

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS
EN YUCA (*Manihot esculenta*) EN EL TANQUE DE LA FORTUNA,
SAN CARLOS, ALAJUELA.**

**BERNNY JOEL QUIRÓS ARGUELLO
GIL EDUARDO DE DIEGO SALAS**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2006

**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS
EN YUCA (*Manihot esculenta*) EN EL TANQUE DE LA FORTUNA,
SAN CARLOS, ALAJUELA.**

**BERNNY JOEL QUIRÓS ARGUELLO
GIL EDUARDO DE DIEGO SALAS**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
SEDE REGIONAL SAN CARLOS**

2006

**ANALISIS DE CRECIMIENTO Y ABSORCION DE NUTRIMENTOS
EN YUCA (*Manihot esculenta*) EN EL TANQUE DE LA FORTUNA,
SAN CARLOS, ALAJUELA.**

**BERNNY JOEL QUIRÓS ARGUELLO
GIL EDUARDO DE DIEGO SALAS**

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M. Sc

Asesor

Ing. Agr. Arnoldo Gadea Rivas, M. Sc

Asesor Externo

Ing. Agr. Carlos Ramírez Vargas, Lic.

Jurado

Ing. Agr. Sergio Torres Portugués, M. Sc.

Jurado

Ing. Agr. Fernando Gómez Sánchez, MAE

Coordinador
Trabajos Finales de
Graduación

Ing. Agr. Olger Murillo Bravo, M. Sc.

Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

A Dios, y
nuestras familias

AGRADECIMIENTO.

A nuestros padres y familiares por guiarnos en la difícil senda de la vida, su apoyo incondicional tanto en nuestros buenos como en los momentos difíciles, por su esfuerzo brindado para que alcanzáramos esta meta trascendental en nuestras vidas y por su amor incondicional.

A nuestros profesores que nos guiaron y ayudaron en nuestra formación y adquisición de conocimientos para ser personas de bien.

Al Ingeniero Arnoldo Gadea Rivas por su guía y apoyo en la realización de este trabajo, sus consejos y buenos momentos que pasamos juntos durante nuestra vida universitaria; al Ingeniero Parménides Furcal por su ayuda para presentar nuestro informe final.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica por ser un ente formador de profesionales de alto prestigio y vela por el bienestar nacional con su investigación.

A nuestros amigos y compañeros con los que compartimos experiencias de la vida y nos comprendieron tal como somos.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
TABLA DE CONTENIDOS.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
TABLA DE ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos.	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Generalidades del cultivo de yuca.....	4
3.1.1. Origen y aspectos socioeconómicos.	4
3.1.2. Producción mundial	4
3.1.3. Características nutricionales.....	5
3.1.4. Clasificación botánica.....	7
3.1.5. Morfología de la planta.	7
3.1.5.1. Sistema radical.....	9
3.1.5.2. Tallo.....	10
3.1.5.3. Hojas	12

3.1.5.4. Inflorescencia	15
3.1.6. Factores agro-climatológicos	15
3.1.6.1. Temperatura	15
3.1.6.2. Precipitación	16
3.1.6.3. Altitud	16
3.1.6.4. Vientos	16
3.1.6.5. Fotoperíodo	16
3.1.6.6. Suelos	16
3.1.7. Fases del desarrollo del cultivo.	17
3.1.8. Manejo agronómico	18
3.1.8.1. Material de propagación	18
3.1.8.2. Siembra	20
3.1.8.2.1. Preparación del terreno	20
3.1.8.2.2. Época de siembra	21
3.1.8.2.3. Posición de estaca.....	22
3.1.8.2.4. Profundidad.....	23
3.1.8.2.5. Densidad.....	23
3.1.8.3. Control de malezas.....	24
3.1.8.4. Control de plagas y enfermedades.....	24
3.1.8.5. Poda	26
3.1.8.6. Cosecha	26
3.1.8.7. Fertilización	27
3.2. Análisis de crecimiento y absorción de nutrientes.	34
3.2.1. Crecimiento y desarrollo.....	35
3.2.2. Curvas de crecimiento	36

