleando como método de estudio las curvas de

absorción de nutrimentos y microparcelas de observación. Los resultados de este estudio nos permiten brindar recomendaciones sobre la fertilización adecuada para la variedad de arroz FCA 97116, con miras a lograr mayor productividad, conservando el medio ambiente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fertilización del cultivo de arroz en nuestro medio es una práctica indispensable, utilizada con el fin de mantener y aumentar la productividad. Dado el elevado costo de los fertilizantes por el aumento del precio del petróleo, las tecnologías que se transfieran a los productores, deberán estar enmarcadas sobre el uso racional y eficiente de este insumo agrícola apegado al máximo criterio técnico agronómico, económico así como ambiental. Por lo que se hace necesario desarrollar programas de fertilización que nos ayuden a hacer uso adecuado de los fertilizantes.

El conocimiento de la forma en que los nutrimentos contribuyen a aumentar los rendimientos a través de las diferentes etapas de desarrollo de los cultivos es importante, porque permite un uso eficiente de los fertilizantes aplicados al cultivo de arroz. No todas las variedades que se liberan al mercado tienen estudios de requerimientos nutrimentales y por ser la variedad de arroz FCA 97116, nueva en el mercado panameño y que está siendo cultivada en los campos agrícolas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de Chiriquí, se hace de mucha importancia e interés contar con esta información ya que garantiza la productividad de la variedad. Independientemente de otras consideraciones, existe el hecho cierto que el país necesita expandir el área de cultivo del arroz, para cubrir una demanda siempre mayor por el crecimiento de la población y la expansión de la agroindustria, cuyo costo esta en continuo aumento y, se está volviendo una carga muy pesada para el país.

1.2. ANTECEDENTES

El arroz constituye el principal rubro de la canasta básica panameña, el consumo per cápita y año es de 70 kilogramos, uno de los más altos en Latinoamérica. (Jäger, 2008).

En los últimos años el cultivo del arroz ha tenido variaciones en cuanto a la cantidad de tierras cultivadas en el país. A nivel nacional se siembran aproximadamente 60,000 hectáreas. Durante el año agrícola 2006/2007 se produjeron 4,69 millones de quintales con 1,356 productores; versus 7,49 millones de quintales en 75,699 hectáreas con 1,491 productores en el año agrícola 2003/2004. La disminución del área y productores se explica por la falta de acceso al crédito debido al endeudamiento, falta de garantías hipotecarias para prestar a los bancos, por la baja rentabilidad y alto riesgo del cultivo debido a la presencia de plagas y enfermedades, el no uso de semillas certificadas y el incremento proporcional de los costos de insumos. (Jäger 2008).

Cuadro N° I. SERIE HISTÓRICA DE PRODUCCIÓN DE ARROZ EN PANAMÁ

Superficie sembrada Hectáreas	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04
	75,845.7	70,995.99	75,678.6	76,093.0
Superficie sembrada Hectáreas	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08
	78,549.9	68,715.9	59,653.33	59,859.16

Fuente. Cultivo de arroz (Díaz, 2007)

Existen datos estadísticos del cultivo de arroz desde el 2001 hasta el 2008, esta es la superficie que normalmente se han sembrado; alrededor de 75,000 hectáreas en el 2000, el 2004 fue el año que más superficie se sembró más sin

embargo, los rendimientos cayeron a 70 quintales por hectárea, de 98.99 quintales por hectárea que venían obteniendo en años anteriores. (Díaz, 2007)

Para el año agrícola 2003/2004 el costo de producción de arroz en seco era de B/.1,025.32 y a riego por gravedad de B/.1,143.71. Sin embargo, en el año agrícola 2007/2008 el costo de producción de arroz a seco era de B/.1,771.27 y riego por gravedad B/.2000.00. (Díaz, 2007).

El alza de los precios del arroz en el mercado el año 2007, llevó a las autoridades en todo el mundo a tomar un conjunto de medidas para aliviar el impacto en los sectores más pobres. En el año 2008 los gobiernos intervinieron en dos frentes opuestos, por un lado estimular la producción de arroz y, por el otro mantener los precios accesibles a los consumidores; es posible que se enfrenten a mayores dificultades en el 2009 – 2011, en el contexto de una grave crisis económica mundial. (Ecos del Agro, marzo 2009).

1.3. JUSTIFICACIÓN

La crisis ambiental que enfrenta la humanidad obliga a pensar en nuevas alternativas y oportunidades que posibiliten sistemas integrados y sostenibles de producción de manera que se logre una mayor productividad que la obtenida actualmente.

Hasta la fecha, no se ha generado en Panamá la información necesaria sobre las curvas de absorción de macro y micronutrientes, que puedan emplearse como componente estratégico en el manejo integrado del cultivo de arroz. Este tipo de estudio permite afinar los programas de fertilización, acumular información valiosa que ayuden a mejorar los programas de manejo de la nutrición del cultivo; también tiene sus efectos sobre la reducción de costos de

producción, de tal forma que se hace un uso racional y adecuado de las dosis necesarias de fertilizantes químicos requeridos para la producción.

Es por ello que se desarrolló esta investigación basado en la curvas de absorción de nutrimentos de la variedad FCA97116, con el fin de aportar nuevos conocimientos e información para el manejo de esta variedad de arroz en un suelo de textura franco arenosa.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. General

- Determinar las cantidades de nutrimentos absorbidos en cada etapa fenológica del cultivo de arroz variedad FCA 97116, con el propósito de lograr una eficiente utilización de los fertilizantes químicos.

1.4.2. Específicos

- Determinar las etapas de mayor demanda nutrimental del cultivo de arroz, a través de sus fases de desarrollo.
- Elaborar las curvas de absorción de nutrimentos en el cultivo de arroz.
- Observar el potencial nutrimental en la parcela nueve de la Facultad de Ciencias Agropecuarias para la producción de arroz, por medio de microparcels de observación.

1.5. HIPÓTESIS

Se quiere probar si las curvas de absorción de nutrimentos son adecuadas para determinar los niveles de extracción total y parcial de nutrimentos por la variedad de arroz FCA 97116, durante su ciclo vegetativo.

1.6. ALCANCE

Esta investigación procura hacer las recomendaciones adecuadas para mejorar las dosis de fertilizantes que se aplican a la variedad de arroz FCA 97116, empleando como metodología de estudio las curvas de absorción de nutrimentos y microparcelas de observación; será de gran interés y beneficio para los estudiantes, investigadores, productores de arroz y el medio ambiente.

1.7. LIMITACIONES

Las variedades nuevas de semillas que se liberan al mercado, regularmente solo especifican las características generales en las que deben ser cultivadas, estos estudios de absorción de nutrimentos no se realizan frecuentemente debido a que son costosos por la cantidad de análisis que se requieren. Corresponde a los investigadores agropecuarios buscar las mejores alternativas para que los cultivos tengan un buen rendimiento productivo y a la vez conservar el medio ambiente.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Cultivo de Arroz (Oryza sativa)

El arroz es una planta anual de la familia de las gramíneas, el origen del cultivo es disputado entre los investigadores, se discute el origen entre China y la India. En el mundo se encuentra distribuida en más de 1,000 variedades.

Se trata de un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de América Latina. Su grano corresponde al segundo cereal más producido del mundo, después del maíz. Debido a que el maíz es producido para otros muchos propósitos que el del consumo humano, se puede decir que el arroz es el cereal más importante para la alimentación humana, y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta. El arroz es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo por los seres humanos. (Wikipedia, 2009)

Según Monge (1953), el arroz es considerado como un alimento de subsistencia debido a que contiene siete por ciento (7%) de proteínas, 80 por ciento de hidratos de carbono, 0.5 por ciento de grasas y alrededor de 1.5 por ciento de minerales. Es un alimento de mucha utilización de regiones menos desarrolladas y con poco poder adquisitivo.

2.1.1. Morfología de la planta de arroz

La planta de arroz es una hierba anual con tallos redondos, huecos, hojas bastante planas y una panoja terminal. Está adaptada para crecer en suelos inundados; pero puede también hacerlo en suelos no muy anegados.

Las partes de la planta de arroz pueden dividirse en:

2.1.1.1. Órganos vegetativos

- Raíces: son fibrosas y consisten en radículas y vellos radicales.
- Tallos: se compone de una serie de nudos y entrenudos, en orden alterno. El nudo se lleva una hoja y un capullo que pueden desarrollarse, para constituir un vástago o renuevo. El entrenudo maduro es hueco y está estriado finamente.
- Hojas: están dispuestas en ángulo con el tallo, en dos hileras, una en cada nudo. La hoja o la parte extendida de ella se sujeta al nudo por medio de la vaina. (Contin, 1975).

2.1.1.2. Órganos florales

- Panojas: La panoja es un grupo de espiguillas nacidas en el nudo superior del tallo. Las diversas variedades tienen consideraciones notables en cuanto a longitud, forma y ángulo de implantación de las ramas primarias, así como también en cuanto al peso y densidad de la panoja.
- Espiguillas: la espiguilla individual está formada por dos glumas externas (lemas estériles) muy pequeñas y todas las demás partes florales se encuentran entre ellas o por encima de ellas. Crecen sobre el pedicelo, que las conecta con la rama de la panoja.
- El grano: se compone del ovario maduro, lema y la pálea, la requilla, las lemas estériles y las aristas cuando se encuentran presentes. (Contin 1975).

2.1.1.3. Fases de desarrollo

El crecimiento de la planta de arroz es un proceso fisiológico continuo que comprende un ciclo completo desde la germinación hasta la maduración del grano.

- Fase vegetativa: desde la germinación de la semilla hasta la diferenciación de la panícula.
- Fase reproductiva: el periodo entre el inicio de la formación de la panoja y la floración, puede iniciarse antes de alcanzar el máximo de macollamiento.
- Fase Maduración: desde la floración hasta la madurez total tiene una duración de 25 a 35 días.

Cuadro II. OCURRENCIA EN TIEMPO DE LAS ETAPAS DE CRECIMIENTO PARA ARROZ DE CICLO MEDIO

Fases	Vegetativa 51 días				Reproductiva 31 días			Maduración 30 días		
	Germinación, plántula	Macollamiento	Máximo macollamiento	Elongación del tallo	Iniciación de la panícula	Desarrollo de la panícula	Floración	Etapa lechosa	Etapa pastosa	Etapa de maduración
120 días de cultivo	3	18	55		66	85	90	97	107	120

Fuente. Crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. CIAT 1980.

2.1.2. Exigencias ambientales

2.1.2.1. Temperatura

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10 a 13°C, considerándose su óptimo entre 30 y 35 °C. Por encima de los 40°C no se produce la germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo de 7° C, considerándose su óptimo en los 23 °C. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado blandos, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades.

El espigado está influido por la temperatura y por la disminución de la duración de los días.

Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización. El mínimo de temperatura para florecer se considera de 15°C. El óptimo de 30°C. Por encima de los 50°C no se produce la floración. Las temperaturas altas de la noche intensifican la respiración de la planta, con lo que el consumo de las reservas acumuladas durante el día por la función clorofílica es mayor. Por esta razón, las temperaturas bajas durante la noche favorecen la maduración de los granos. (www.infoagro.com)

2.1.2.2. Precipitación

El arroz es una planta de suelos húmedos e inundados. Para obtener un buen rendimiento son necesarios 200–300 mm de lluvia bien distribuidos por mes, durante el ciclo del cultivo; sin embargo, el requerimiento depende mucho del tipo de suelo.

Los requerimientos de agua para el cultivo del arroz en suelos arenosos son tres veces mayores que en suelos arcillosos. El período más crítico por necesidad de agua son los 10 días antes de la floración, la falta de agua en ese período es causa de una gran esterilidad en las flores y, en consecuencia, de reducidos

rendimientos. El arroz se cultiva generalmente en áreas con relativamente elevada humedad atmosférica. (Benacchio y Avilán 1991).

2.1.2.3. Luz

Los requerimientos de luz en el arroz difieren según la fase de desarrollo del cultivo. Durante la fase vegetativa un sombreamiento que reduzca de 75 al 25 por ciento la luz solar directa afecta solo ligeramente el rendimiento final.

Por el contrario durante la fase reproductiva el sombreamiento reduce notablemente el número de flores, y en consecuencia el rendimiento. El sombreamiento por cielo nublado durante el período de maduración también reduce el rendimiento; ya que, afecta el llenado del grano. La mayoría de las variedades del trópico son fotoperiodicamente sensitivas. (Benacchio y Avilán 1991).

2.1.2.4. Viento

Vientos fuertes, especialmente en la época de la maduración, pueden causar “acamado” o caída de las espigas, dificultando la recolección de la cosecha, y ocasionando grandes pérdidas por pudrición del arroz, especialmente en condiciones de cultivo bajo riego. (Benacchio y Avilán 1991).

2.1.2.5. Suelos

Tinoco (2009), menciona que el cultivo de arroz tiene lugar en una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa a arcillosa. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propias del proceso de sedimentación en las

amplias llanuras inundadas y deltas de los ríos. Los suelos de textura fina dificultan las labores, pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrimentos. Por tanto la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes.

El pH óptimo para el arroz es 6.6, pues con este valor, la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y además las concentraciones de sustancias que interfieren la absorción de nutrimentos, tales como manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos están por debajo del nivel tóxico.

2. 2. Variedad de Arroz FCA 97116

2.2.1. Origen

La variedad FCA 97116, fue desarrollada a partir de la línea CT11032-2-4-3T-3P-2, originada en el cruce CT 6919-4-2-2-6/ P5166-F2-26-1-1X// CT8285-13-5-2P-1X. (Gaona 2008).

La línea experimental tuvo su origen en el Programa de Arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), y fue inducida a nuestro país en 1997 a través del Vivero Internacional de Observación de Arroz para América Latina (VIOAL).

Este genotipo se introdujo como material de séptima generación, evaluándose primero en parcelas de observación, y luego en varios ciclos de ensayos de rendimiento, y finalmente en pruebas regionales, en fincas de productores, en varias localidades de la República de Panamá.

2.2.2. Características

La variedad FCA 97116 es precoz, con un ciclo promedio de 115 días; sin embargo, se pueden esperar ciclos tan cortos como 106 días y tan largos como 120 días. Presenta buen vigor inicial, es de porte intermedio con altura que oscila entre 110 cm y 126 cm, su macollamiento va de bueno a muy prolífico. La longitud de grano es intermedia, sin aristas, de color pajizo y con un peso promedio de 28.4 gramos/1000 granos.

Tiene potencial para alcanzar producciones de grano limpio y seco sobre los 5,443.16 kg/ha (120qq/ha), en los ecosistemas de secano favorecido y sobre los 5,896.76 kg/ha (130qq/ha), en los ecosistemas de riego. Tiene buen rendimiento en molino y presenta buena apariencia (más de 90 por ciento de granos translúcidos). (Gaona 2008).

2.2.3. Ecosistema

Esta variedad se recomienda para condiciones de secano favorecido, con lluvias bien distribuidas durante todo el ciclo del cultivo. Los suelos deben tener buena retención de humedad, pero se deben evitar terrenos bajos con lámina permanente de agua; ya que, la variedad tiene tendencia a volcamiento bajo condiciones muy favorecidas. (Gaona 2008).

2.2.4. Densidad de Siembra

La densidad de siembra que se recomienda para esta variedad está entre 113.64 y 136.36 kilogramos de semilla por hectárea; sin embargo, es necesario considerar la calidad de la semilla por unidad de superficie, además es

importante tomar en cuenta la relación entre la densidad de siembra y los problemas de enfermedades y plagas. (Gaona 2008).

2.2.5. Fertilización

Como norma se debe realizar un análisis de suelo antes de establecer un plan de fertilización. Este plan también debe tomar en cuenta el historial de uso de campo y la relación entre fertilización y la incidencia de enfermedades, plagas y volcamiento; lo que permitirá hacer ajustes en la nutrición, según las condiciones particulares de cada finca.

En general, se recomienda la aplicación de 181.80 kilogramos de fertilizante completo a la siembra y 181.80 kilogramos de fertilizante nitrogenado (urea 46%), fraccionando la dosis total a varias aplicaciones, coincidiendo estas, fundamentalmente, con las fases de macollamiento e iniciación de la panícula. Debe considerarse que las aplicaciones de nitrógeno dos semanas antes de la emergencia de la panícula y en plena floración ayudan a evitar la degeneración de los granos, incrementan el tamaño de la cáscara, estimulan el desarrollo del grano y aumentan el porcentaje de granos maduros. (Gaona 2008).

2.2.6. Reacción a enfermedades y plagas

En condiciones experimentales, la variedad mostró tolerancia a las principales enfermedades foliares que atacan al cultivo (*Pyricularia*, *Helmintosporiosis*, *Cercosporiosis*, *Pudrición de la vaina*, *Añublo de la vaina*, etc.); sin embargo, se requiere de protección para un mejor desempeño.

En cuanto a plagas, la variedad es susceptible al ácaro de la vaina del arroz **Steneotarsonemus spinki Smile**, por lo que se recomienda especial atención y control del mismo. (Gaona 2008).

2.2.6.1. Control de malezas, enfermedades y plagas

Para un buen control de malezas se requiere una buena preparación de suelo, la utilización de semilla certificada y aplicaciones oportunas de los herbicidas apropiados.

Las medidas control de insectos y enfermedades deben regularse de acuerdo a la naturaleza y la intensidad del daño de la plaga o enfermedad, el estado de desarrollo del cultivo y las condiciones ambientales. Es importante determinar los niveles de daño económico antes de poner en práctica medidas de control. La inspección periódica y cuidadosa en los campos permitirá tomar decisiones oportunas. (Gaona 2008).

2.2.7. Cosecha

La cosecha oportuna del grano reduce las pérdidas por desgrane natural, acame, pájaros, ratas y pérdida del valor comercial (calidad). Se considera que la humedad óptima de cosecha está entre 20 y 27 por ciento. Por encima de 27 por ciento hay menor rendimiento y mayor porcentaje de granos yesosos. Cuando la humedad del grano es menor de 18 por ciento hay pérdidas de granos, calidad y mayor riesgo.

En términos visuales se considera el punto de cosecha cuando el 80 por ciento de los granos de la panícula estén color paja; en este momento los granos de la

porción superior de la panícula están claros y firmes y la mayoría de los de la base se encuentran en la etapa de endurecimiento. (Gaona 2008).

2.3. Elementos esenciales para el cultivo de arroz

Para el arroz son esenciales 16 elementos. Estos se dividen en macroelementos como: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, y S, los microelementos, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B y Cl. Todos los elementos esenciales deben estar presentes en cantidades óptimas y en formas utilizables por las plantas de arroz. El nitrógeno, fósforo, potasio y zinc son los elementos que más frecuentemente aplican los agricultores para cultivar el arroz. (Surajit 1986).

Todos los demás nutrimentos esenciales son proporcionados por el aire, agua, suelo y residuos vegetales o como contaminantes en los fertilizantes comerciales.

2.4. Nutrición mineral y manejo de los fertilizantes en el arroz

El desarrollo de un método racional para aplicar los fertilizantes requiere del conocimiento de la nutrición mineral de la planta de arroz en diferentes etapas de crecimiento. Aso (1918), estudió el proceso de absorción de los nutrimentos por la planta de arroz en diferentes etapas de crecimiento. Posteriormente, Gericke (1924), e Ishizuka (1932), estudiaron sistemáticamente la nutrición mineral en la planta de arroz.

2.4.1. Nutrición mineral

Surajit (1986), define la nutrición como el suministro y absorción de aquellos elementos químicos nutrimentales que requiere un organismo. Los nutrimentos necesarios para los cultivos son los elementos, o compuestos inorgánicos

simples, indispensables para su crecimiento y que no pueden ser sintetizados por la planta durante sus procesos metabólicos normales.

La nutrición mineral adecuada en el cultivo del arroz, es una práctica fundamental para obtener niveles altos de producción, esto indica que en gran parte la rentabilidad del cultivo depende de la formulación y aplicación de un plan de nutrición completo y balanceado; la falta de uso de esta técnica trae consigo consecuencias de impacto ambiental generando problemas como: sobredosificación de nutrimentos causando efectos antagónicos entre éstos, posibles contaminaciones de aguas freáticas y superficiales entre otros, también se presenta subdosificación de nutrimentos que restringe el balance y sinergismo entre los mismos, limitándose cada vez más su disponibilidad por la constante remoción y no inclusión en los planes de nutrición. (Cordero 1993).

2.5. Curva de absorción de nutrimentos

Según Bertsch (2005), una curva de absorción es la expresión gráfica de la extracción de un nutrimento y representa las cantidades de este elemento extraídas por la planta durante su ciclo de vida. Con estas gráficas es fácil comparar las distintas tendencias de absorción total y la absorción de nutrimentos en cada tejido. Esta información es valiosa para diseñar estrategias de manejo de nutrición del cultivo.

Los estudios de curvas de absorción de nutrimentos a lo largo del ciclo del cultivo son una herramienta sólida para afinar técnicamente las recomendaciones de fertilización, esto logra elevar la eficiencia de uso de los nutrimentos y mejora la rentabilidad de la nutrición del cultivo; estos estudios deben realizarse teniendo en cuenta que cada variedad de una misma especie puede presentar características particulares de respuesta y producción que se

pueden expresar en diferente capacidad de absorber nutrimentos. (Bertsch 2005).

La extracción de nutrimentos depende de diferentes factores tanto internos como externos, los más sobresalientes son:

2.5.1. Factores internos

- El potencial genético de la planta: Por esta razón es ideal determinar la curva de extracción para cada cultivar.
- Edad de la planta, o estado de desarrollo de la misma. La curva necesariamente debe reflejar los cambios nutrimentales dependientes de la fenología de la planta. Con esto se pueden asociar puntos de máxima absorción con puntos claves de desarrollo como prefloración, floración, fructificación, otros. (Sancho 1999).

2.5.2. Factores externos

Los factores externos son aquellos relacionados con el ambiente donde se desarrolla la planta como la temperatura, humedad, brillo solar, entre otros. Además, la fertilización balanceada debe de incluir la reposición de los nutrimentos, de acuerdo a una cantidad específica, para mantener las proporciones adecuadas en el suelo, que facilite la asimilación de los nutrimentos por las plantas y que busque incrementar la fertilidad y productividad del suelo. (Sancho 1999).

2.6. Importancia y utilidad de las curvas de absorción

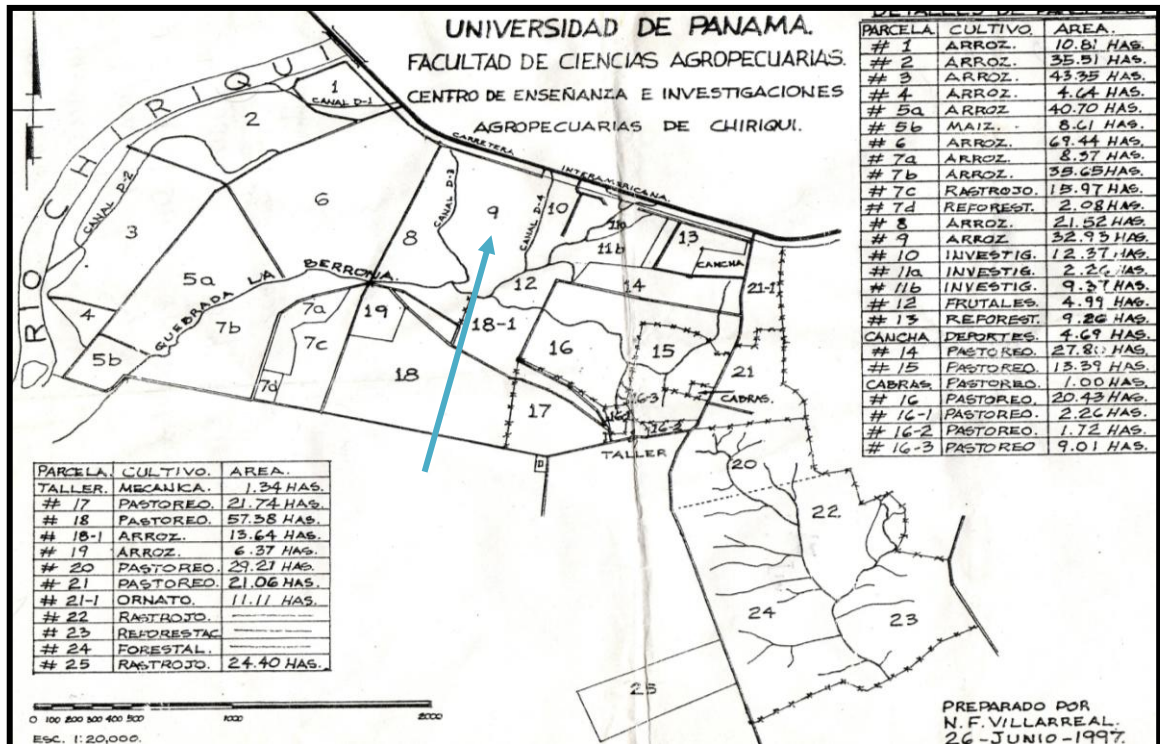
Conociendo el comportamiento de las curvas de absorción se determinan las épocas de mayor absorción de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes en los programas de fertilización, que generalmente deberán ocurrir unas dos semanas antes de este pico de alto requerimiento de nutrimentos.