3.2.3.	Factores que afectan el crecimiento.....	38
3.2.3.1.	Fotosíntesis	38
3.2.3.2.	Luz.....	38
3.2.3.3.	Agua.	40
3.2.3.4.	CO ₂	40
3.2.3.5.	Oxígeno.....	41
3.2.3.6.	Temperatura.....	41
3.2.3.7.	Edad de la hoja.....	42
3.2.3.8.	Cantidad de hojas.....	42
3.2.3.9.	Minerales.....	44
3.2.4.	Índices de crecimiento.....	45
3.2.5.	Curvas de absorción de nutrientes	47
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	49
4.1.	Descripción general y período de estudio.....	49
4.2.	Localización del estudio.....	49
4.3.	Área experimental	50
4.4.	Muestreos en campo	51
4.5.	Biomasa aérea y radical	51
4.6.	Determinación de índices morfológicos y fisiológicos.....	52
4.6.1.	Índices morfológicos	52
4.6.2.	Índices fisiológicos.....	52
4.7.	Cuantificación de la absorción de nutrientes.....	53
4.8.	Propuesta de fertilización.....	53

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.1. Producción de biomasa.....	54
5.1.1. Producción de biomasa radical.....	56
5.2. Parámetros morfológicos y fisiológicos de crecimiento.....	57
5.2.1. Parámetros morfológicos.....	57
5.2.1.1. Índice de área foliar (IAF).....	57
5.2.1.2. Razón de área foliar (RAF).....	59
5.2.1.3. Razón de peso foliar (RPF).....	61
5.2.1.4. Área foliar específica (AFE).....	63
5.2.1.5. Razón de peso comercial (RPC (K)).....	65
5.2.1.6. Razón de peso radical (RPR).....	67
5.2.1.7. Relación de raíces a hojas (RRH).....	68
5.2.1.8. Relación de raíces a parte aérea (RRPA).....	70
5.2.2. Parámetros fisiológicos.....	72
5.2.2.1. Índice absoluto de crecimiento (IAC).....	72
5.2.2.2. Índice de crecimiento relativo (ICR).....	74
5.2.2.3. Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF).....	75
5.2.2.4. Índice de asimilación neta (IAN).....	77
5.3. Fases de crecimiento del cultivo.....	79
5.4. Cuantificación de la absorción de nutrientes.....	81
5.4.1. Macroelementos.....	81
5.4.1.1. Concentración.....	81
5.4.1.2. Absorción.....	85
5.4.1.3. Momentos críticos de absorción.....	93

5.4.2. Microelementos	95
5.4.2.1. Concentración	95
5.4.2.2. Absorción	97
5.4.2.3. Momentos críticos de absorción	99
5.5. Plan de fertilización.	100
6. CONCLUSIONES.....	106
7. RECOMENDACIONES.....	109
8. BIBLIOGRAFÍA.....	110
9. ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE CUADROS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	Área de cosecha, producción y rendimiento del cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) a nivel mundial, América Latina y Costa Rica 2002-2003.	5
2	Composición química de la harina de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) de la raíz con y sin cáscara CIAT 2002.	6
3	Concentración promedio de elementos minerales en hojas y raíces de 20 clones de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) evaluados en el CIAT 1999.	6
4	Contenido de ácido ascórbico y carotenos en hojas y raíces de más de 500 variedades del banco de germoplasma de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) del CIAT 1999.	6
5	Rendimiento y brotación de acuerdo a diferentes métodos de preparación para siembra.	21
6	Herbicidas de uso común para el control químico de malezas en yuca (<i>Manihot esculenta</i>) Costa Rica 2001.	24
7	Principales plagas y enfermedades de la yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	25
8	Extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas cosechadas de varios cultivares de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) CIAT 2002.	28
9	Variación en la fertilidad de un suelo sometido al cultivo continuo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), sin aplicación de abonos químicos u orgánicos Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado por 8 años CIAT 2002.	28
10	Niveles críticos para la fertilidad de suelos dedicados al cultivo de yuca. (<i>Manihot esculenta</i>) CIAT 2002.	29
11	Extracción promedio de nutrimentos en yuca (<i>Manihot esculenta</i>) (Kg./ha.) para dos rendimientos CIAT 2002.	29

12	Absorciones totales y promedio de N, P, K para la producción de 1 ton de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) (Kg./ton.) (Bertsch 2003).	32
13	Absorción de N, P, K por tonelada de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) cosechada. (Bertsch 2003).	33
14	Nutrientes extraídos por la yuca (<i>Manihot esculenta</i>) en kg/ha.	33
15	Síntomas de deficiencia de nutrientes en yuca (<i>Manihot esculenta</i>) (Howeler 1981)	44
16	Síntomas de toxicidad en el cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)) (Howeler 1981)	45
17	Fórmulas matemáticas de análisis para estimar los índices o parámetros fisiológicos en estudios de crecimiento. (Bertsch, 1995).	46
18	Principales índices o parámetros morfológicos usados en estudios de crecimiento. (Bertsch, 1995).	47
19	Comportamiento general de la concentración de nutrientes antes y después de la poda. El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004	84
20	Absorciones totales de nutrientes para 1 tonelada de yuca propuestas por Bertsch (2003) y absorciones actuales encontradas en este estudio, para el cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>). El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004	90
21	Generalidades que se toman en cuenta para realizar una recomendación de fertilización.	101
22	Porcentaje de absorción de nutrientes de acuerdo a cada una de las etapas del cultivo de yuca. El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004	101
23	Necesidades a suplir en unidades de fertilizante en Kg/ha, de acuerdo a las dos etapas de mayor absorción para el cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	Constitución estructural de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	8
2	Sistema radical de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	9
3	Patrón de crecimiento del sistema radical a consecuencia del tipo de semilla para la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	10
4	Conformación del tallo de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	11
5	Tipos de tallo según crecimiento de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	12
6	Estructuras de la hoja de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	13
7	Clasificación de hojas de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) según la forma del lóbulo.	14
8	Inflorescencia y la disposición de las flores masculinas y femeninas de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	15
9	Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento promedio en yuca (<i>Manihot esculenta</i>) cv. CMC-92 en la región de Mondomo, Cauca, Colombia.	30
10	Efecto de la fertilización química sobre cuatro cultivares de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) en suelos mecanizados en Mondomo, Cauca, Colombia.	31
11	Tamaño de las hojas de tres variedades en diferentes edades de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>).	43

12	Producción de biomasa en gramos en peso seco para una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	54
13	Peso seco del sistema radicular del cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	56
14	Índice de área foliar para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>). El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	58
15	Razón de área foliar para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	59
16	Razón de peso foliar para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	61
17	Variación del peso seco total de la planta y el peso seco del follaje para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	62
18	Área foliar específica para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	63
19	Razón de peso comercial para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	65
20	Variación del peso seco del total de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) y el peso seco de la parte comercial (raíz productiva) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	66
21	Razón de peso radical para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	67

22	Relación de raíces a hojas para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	68
23	Variación del peso seco del sistema radical y el peso seco de las hojas para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	69
24	Relación de raíces a parte aérea para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	70
25	Variación del peso seco del sistema radical y el peso seco de todas las estructuras aéreas para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	71
26	Índice absoluto de crecimiento para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	72
27	Índice de crecimiento relativo para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	74
28	Índice de crecimiento relativo foliar para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	75
29	Índice de asimilación neta para un ciclo productivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	77
30	Fenología de un ciclo productivo del cultivo de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), con el manejo convencional realizado en la finca de don Rogelio, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	79
31	Concentración de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	81
32	Absorción de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	85