Con esto se logra maximizar el aprovechamiento de los fertilizantes. Las curvas de absorción permiten también conocer la calidad nutritiva, en cuanto a contenidos de nutrimentos, de las partes de la planta de consumo humano o animal. (Sancho 1999).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El Centro de Enseñanzas e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI), se encuentra localizado en el corregimiento de Chiriquí, distrito de David, provincia de Chiriquí, sobre la margen izquierda del río Chiriquí y al sur de la carretera Panamericana. Cubre una superficie total de 830 hectáreas comprendidas entre las siguientes coordenadas geográficas 8° 23' 14" y 8° 24' 24" de latitud Norte y 82° 21' 44" de longitud Oeste. Según la clasificación climática de Köpen el clima de CEIACHI es tropical lluvioso, isotérmico, donde la temperatura media del mes mas frio es superior a 18° centígrados, con precipitación anual mayor de 2500 milímetros y con mas de un mes seco durante el invierno en el hemisferio norte. (Aguilar 1998).



Fuente. Estudio Agrológico Facultad de Agronomía (1982).

Figura 1. Localización del área de estudio

La parcela nueve se encuentra a orillas de la carretera Panamericana, tiene una superficie generalmente plana, el suelo según su clase y textura es franco arenoso del orden mollisol y tiene un área de 32.93 hectáreas que prácticamente son dedicados a la siembra del cultivo de arroz, ver figura 1.

3.2. Metodologías

En este estudio se utilizaron dos metodologías diferentes para obtener resultados que ayudaran a revelar la fertilidad del suelo y la disponibilidad de los nutrimentos al cultivo de arroz variedad FCA 97116 en la parcela nueve (9). Se utilizaron microparcels de observación y curvas de absorción de nutrimentos.

3.2.1. Elaboración de las microparcels

El objetivo de la experimentación con microparcels es determinar en forma rápida y aproximada el estado nutrimental del suelo (respuesta a niveles de fertilización) en el campo mismo, por medio de una planta indicadora en este caso arroz. La prueba de microparcels da una información preliminar con la cual pueden también establecerse experimentos de campo en forma apropiada en determinada clase de suelo o bajo condiciones de campo especiales.

La respuesta a los tratamientos aplicados se obtiene en términos de peso en kilogramos de materia fresca en campo. Revelando que la microparcels que mayor peso tenga será la que mejor respuesta ha mostrado a los diferentes niveles de fertilización. En el cuadro III, se muestran los niveles de nutrimentos aplicados al suelo (N, P, K).

- ❖ Para la elaboración de las microparcels se seleccionó un área de 7.80 x 2.40 metros dentro de la parcela nueve; en donde se realizaron labores

culturales (limpieza), para la preparación adecuada de la siembra, ver figura 2.

- ❖ Posteriormente se elaboraron 27 microparcels con una dimensión de 0.60 m x 0.60 m y calles de 0.30 m. La figura 2, ilustra las microparcels marcadas en la parcela nueve.
- ❖ En cada microparcels se marcaron cinco líneas o surcos para colocar los diferentes tratamientos detallados en el cuadro IV y la colocación de la semilla de arroz variedad FCA 97116. Para la aplicación de los tratamientos en las microparcels, se utilizó la distribución de los tratamientos en parcelas según Briceño (1984).



Figura 2. Limpieza del terreno y elaboración de las microparcels

- ❖ Al momento de la siembra se aplicaron las diferentes dosis de fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), (ver cuadro III).
- ❖ El nitrógeno (urea 46%), se le proporciono pasados 15 días después de la siembra, debido a que las dosis eran cantidades muy pequeñas por lo se requería que el cultivo lo absorbiera a su totalidad.

- ❖ Durante el desarrollo del cultivo se realizaron labores culturales (control de malezas).

Cuadro III. DOSIS Y NIVELES DE NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO UTILIZADAS EN LAS MICROPARCELAS

Nitrógeno (Urea 46% N)		Fósforo - Roca fosfórica (27% P ₂ O ₅)		Potasio (KCl 60% K ₂ O)	
Kg Ha ⁻¹	g/parcela	Kg Ha ⁻¹	g/parcela	Kg Ha ⁻¹	g/parcela
0	0	0	0	0	0
60	4,7	150	12	60	3,6
120	9,4	300	24	120	7,2

El (cuadro III), muestra las diferentes dosis de fertilizantes suministradas para cada tratamiento efectuado en las 27 microparcels de observación del comportamiento de la variedad FCA 97116 a diferentes niveles de fertilización.

El material vegetal fue cortado los 45 días después de la siembra, el anexo 1 ilustra el momento de corte de la variedad para registrar peso fresco y determinar el mejor tratamiento reflejado en una mayor producción vegetativa.

3.2.2. Muestreos en la parcela de arroz

Los muestreos para análisis y elaboración de curvas de absorción de nutrimentos; se realizaron en la parcela nueve (9), sembrada de arroz comercial. En esta parcela no se le aplicó ningún tratamiento adicional, sin embargo, se tomó en consideración la fertilización aplicada para tener referencias del manejo agronómico. Para el muestreo se procedió como sigue:

- ❖ Se seleccionó dentro de la parcela un área 30 metros cuadrados, para realizar los muestreos al azar, utilizando un cuadro de muestreo de un pie cuadrado, tomando en consideración los mejores lotes de plantas para la muestra.

- ❖ Los muestreos fueron realizados cada 15 días después de la siembra.

- ❖ El ciclo vegetativo de la variedad FCA 97116 es de 120 días aproximadamente, se realizaron ocho muestreos con cuatro submuestras cada uno, las cuales eran cortadas en la parte baja de la planta sin incluir raíces y empacadas en bolsas para ser llevadas al Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (ver anexos 2 y 3), de esta forma se obtuvo un total de 32 submuestras al final del estudio para ser analizadas.

- ❖ De las cuatro submuestras que se obtuvieron en cada muestreo, se les determinó el peso fresco y se les colocó en bolsas de papel para ser secadas en el horno a una temperatura de 65° centígrados por tres días (ver anexo 4).

- ❖ Pasados los tres días, se pesaban nuevamente para obtener el peso seco y realizar el cálculo del porcentaje de materia seca.

- ❖ Finalmente las submuestras eran trituradas en un molino, luego se pesaban dos gramos de muestra (ver anexo 5), para realizar los análisis foliares.

Posteriormente se realizaron los análisis foliares, que incluyeron macro y micronutrientes (Absorción Atómica) y nitrógeno por separado. (Kjeldahl)

3.2.3. Análisis foliares

Los análisis foliares se realizaron a las 32 submuestras obtenidas de los ocho muestreos en la parcela nueve (9), sembrada por CEIACHI, siguiendo las metodologías establecidas en el Laboratorio de análisis Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

- ❖ El análisis de fósforo foliar se realizó por medio del método de Espectrofotometría, (colorimetría complejo coloreado con Molibdo-Vanadato de Amonio). (Chapman 1973). (ver anexo 6).
- ❖ Los macro y micronutrientes se determinaron por el método de extracción con ácido clorhídrico a partir de ceniza, (espectrofotometría de absorción atómica). (Chapman 1973). (Ver anexo 9)
- ❖ El análisis de nitrógeno se realizó con el método de Kjeldahl utilizando, bloque de digestión y destilador. (Chapman 1973). (ver anexo 8).

Los datos de los resultados de los análisis fueron promediados por muestreo para elaborar las curvas de absorción de nutrientes.

3.2.4. Elaboración de las curvas de absorción

La cantidad de nutrientes absorbida por una planta se obtiene de la relación entre el peso seco de los tejidos y la concentración de nutriente en esos tejidos. Estos datos se pueden obtener una vez en el ciclo de vida del cultivo, también se pueden obtener en varias etapas durante el ciclo, preferiblemente asociadas a cambios fenológicos importantes, cuando se refiere a elaborar curvas de absorción. (Bertsch, 2005)

Para la elaboración de la curvas de absorción de nutrimentos se tomaron los resultados de los 32 análisis foliares de las submuestras y se promedió por muestreo, de tal forma que solo se trabajo con ocho periodos de muestreos. Posteriormente se grafica para cada nutrimento la curva de crecimiento poniendo las etapas de muestreo en tiempo, en el eje de las X y el peso seco obtenido en cada muestreo en eje de las Y. Todos los resultados se extrapolaron a kilogramos/hectárea.

3.2.5. Estimación de la dosis de fertilización

Para estimar la dosis de fertilización que se le debe aplicar al cultivo de arroz variedad FCA 97116, se utilizaron como referencia el análisis de suelo (ver cuadro VIII), de esta parcela y los requerimientos obtenidos a través de la elaboración de las curvas de absorción. Para facilitar el trabajo se empleo un cuadro de interpretación de análisis de suelo, cual nos permitió ver claramente la cantidad de los elementos disponibles en el suelo y la relación entre ellos, utilizando formatos para el cálculo de la dosis de fertilización. (Ver cuadro IX)

La aplicación de fertilizantes que se realizó en la parcela nueve (9) fue de: 590.90 kilogramos/hectárea, equivalentes a 70.91 kilogramos N/hectárea – 177.27kilogramos P_2O_5 /hectárea - 59.09 kilogramos K_2O /hectárea – 35.45kilogramosCa/hectárea, adicionalmente se le aplicaron 113.63 kilogramos de urea 46% (52.3kilogramosN/hectárea), a los 25 días después de la siembra; y posteriormente esta misma aplicación de urea 46% se realizó a los 52 días después de la siembra, esta última aplicación no se realizó en forma uniforme, solo se aplicó en donde se observó clorosis en la planta. Además se le aplicaron diversos productos químicos como insecticidas, fungicidas para el control de plagas y enfermedades. Estas aplicaciones no son parte del estudio pero sirven como referencia para hacer las comparaciones con los resultados obtenidos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Microparcelas de observación

Los resultados de los pesos obtenidos en campo, según las diferentes dosis de fertilizantes o tratamientos, nos indican que los mejores rendimientos en cuanto a materia fresca se registraron en los tratamientos que tenían alto contenido de nitrógeno y potasio y bajo contenido de fósforo.

En cambio los que contenían altas dosis de fósforo y potasio presentaron resultados poco satisfactorios como lo fue el tratamiento 16 que contenía 60 N, 300- P_2O_5 , 0- K_2O . De igual forma ocurrió con los que contenían las dosis más altas de los tres nutrimentos tal fue el tratamiento 15 y 16, marcados en celeste, (Ver cuadro IV).

Los mejores tratamientos fueron los de las microparcelas 21 con una dosis de 120 N, 0 P_2O_5 , 120 K_2O , y tres 0 N, 0 P_2O_5 , 120 K_2O . Cabe indicar que el suelo presenta altos contenidos de la mayoría de los nutrimentos esenciales, debido a esto el tratamiento 0- N, 0- P_2O_5 , 0- K_2O está dentro de los que obtuvieron mayor producción vegetativa. Con sombra color rosado.

En cuanto a las observaciones que se realizaron durante el experimento, no se mostraron deficiencias visuales de nutrimentos en ninguna de las microparcelas, solo hubo una invasión por malezas las cuales compitieron con el cultivo por nutrimentos y espacio. No se encontraron ataques por plagas ni enfermedades.

Se puede hacer mención de que la pequeña pendiente que presentaba el terreno pudo afectar al crecimiento de las plantas y causar una movilización de los fertilizantes aplicados (lixiviación); ya que, para el momento de aplicación se produjeron fuertes aguaceros. Estas observaciones nos ayudarán a definir las necesidades nutrimentales para esta variedad.

Cuadro IV. DISTRIBUCIÓN Y RENDIMIENTO SEGÚN LOS TRATAMIENTOS DE LAS MICROPARCELAS

Nº microparcels	Tratamientos			Pesos fresco en campo g/parcela
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	0	0	0	510.00
2	0	0	60	469.97
3	0	0	120	532.97
4	0	150	0	430.57
5	0	150	60	501.37
6	0	150	120	332.27
7	0	300	0	306.57
8	0	300	60	311.97
9	0	300	120	256.17
10	60	0	0	377.97
11	60	0	60	331.97
12	60	0	120	425.27
13	60	150	0	372.37
14	60	150	60	300.17
15	60	150	120	255.27
16	60	300	0	190.97
17	60	300	60	374.27
18	60	300	120	348.07
19	120	0	0	384.27
20	120	0	60	287.77
21	120	0	120	573.87
22	120	150	0	471.17
23	120	150	60	407.67
24	120	150	120	453.47
25	120	300	0	498.27
26	120	300	60	470.37
27	120	300	120	258.07

4.2. Curvas de absorción de nutrimentos

La absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre día a día. La cantidad de nutrimentos removidos del suelo por una cosecha de arroz varía con el cultivar, la producción de biomasa, el suelo, clima y el manejo; de esa forma podemos encontrar diferencias muy grandes en los datos de extracción de nutrimentos por el arroz en diferentes partes del mundo. (Cordero 1993).

El CEIACHI, tiene aproximadamente un área cultivada de arroz FCA 97116 de 5.5 hectáreas, en donde se obtuvo un rendimiento de 20,545.45 kilogramos de grano al 28 por ciento de humedad, para un promedio total de cosecha de 3,735.45 kilogramos/hectárea.

Cuadro V. CANTIDAD TOTAL DE MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL ARROZ VARIEDAD FCA 97116.

Fecha	Muestras	Días después de la siembra	Materia seca en Kg/há
06-07-09	M-1	18	126.46
20-07-09	M-2	33	261.54
03-08-09	M-3	48	358.31
17-08-09	M-4	63	572.92
31-08-09	M-5	78	855.69
14-09-09	M-6	93	1430.00
28-09-09	M-7	108	1664.77
12-10-09	M-8	123	661.07
		Total	5930.76

El aumento del peso seco a través del tiempo es la medida que normalmente se utiliza para expresar el desarrollo del cultivo.

El cuadro V, muestra los resultados de materia seca obtenidos de los muestreos en la parcela nueve (9), para ser más precisos los resultados de las 32 submuestras fueron promediados para obtener el valor por muestreo. También revela que la variedad desarrolla su máximo contenido de materia seca a los 108 días después de la siembra, pasada la etapa pastosa en donde la planta se prepara para la fase final del ciclo.

La cantidad de materia seca producida depende del material genético, de los factores ambientales y de la disponibilidad de nutrientes, el patrón de acumulación de materia seca es similar en todas las variedades de arroz. El manejo agronómico que se le dio al cultivo se refleja en la cantidad de materia seca producida que es un factor importante en el rendimiento del mismo.

Como muestra la figura 3, la producción de materia seca va en ascenso desde que se inicia la formación de la plántula, aumenta considerablemente entre las etapas lechosa y pastosa acumulando en esta 1664.77 kilogramos/hectárea, luego disminuye dentro de la fase de maduración; preparándose la planta para la cosecha.

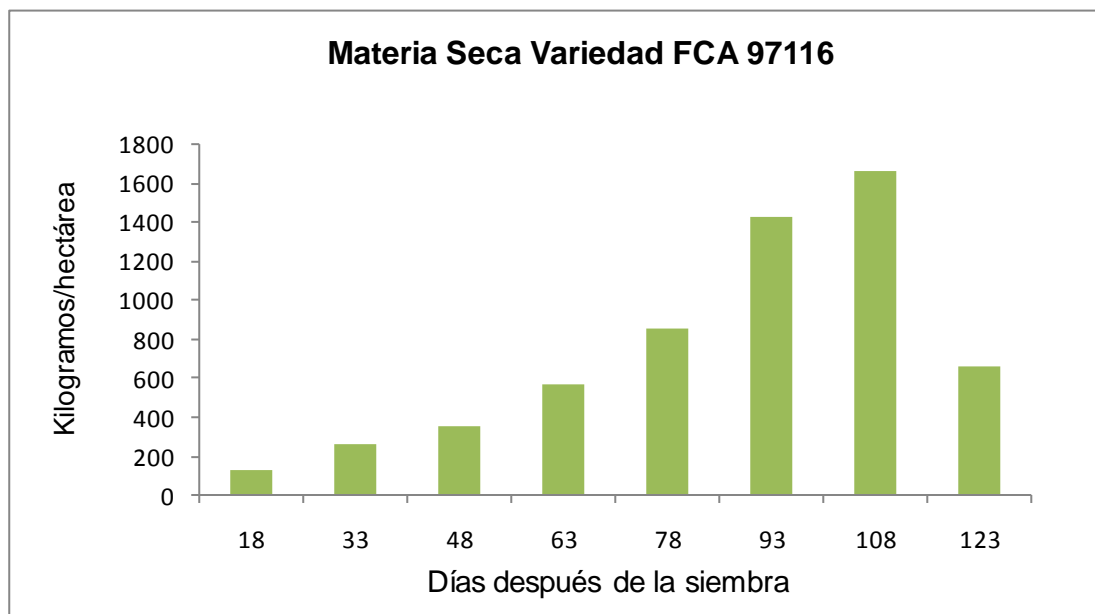


Figura 3. Materia seca total producida por la variedad de arroz FCA 97116

Los análisis foliares realizados mostraron el contenido de nutrimentos en la planta de arroz para cada muestreo. Ver cuadro VI.

Con estos resultados se elaboraron las curvas de absorción por nutrimento, tomando en cuenta la cantidad de materia seca producida por muestreos, se puede observar claramente las necesidades de cada nutrimento en las diferentes etapas del desarrollo fenológico del cultivo; claramente las figuras de las curvas de absorción de nutrimentos nos ilustran ampliamente el momento oportuno para la aplicación de fertilizantes.

Las mayores extracciones de nutrimentos por la planta suceden cuando la planta se prepara para etapa de reproducción, hasta la etapa de maduración, de allí en adelante la planta se mantiene con lo mínimo, ya que, se prepara para su fase final, la formación de semilla (grano).

Cuadro VI. EXTRACCIÓN PARCIAL Y TOTAL DE NUTRIMENTOS POR EL ARROZ, VARIEDAD FCA 97116

Días después de la siembra	Kg/ha					g/ha			
	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>
18	4.80	0.38	2.98	0.62	0.24	220	0.8	26.8	3.5
33	8.50	0.60	5.99	1.28	0.50	260	1.3	66.4	6.5
48	8.85	0.79	8.21	1.25	0.57	140	2.1	48.0	6.1
63	12.60	1.15	12.71	2.06	0.92	520	5.2	116.3	10.3
78	18.57	1.63	21.73	3.85	1.45	510	11.1	177.1	19.7
93	20.59	2.57	17.73	6.15	2.72	359	8.6	254.5	24.3
108	17.65	3.66	25.14	4.33	2.33	480	10.0	399.5	139.8
123	5.42	1.06	7.21	2.38	1.12	200	3.3	62.1	9.3
Total	96.98	11.84	101.70	21.92	9.85	2689	42.4	1150.7	219.5

El análisis del grano se realizó en el último muestreo, con el propósito de determinar la cantidad de nutrientes exportados del sistema, el cuadro VI, muestra las cantidades extraídas por nutriente. Este dato es muy importante; ya que, allí mostrará el valor nutricional que contiene la variedad al momento final o de cosecha.

La cantidad de nutrientes absorbidos por una variedad de arroz está en función de la biomasa producida, esta a su vez depende de muchos factores, entre ellos del manejo agronómico que se da al cultivo, sistema de siembra (riego o seco), incidencia de plagas y enfermedades, variedad, entre otros. (Vargas 2002).

Cuadro VII. MATERIA SECA Y NUTRIMENTOS PRESENTES EN EL GRANO DESPUÉS DE COSECHA

Kg/ M. seca/ha	Kg/ha					g/ha			
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
723.56	9.12	2.60	2.60	0.87	1.01	230.0	5.0	36.0	219.5

El cuadro VII, muestra el contenido de los nutrientes presentes después de cosecha. Por lo que vemos que el contenido del nitrógeno forma parte esencial en la síntesis de almidones es por ello su mayor contenido en el grano. Los microelementos hierro y zinc también tiene valores considerables dentro del resultado siendo componentes importantes en el valor nutricional del cereal.

4.2.1. Curvas de absorción de nutrientes para la variedad FCA 97116

Las curvas de absorción de nutrientes son útiles para observar, donde ocurre la mayor absorción de un nutriente, relacionándola con la fase vegetativa.

Nitrógeno

Se observa en la figura 4, que el nitrógeno es absorbido rápidamente durante las primeras etapas de desarrollo de la planta para la formación del follaje y el macollamiento, exhibe su mayor absorción en la etapa reproductiva, de allí su contenido decae significativamente al inicio de la etapa pastosa aproximadamente a los 108 días después de la siembra.

Durante la etapa reproductiva la planta extrae unos 20.59 kilogramos/hectárea, lo que representa un 21.23 por ciento del total extraído durante el ciclo.

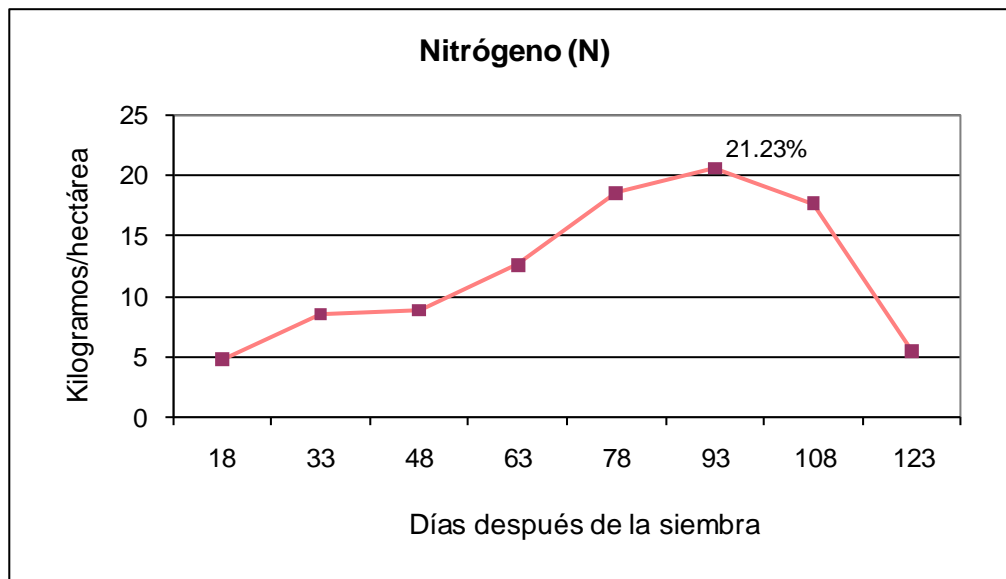


Figura 4. Curva de absorción de nitrógeno (kilogramos/hectárea)

Esto nos indica que las aplicaciones de nitrógeno que se requieran realizar en el cultivo deben hacerse antes de este periodo para su mejor aprovechamiento.

La mayoría del nitrógeno tomado por las plantas es almacenado en la lámina y vainas de la hoja hasta el estado de floración, momento en el cual de todas las partes de la planta se trasloca al grano.

Bertsch (2005), menciona que, la acumulación máxima de nitrógeno en la planta ocurre en las primeras fases vegetativas y decae ligeramente durante el estado máximo de macollamiento y diferenciación, el 50% restante es traslocado al grano. Esta teoría no coincide con este estudio; ya que, la absorción de nitrógeno en este caso decae luego de la etapa lechosa y no después del macollamiento.

Fósforo

La absorción de fósforo fue lenta, hasta cuando se inició el primordio floral, posteriormente es un poco más rápida, (después de la etapa pastosa), cuando las necesidades de la planta están satisfechas.

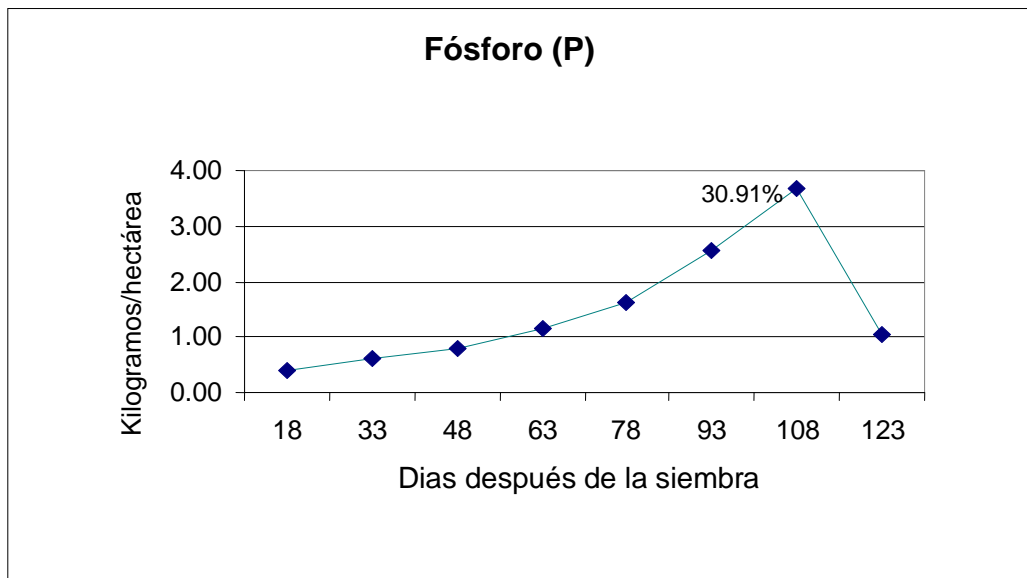


Figura 5. Curva de absorción de fósforo (kilogramos/hectárea)

En estos momentos el fósforo, que se encuentra principalmente en las hojas, es transferido a los granos, llegando acumularse en el grano hasta el 80 por ciento del fósforo absorbido por la planta.

La figura 5, detalla que la absorción de fósforo va en aumento hasta alcanzar un máximo en la etapa pastosa 107 días después de la siembra, en donde su acumulación máxima es de 3.66 kilogramos/hectárea, luego disminuye su absorción en la etapa de maduración con 1.06 kilogramos/hectárea. Lo que concuerda con el estudio realizado por Villarreal (2004), donde se concluye que el fosforo, es mayormente exigido en las etapas iniciales del desarrollo del cultivo.

Con las bajas temperaturas la absorción de fósforo disminuye por la planta, por lo que es importante aportar el fósforo en formas solubles, fácilmente absorbibles por la planta de arroz. Al igual que el nitrógeno tiene su importancia dentro del desarrollo y crecimiento de la planta. El fósforo promueve el macollamiento, el desarrollo de la raíz, floración temprana y la maduración.

Potasio

En la figura N° 6, muestra que el potasio, al igual que el nitrógeno y el fósforo, es absorbido durante la fase vegetativas; sin embargo, a diferencia de los otros dos nutrimentos, se produce una segunda fase de absorción entre la floración acumulando en esta primera fase 21.73 kilogramos/hectárea que representa un 21.37 por ciento del total y en la formación del grano lechoso 25.14 kilogramos/hectárea, adquiriendo 24.72 por ciento del total acumulado en la planta.

En total, a lo largo de todo el ciclo se absorbe una cantidad mayor de potasio que de nitrógeno. La absorción total de potasio durante la investigación fue de

101.70 kilogramos/hectárea, a diferencia del nitrógeno fue de 96.98 kilogramos/hectárea.

El potasio además abreviar el período de floración-maduración, aumenta la longitud de la panícula, el peso del grano y el rendimiento industrial del arroz en cáscara. Así como favorece la formación de vástagos e incrementa la respuesta al fósforo.

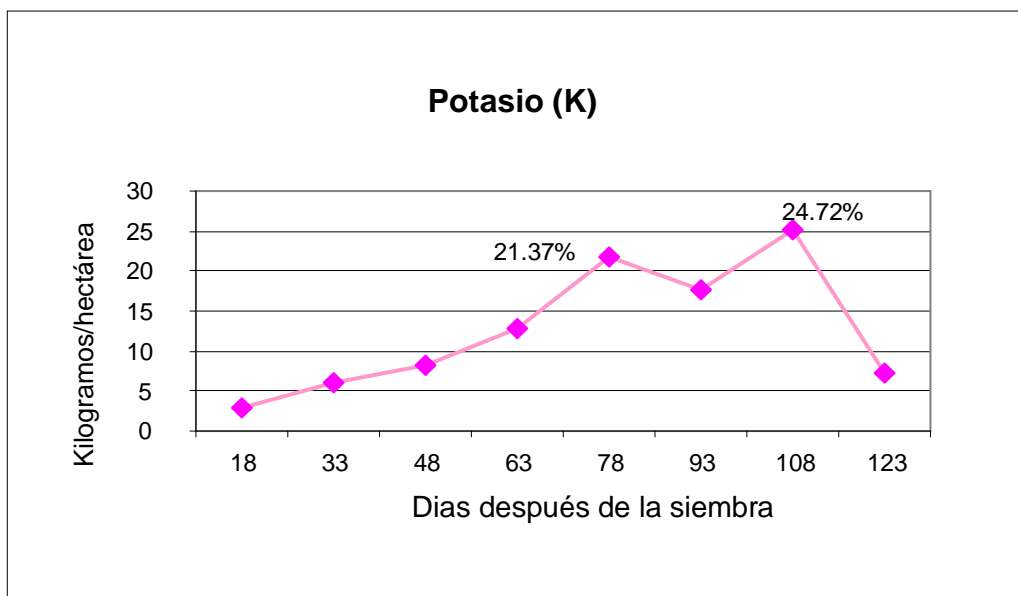


Figura 6. Curva de absorción de potasio (kilogramos/hectárea)

En general el contenido de potasio en follaje es alto, determinando esto la importancia de mantener altos niveles de potasio en todo el ciclo del cultivo. Para el grano, la disminución es significativa en la medida que el grano madura, exportando el grano el 0.5 por ciento de su peso en potasio.(Villarreal, 2004)

Calcio

En la figura se observa que la absorción de calcio se relaciona con el desarrollo vegetativo de la planta de manera continua hasta la floración parcialmente a los 93 días después de la siembra, extrayendo en esta etapa reproductiva unos

6.15 kilogramos/hectárea, esto representa un 28.05 por ciento del total extraído por la variedad. La cantidad de calcio absorbida por la planta después de la floración se debe al calcio extraído del suelo que va directamente a la panícula.

El calcio tiene gran importancia como regulador del metabolismo vegetal, confiere rigidez a los tejidos celulares, estimula el crecimiento del sistema radical y en forma balanceada favorece la absorción y transporte de fósforo.

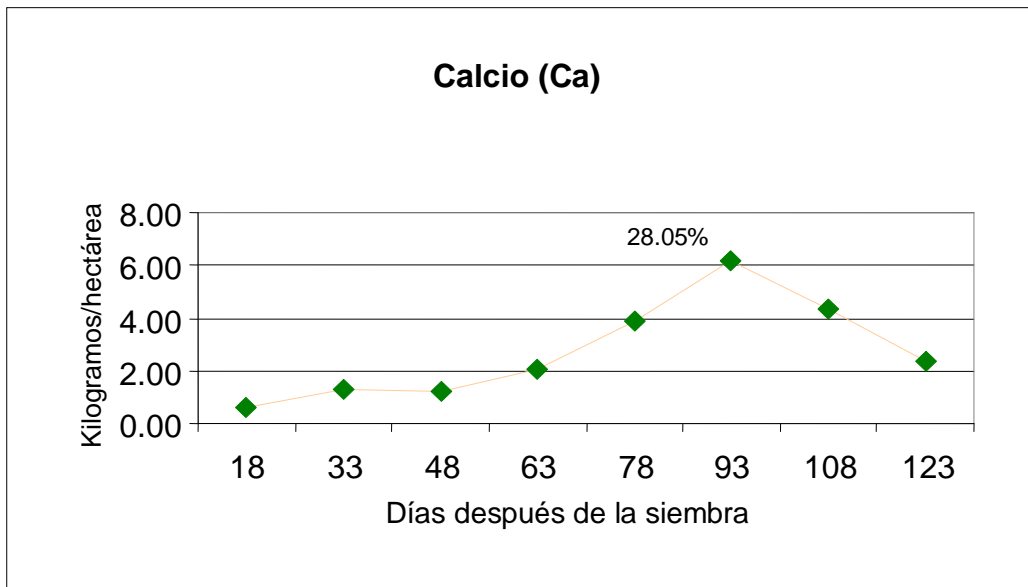


Figura 7. Curva de absorción de calcio (kilogramos/hectárea)

Magnesio

El magnesio es absorbido por la planta de arroz de igual forma que el calcio, aumenta lentamente hasta el desarrollo de la panícula y de allí en adelante incrementa considerablemente hasta la etapa de floración a 90 días después de la siembra, con una extracción en la planta de 27.61 por ciento, luego de la floración su extracción por la planta disminuye paulatinamente a un 19.75 por ciento.

Con relación al estudio de Villarreal 2004, en la variedad de arroz Vioal 3189, manifiesta que la mayor absorción por la planta de magnesio fue de 0.15 por ciento, y si comparamos con nuestro estudio en la variedad FCA 97116, la concentración del nutrimento es superior al contenido del estudio de Villarreal.

Es un elemento móvil dentro de la planta y participa en casi todas las reacciones que ocurren dentro de ella, como activador enzimático; es el único mineral que forma parte de la molécula de la clorofila.

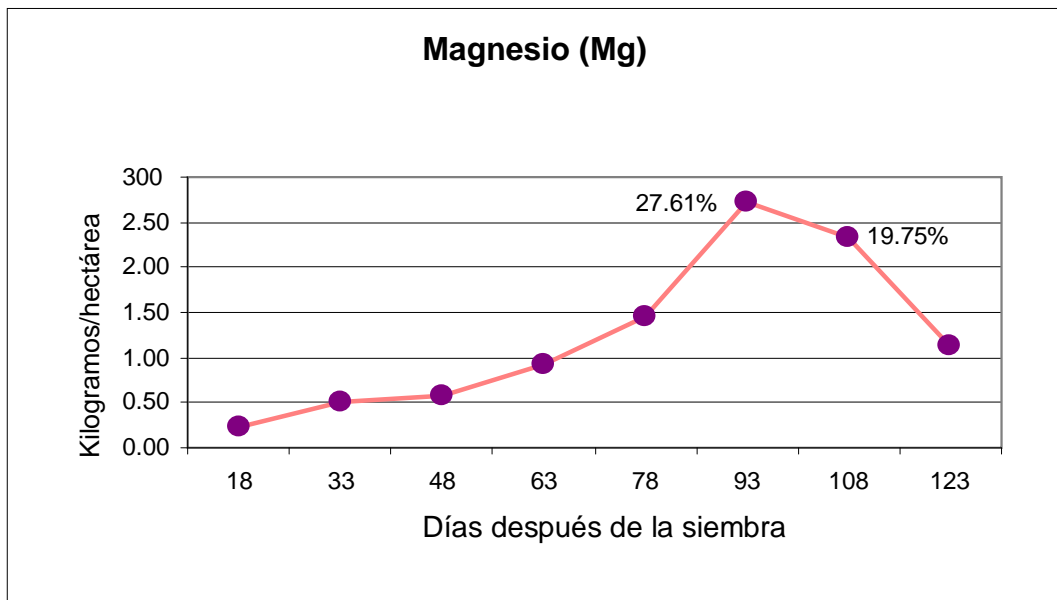


Figura 8. Curva de absorción de magnesio (kilogramos/hectárea)

Hierro

La figura N° 9 ilustra que, la absorción de hierro es deficiente durante la fase vegetativa teniendo una leve disminución en la etapa de máximo macollamiento a los 48 días después de la siembra luego, este aumenta lentamente a medida que transcurren las etapas de crecimiento cuando inicia la fase de reproducción a

los 63 días después de la siembra en donde se ha extraído unos 520 gramos/hectárea; representando este el punto de mayor extracción durante todo el ciclo. Lo que con mayor facilidad se puede expresar a un 60.64 porciento del total de la planta extraído.

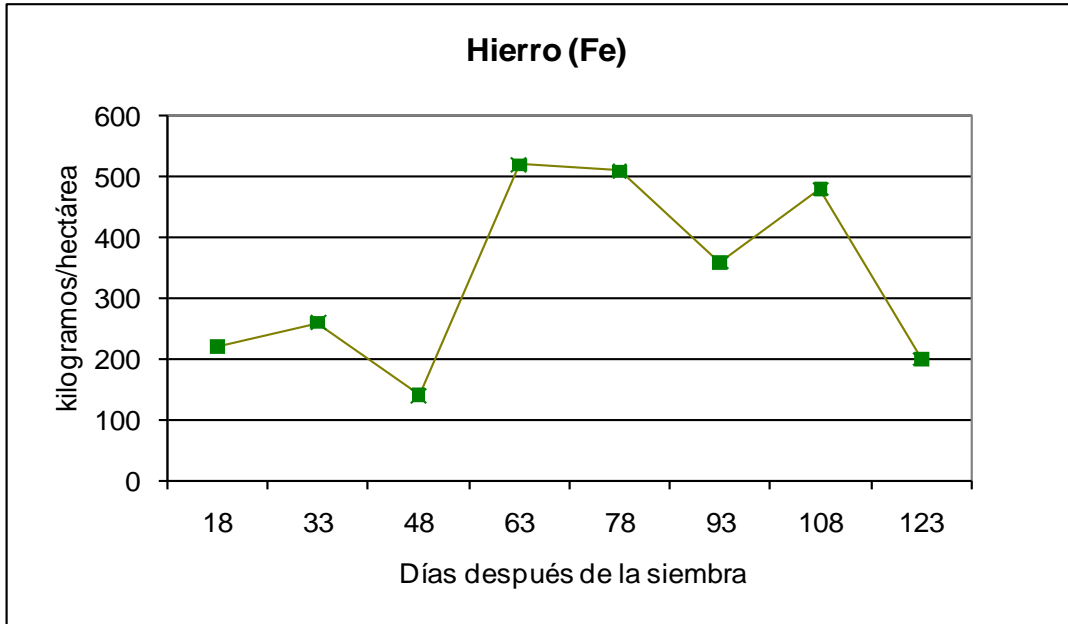


Figura 9. Curva de absorción de hierro (gramos/hectárea)

Este comportamiento se debe principalmente a que el elemento hierro es esencial para la formación del grano; ya que, actúa en la síntesis de proteína. (De Datta 1986)

La variedad FCA 97116, coincide con lo estudiado por Villarreal 2004, en la variedad VIOAL 3189 cuya máxima extracción del hierro se presenta a las 15 semanas del cultivo.

Cobre

La absorción de cobre se manifiesta en forma ascendente hasta la etapa del desarrollo de la panícula en donde extrajo 11.1 gramos/hectárea, luego su contenido en la planta decae en la etapa de la floración 8.6 gramos/hectárea, posteriormente aumenta en la etapa pastosa a 10.0 gramos/hectárea y disminuye hasta la etapa final.

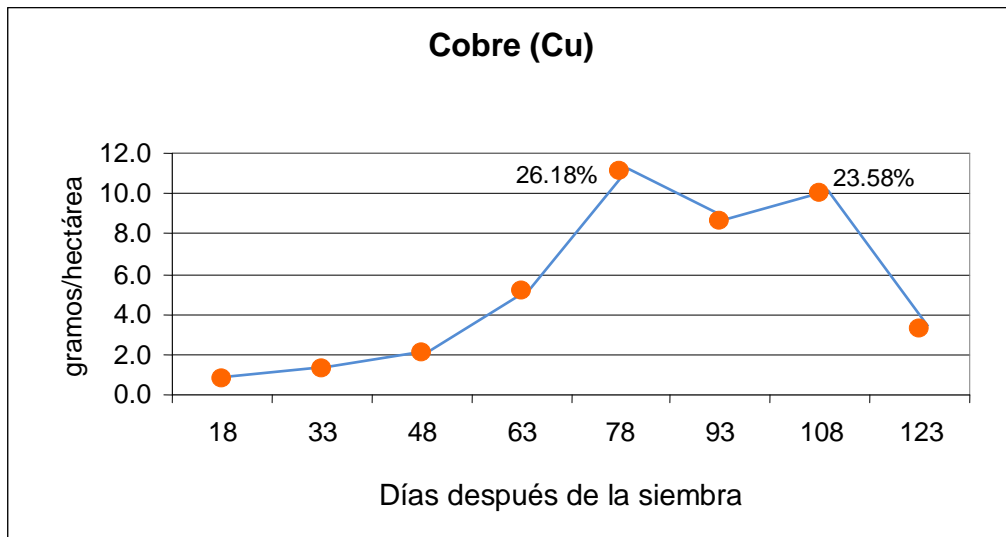


Figura 10. Curva de absorción de cobre (gramos/hectárea)

La deficiencia de este elemento puede causar la disminución del crecimiento, deformación y decoloración de hojas jóvenes hasta inhibir la floración.

Manganeso

El manganeso es importante en la fotosíntesis, es constituyente estructural de las proteínas y activador de varias enzimas. (De Datta 1986).

La absorción de manganeso aumenta su contenido en la planta según la etapa de desarrollo de la planta, como muestra la figura las cantidades contenidas incrementan luego de los 48 días después de la siembra, cuando inicia el desarrollo de panícula y se detiene pasada la etapa pastosa a los 108 días después de la siembra, es en esta etapa donde acumula la mayor cantidad de este nutrimento 399.5 gramos/hectárea, representando un 38.79 por ciento, posterior a esta etapa su contenido decae y se prepara la planta para la fase final.

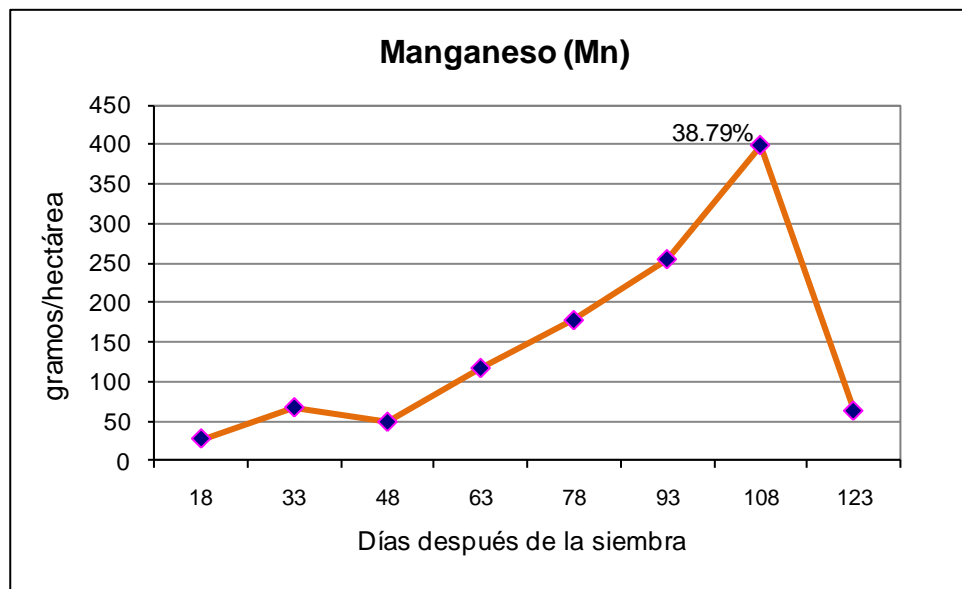


Figura 11. Curva de absorción de manganeso (gramos/hectárea)

Zinc

La absorción de zinc es baja durante la fase vegetativa. Como muestra la figura N° 12, su contenido en la planta aumenta en la etapa de la floración hasta la etapa pastosa a los 108 días después de la siembra en donde acumula 139.8 gramos/hectárea, esto representa el 63.54 por ciento del total acumulado por la planta, luego su contenido decae en la fase de maduración.

El Zinc es esencial para promover ciertas reacciones metabólicas y activar algunos sistemas enzimáticos. Cumple funciones en la síntesis de la clorofila y en la formación de hidratos de carbono, es esencial en la producción de materiales genéticos. (De Datta 1986).

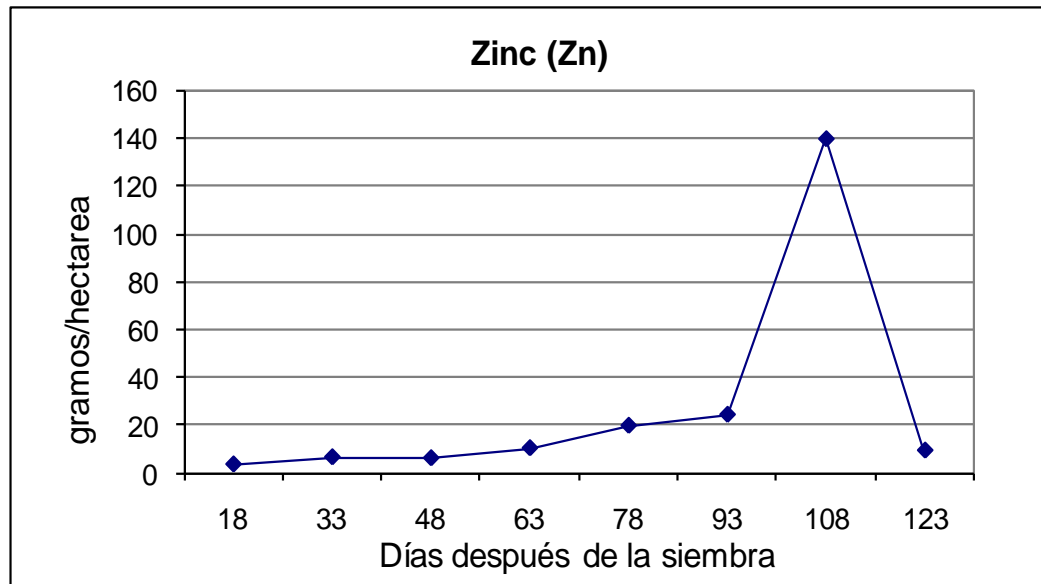


Figura 12. Curva de absorción de zinc (gramos/hectárea)

Para tener una mejor visión del comportamiento de la absorción de los nutrientes por la variedad FCA 97116 durante el ciclo vegetativo hemos agrupado en macro y micronutrientes, para observar los puntos en que la variedad requiere mayormente los nutrientes y tomar como referencia para realizar los cálculos para las respectivas aplicaciones de nutrientes químicos.

Macronutrientos

El gráfico N° 13, muestra claramente las variaciones existentes según los periodos de muestreos de las cantidades de nutrientes contenidos en la planta de arroz, vemos que el potasio es absorbido durante todo el ciclo vegetativo y luego le sigue el nitrógeno.

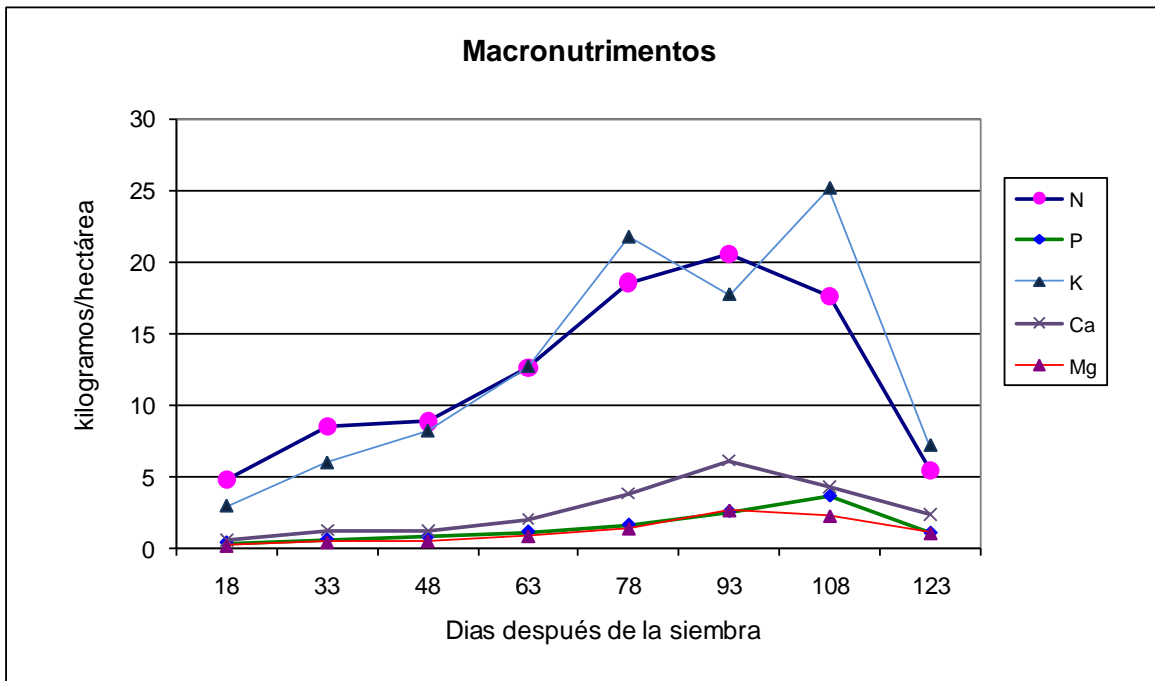


Figura 13. Curva de absorción de los macronutrientos (kilogramos/hectárea)

Se observa que los puntos de mayor absorción están entre los 78 -108 días después de la siembra, es en estos días en donde la planta se encuentra cerca en la etapa de la floración hasta la etapa pastosa; mas sin embargo, el potasio disminuye su absorción a los 93 días dentro de la etapa de la floración.

Micronutrientes

El comportamiento de los micronutrientes es diferente a la de los macronutrientes, su contenido en la planta; a pesar de que es poco, su absorción se mantiene casi igual durante todo el ciclo; sin embargo, el hierro es más absorbido en la etapa de la floración y en la formación del grano. Dada que su absorción es poca, la deficiencia de algunos de estos micronutrientes puede poner en peligro la producción.

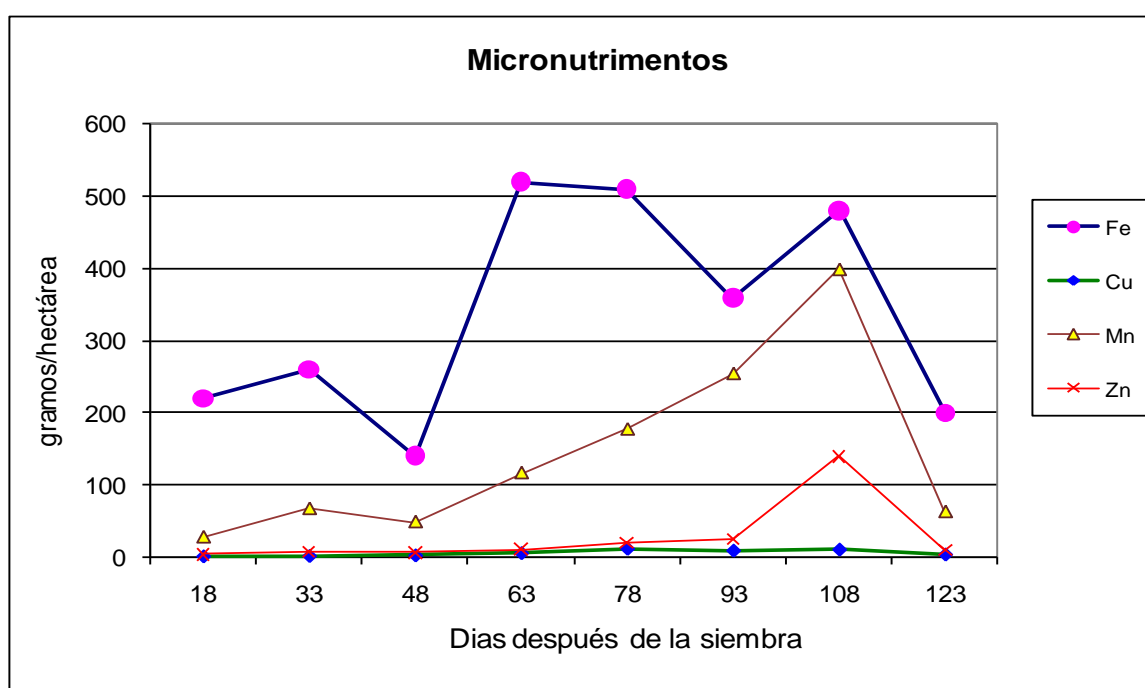


Figura Nº 14. Curva de absorción de micronutrientes (gramos/hectárea)

4.3. Procedimiento para el cálculo de las dosis de fertilizantes requeridos

Previo a la realización de la investigación se obtuvieron muestras de suelo de la parcela nueve, para conocer el estado nutricional del suelo en donde se realizó el ensayo.

El cuadro VIII, muestra el análisis de suelo realizado a las muestras obtenidas de la parcela nueve (9), con estos valores se pueden realizar los cálculos para las aplicaciones que se requieran ya que, obtenemos los valores de los nutrimentos presentes y disponibles para el cultivo en el suelo. Además también se puede comparar lo contenido en el suelo con las aplicaciones de fertilizantes que se realizan el CEIACHI a la variedad FCA 97116 en la parcela nueve (9).

Cuadro VIII. ANÁLISIS DE SUELO DE LA PARCELA NUEVE (9) DE (CEIACHI)

Arcilla	Arena	Limo	pH		P		K		Na		Fe		Cu	
%			1:2.5		ppm = (mg/L) = (mg/kg)									
13.1	64.4	22.5	4.4	mA	32.7	a	234.0	a	17	b	147	a	12.5	a

Mn		Zn		Ca		Mg		Acidez		Al		M. orgánica	
ppm = (mg/L) = (mg/kg)				meq/100g								%	
42.2	m	28.6	a	20.45	a	7.0	a	0.6	b	0.28	B	4.79	m

Fuente. Laboratorio de Suelos y Aguas de la F.C.A. 2009

mA = muy ácido

a = alto

m = medio

b = bajo

Para tener una mejor comprensión de los datos contenidos en el análisis de suelo se trabajaron en cuadros interpretativos de análisis de suelo, y de allí se obtuvieron los datos para realizar los cálculos y ajustes para las dosis de fertilizantes requeridas. (Ver cuadro IX)

4.4. Interpretación del análisis de suelo

El potasio es el elemento que presenta menores concentraciones lo que lo hace deficiente, en relación a calcio y magnesio lo que hace indispensable buscar alternativas de suplementación. Esto puede deberse a varios factores entre ellos; haber sido extraído por los cultivos de arroz anteriormente sembrado o por el consumo de la paja de arroz por animales bovinos en pastoreo, entre otros.

La secuencia de los problemas en este suelo es la siguiente: $K > N > Mg$

Para efectos de corregir las deficiencias nutrimentales del suelo, refiriéndose específicamente en el caso de potasio, se le aumentó su contenido disponible de 0.60 (CmolK/Kg), a 0.82 (CmolK/Kg), para balancear la relación existente entre calcio y potasio; ya que, la relación entre ellos estaba bajo el nivel crítico en el suelo.

Dado el caso, utilizando 0.82 (CmolK/Kg), como contenido disponible en el suelo, la relación calcio- potasio resultaría de 24.94, de tal forma que se ubica dentro del nivel crítico para esta relación que es 5-25.

Básicamente lo que habría que incorporar al suelo sería 0.22 (CmolK/Kg), para obtener la disponibilidad del nutriente para la planta y mejorar su contenido en el suelo, esto debe lograrse a través de la aplicación de fertilizantes.

Utilizando el análisis de suelo, también se realizaron los cálculos para obtener las dosis de fertilizantes requeridas por el cultivo (ver cuadro X), por lo tanto, que deberán ser aplicadas a la parcela para un mejor rendimiento de la variedad.

Cuadro Nº IX. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUELO. 2009

% de arena 64.4 % de limo 22.5 % arcilla 13.1 Textura Franco arenoso

pH	CMOL(+)/L			% SA
	Acidez	Bases	CICE	
4.4	0.6	28.14	28.74	0.97
NC = (5.5)	(0.50)	(3.0)	(3.0)	(16)

Relaciones de Bases (CMOL(+)/L)			
Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/K
2.9	11.8	32.2	34.1
24.94			
NC= (2 - 5)	(2.5 - 15)	(10 - 40)	(5 - 25)

% M.O.	mg/L P	CMOL(+)/L			mg/l				
		K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	
4.9	32.7	0.6	20.45	7.09	12.5	146.5	42.2	28.6	
		0.22	0.82						
NC= (5)	(10)	(0.13)	(2.0)	(0.6)	(2)	(25)	(15)	(4)	

Kg/há			
P	K	Ca	Mg
(x2)	(x780)	(x400)	(x240)
65.40	639.6	8,180.00	1,701.60

4.5. Estimación de dosis de nutrimentos

Para el fósforo, no se realizaron los cálculos respectivos para obtener la dosis de decisión de compra de fertilizantes; ya que, según el análisis de suelo se refleja una concentración óptima disponible de 22.7 mgP/l de su contenido total, tomando como diferencia su nivel mínimo en el suelo. Sin embargo, la variedad FCA 97116 requiere para la producción de una hectarea 3.59 kilogramos de fósforo por lo que no se hace necesario la aplicación del mismo en estas condiciones. Ver cuadro x

Cuadro X. ESTIMACIÓN DE DOSIS DE NUTRIMENTOS PARA UN RENDIMIENTO DE ARROZ VARIEDAD FCA 97116 DE 4.10 TON/HÁ. EN UN SUELO FRANCO ARENOSO FCA CHIRIQUÍ.

Condiciones para el cálculo	Cálculos				
	N	P	K	Ca	Mg
	Kg/ha				
Requerimiento para T/ha (nut. extraído)	12.60	3.59	3.59	1.20	1.39
Requerimiento de cosecha (5 ton/há)	63.00	17.97	17.97	6.00	6.99
Requisito vegetativo	96.98	11.84	101.70	21.92	9.85
Requerimiento total	159.98	29.81	119.67	27.92	16.84
Cantidad presente en el suelo según análisis		65.40	639.60	8180.0	1720.0
Mínimo a aplicar para llenar las necesidades de la planta y suelo	159.98	0	171.60	0	0
Eficiencia del nutrimento (%)	0.50	0.30	0.80		
Dosis de elemento puro (Kg/ha)			214.50		
Factor de conversión a formas presentes En los fertilizantes		2.29	1.20		
Dosis finales de nutrimentos para decisión de compra	N 319.96	P₂O₅ 0	K₂O 257.4	Ca 0	Mg 0

El mismo procedimiento se aplicó para el calcio y magnesio; ya que, lo que se pretende es hacer un uso adecuado de los fertilizantes aprovechando la disponibilidad de nutrimentos presentes en el suelo, mejorando la productividad del cultivo.

Para obtener el mínimo a aplicar del potasio en fertilizantes se utilizó 0.22 cmolK/l que es lo se debe aplicar para realizar el balance en la relación Ca/K dando como resultado 257.4 kg de K₂O/ha.

Cuadro XI. CÁLCULO PARA LAS DOSIS DE FERTILIZANTES AL MOMENTO DE LA SIEMBRA

Fuente	Cantidad	Requerimiento Kg/ha					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
		319.96	0	257.4	0	0	0
A la siembra		50.0	0				20
Sul-po-mag	90.91 Kg	0	0	20.0	0	10	20
		237.4					
		269.96					
Urea 46%	108.69 Kg	50	0	0	0	0	0
KCl (60 K20)	395.67 Kg	0	0	237.4	0	0	0
Total	595.27 Kg						
	Formula	8.40	0	43.20	0	2.50	3.4

Cantidad de fuente

urea 46% (kg)

$$= \frac{\text{cantidad requerida} \times 100}{\% \text{ de pureza de la fuente}} = \frac{50 \times 100}{46} = 108.69$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cantidad de aporte de la fuente} \\
 \text{urea 46\%} &= \frac{\text{cantidad de la fuente} \times \text{pureza de la fuente}}{100} \\
 &= \frac{108.69 \times 46}{100} = 50.0
 \end{aligned}$$

- La segunda aplicación de urea (N 46%) se deberá realizar a los 30 – 35 días después de la siembra, que corresponde a 293.42 kilogramos N/ hectárea.
- De igual forma la tercera aplicación de urea 46% será a los 60 – 65 días después de la siembra, 293.42 kilogramos/ hectárea.

Por lo tanto, al momento de la siembra se requieren 594.94 kilogramos/hectárea esto equivale a 13.09 quintales/hectárea de la dosis de fertilizante detallada en el cuadro XI.

Trascurridos los 30 – 35 días después de la siembra, se deben aplicar los 293.42 kilogramos/hectárea de urea 46% (6.45 quintales), la misma cantidad deberá ser proporcionada igualmente a los 60-65 días después de la siembra.

4.6. Importancia de las curvas de absorción en las recomendaciones de fertilización

La aplicación de fertilizantes es una práctica necesaria dentro del desarrollo del cultivo de arroz, en los últimos años ha aumentado el precio de los fertilizantes, debido principalmente al costo elevado del petróleo. En el 2004 la inversión

en fertilizantes para una hectárea de arroz se estaban en un aproximado de B/.763.40, mientras que para la actualidad del 2010 este incrementa en un 19.72 por ciento (B/.914.00), estas cantidades están basadas en la aplicación de 16 quintales de abono completo y 27 quintales de urea por hectárea. Es importante destacar que el incremento más significativo en relación a los costos de fertilizantes en el mercado se registra entre los años 2007-2009.

Para la siembra de la parcela nueve de CEIACHI se realizó una inversión en fertilizantes de B/. 1143.02; sin embargo, según lo determinado en el ensayo solo se invertirían B/. 705.00, incluyendo las aplicaciones de urea, esto según precios en el mercado 2009-2010. Por lo tanto, si se llevara a la práctica lo determinado se estaría economizando en un 38.75 por ciento de lo actualmente invertido.

5. CONCLUSIONES

- ❖ La variedad de arroz FCA 97116, para la cual se elaboraron microparcelas de observación por un periodo de 45 días, mostró diferencias en cada uno de los diferentes tratamientos aplicados. Los mejores resultados en base a materia seca producida, fueron los que tenían alto contenido de nitrógeno y potasio, y bajo de fósforo entre ellos; el tratamiento 21 con (120N - 0P₂O₅- 120K₂O), seguido por el tratamiento N° 3 (0N – 0P₂O₅- 120 K₂O).
- ❖ El análisis de suelo mostró valores adecuados para el desarrollo de este cultivo debido a esto, el tratamiento de referencia o testigo presentó rendimientos de materia fresca similar a los tratamientos donde se aplicaron fertilizantes.
- ❖ Las curvas de absorción de nutrimentos son hasta la fecha la metodología que muestra la realidad más cercana a lo que requiere un cultivo durante su ciclo fenológico. Además, de que se logra elevar la eficiencia de uso de los nutrimentos y mejora la rentabilidad de la fertilización en los cultivos.
- ❖ La mayor absorción de macronutrimentos por la planta de arroz se da durante las primeras etapas de crecimiento hasta la etapa de la floración, en donde la planta requiere cantidades apreciables para brindar un buen rendimiento.
- ❖ Se demostró que el nutrimento principalmente acumulado por la planta de arroz es el potasio con un total de 101.70 kilogramos/hectárea, seguido por el nitrógeno 96.98 kilogramos/ hectárea y finalmente el calcio con 21.92 kilogramos/hectárea en base a la materia seca producida.

- ❖ Las curvas de absorción de micronutrientes revelaron claramente que el elemento mayormente acumulado por la planta de arroz fue el hierro con 5.92 kilogramos/hectárea en base a la materia seca producida en la etapa de floración. El cobre, manganeso y zinc su concentración dentro de la planta no varía significativamente, pero también tienen sus funciones aunque no se debe descuidar la disponibilidad de estos elementos para el cultivo de arroz.

- ❖ Según el cálculo para las dosis de fertilizantes para aplicar, no se requiere en esta parcela aplicaciones de fósforo; ya que, el suelo posee una alta disponibilidad de (55.4 kilogramos P_2O_5 / hectárea).

- ❖ En lo que respecta a los costos de fertilizantes se demostró, claramente una disminución significativa con relación a lo requerido, determinado por esta metodología y lo aplicado actualmente en la parcela al cultivo de arroz. La cual se obtiene una reducción en el total de costos de producción de casi un 38.75 por ciento de lo actualmente aplicado.

6. RECOMENDACIONES

- ◆ Al momento de realizar las dosificaciones de fertilizantes se debe evaluar considerablemente el requerimiento del cultivo, de tal forma que solo se aplique lo necesario lo que nos garantiza una producción más rentable.
- ◆ Aplicar los resultados obtenidos para el cultivo de arroz variedad FCA 97116 en la parcela nueve del CEIACHI, para hacer un buen uso de los fertilizantes y conservar el estado nutrimental del suelo.
- ◆ Utilizar la fórmula para la preparación de fertilizantes resultante de este estudio y que sea aplicada al momento de la siembra para llegar a obtener un mejor rendimiento en el desarrollo y producción de la variedad en la parcela nueve, que serian 8.4 porciento de nitrógeno (N), 43.2 porciento de oxido de potasio (K_2O), 2.5 porciento de magnesio (Mg),porciento de azufre (S), y posteriormente aplicar a los 30-35 días después de la siembra, 293.47 kilogramos de urea 46% y 60-65 días después de la siembra, respectivamente.
- ◆ Se deben realizar estudios en otros cultivos en nuestro medio para crear una fuente de datos que resulten de gran beneficio para los productores, estudiantes e investigadores.
- ◆ Elaborar una guía de producción y manejo agronómico de la variedad FCA 97116, donde se incluyan estas recomendaciones de fertilización para un rendimiento óptimo de esta variedad.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, V. 1983. Programa de arroz: El Arroz. Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Subdirección Nacional de Extensión Agrícola, Departamento de granos Panamá. 78 p.

Aguilar N. 1998. Estudio Climático del Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí. David, Panamá. 25 p.

Aso, K. 1918 Grafical explanation of nutrient absorption of the rice plant. Shokobo public.

Benacchio S., Avilán W. 1991. Zonificación Agroecológica del Cultivo de Arroz en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela, publicaciones FONAIAP. Maracay. 15 p.

Bertsch F. 2005. Estudios de Absorción de Nutrientes como Apoyo a las Recomendaciones de Fertilización. Informaciones Agronómicas. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Consultado 20 de junio de 2009, disponible en www.inpofos.org

Briceño J. et. al. 1984. Métodos Analíticos para el Estudio de Suelos y Plantas. Editorial de la Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José C. R. 137 p.

Cordero Á. 1993. Fertilización y Nutrición Mineral del Arroz. 1 edición San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 99 p.

Contin, A. 1975. Cultivo de arroz: Manual de producción, México. Editorial Limusa. 426 p.

De Datta, S. 1986. Producción de arroz fundamentos y prácticas. Editorial Limusa, S.A. México, 673 p.

Díaz M. 2007. La producción por rubros estratégicos –Cultivo de arroz. Dirección Nacional de agricultura. (en línea), consultado 20 de junio de 2010. Disponible en www.reddelcampo.net

Ecos del Agro. Marzo 2009. La cosecha récord de arroz ayudará al descenso de los precios, Pág. 16. Periódico Agropecuario, publicación mensual 82 p.

Fisiología Vegetal – Nutrición Mineral, Ciclo Biológico, Micronutrientes, Absorción de Nutrientes. (En línea) Consultado 19 de junio 2009. Disponible en: [html//rincóndelvago.com/fisiologia-vegetal](http://rincóndelvago.com/fisiologia-vegetal).

Gaona J. 2008. Nueva variedad de arroz para Panamá FCA 97116. Coordinador del programa (CEIAT). Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá.

Internacional Plant Nutrition Institute. Absorción Aproximada de Nutrientes por las plantas part (1). Consultado 19 de junio de 2009. Disponible en: www.ppi-ppic.org/ppi

Ishizuka, Y. 1932 Absortion and utilization of nutrients at different stages of rice plants by means of water culture. Bull Agric. Chem.

Jäger M. 2008. Análisis situacional del sector arroz en Panamá, Identificación de proyectos y mecanismos de ejecución. Panamá, Ministerio de Comercio e Industrias (en línea), consultado 20 de junio 2010. Disponible en www.impulsopanama.gob.pa

Kass, D. 1998. Fertilidad de los Suelos. Jorge Núñez Solís, ed. San José, Costa Rica. EUNED, 272 p.

Monge, L. 1953 Cultivo de arroz. San José, Costa Rica, EUNED. 60 p.

Sancho, H. 1999. Curvas de Absorción de Nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. International Plant Nutrition Institute. Informaciones agronómicas N° 36 julio 1999. San José, Costa Rica. (En línea), Consultado 18 de junio 2009, disponible en: www.ipni.net

Thompson L. 1974. El Suelo y su Fertilidad. Editorial Reverté, S. A. Barcelona, España. 409 p.

Tinoco, R. 2009. Manual de Recomendaciones Técnicas del Arroz. San José, Costa Rica. 74p.

Vargas M. 2002. Fertilización con cuatro niveles de nitrógeno, fósforo y potasio y curvas de absorción de la variedad fedearroz 50, en condiciones de secano favorecido. Corporación Nacional Arrocera. (En línea), consultado 18 de noviembre de 2009, disponible en www.ppi-ppi.org

Villarreal J. 2004. Compendio de resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP. Dinámica de macro y micro nutrimentos en arroz bajo riego en suelos ultisoles. 207p

Zamalloa E. 2000. Comparativo de rendimiento en cuatro variedades de arroz. (En línea), consultado 19 de noviembre de 2009, disponible en www.edym.com

ANEXOS



Anexo N° 1. Corte del material vegetal de las microparcels



Anexo N° 2. Muestreo en la parcela nueve de CEIACHI



Anexo N° 3. Empacado de las muestra para trasladarlas al laboratorio de Suelo y Aguas de la Facultad.



Anexo N° 4. Secado de las muestras foliares



Anexo N° 5. Pesado de muestras para determinar fósforo, macro y micronutrientes



Anexo N° 6. Lectura de fósforo



Anexo N° 7. Espectrofotómetro para determinar macro y micronutrientos



Anexo N° 8. Equipo de digestión para análisis de nitrógeno