33	Absorción total de macroelementos (kg/ha) y acumulación de biomasa para una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	92
34	Momentos críticos de la absorción de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	93
35	Concentración de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	95
36	Absorción de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	97
37	Momentos críticos de la absorción de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	99

TABLA DE ANEXOS

NUMERO	TITULO	PAGINA
1	Peso seco promedio de las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	113
2	Concentración total de nitrógeno obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	113
3	Absorción total de nitrógeno (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	114
4	Absorción total de nitrógeno (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	114
5	Totales de nitrógeno absorbidos y exportación de nitrógeno que sufre una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	115
6	Concentración total de fósforo obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	115
7	Absorción total de fósforo (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	116
8	Absorción total de fósforo (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	116

9	Totales de fósforo absorbidos y exportación de fósforo que sufre una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	117
10	Concentración total de potasio obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>). El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	117
11	Absorción total de potasio (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	118
12	Absorción total de potasio (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	118
13	Totales de potasio absorbidos y exportación de potasio que sufre una planta de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	119
14	Absorción total de N, P, K para un rendimiento de 22.4 toneladas de yuca (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	119
15	Absorción por tonelada de yuca cosechada (<i>Manihot esculenta</i>) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.	119
16	Precipitación promedio Humedad relativa y temperatura promedio por mes Zona de San Carlos 2003 – 2004 para el periodo del estudio.	120
17	Promedios de análisis de suelos realizados en El Tanque La Fortuna de San Carlos (2001).	121

RESUMEN

Con el propósito de elaborar una propuesta de fertilización para la finca de Don Rogelio Solano se realizó un experimento, en el cual se estimó la absorción de nutrimentos y el análisis del crecimiento de un ciclo de producción de yuca (*Manihot esculenta*) en El Tanque, La Fortuna, San Carlos, Alajuela.

Se realizaron muestreos durante 9 meses, en los que se tomaron 4 muestras en cada fecha. Cada muestra estuvo constituida por una planta entera. A cada una de las plantas se les midió la altura, número de hojas y área foliar. Las plantas se seccionaron según cada una de las estructuras que las componen, a saber: raíz absorbente, raíz tuberosa, semilla, tallo, pecíolos, hojas y flor. Para cada estructuras se tomó el peso fresco y el peso después de haber sido secadas en un horno a 60°C por 48 horas. Estos datos se utilizaron para calcular la acumulación de biomasa y una serie de índices morfológicos (IAF, RAF, RPF, AFE, RPC, RPR, RRH y RRPA) y fisiológicos (IAC, ICR, ICRF y IAN). A las estructuras secas se les realizó un análisis de contenido total de nutrimentos para calcular los nutrientes absorbidos en cada muestreo.

Los resultados mostraron que la yuca absorbe cantidades significativas de los siguientes elementos en orden decreciente N, K, Ca, S, P, Mg, en cantidades de 899, 244, 140, 47, 45 y 34 Kg/ha, respectivamente. En lo que respecta a elementos menores, Fe, B, Zn, Mn y Cu, las cantidades absorbidas fueron: 13, 1, 0.8, 0.7 y 0.1 Kg/ha.

Al analizar la acumulación de biomasa en conjunto con los índices fisiológicos y morfológicos se identificaron cinco etapas en el desarrollo del cultivo que coinciden con los momentos críticos de absorción de nutrientes.

Se logró determinar que la planta debido a su método de reproducción tiene una etapa de brotación de la semilla, que dura de los 0 a los 30 DDS; una segunda fase, de adaptación y establecimiento que va de los 30 a los 90 DDS; una tercera fase de crecimiento y desarrollo establecida entre los 90 y los 180 DDS; una cuarta fase de acumulación de reservas y engrosamiento del producto comercial de los 180 a los 210 DDS, en la cual acumula su máxima biomasa (2300 g peso seco), representando el producto comercial el 60% de la biomasa total de la planta y una quinta fase de senescencia. Esto puede significar una alta eficiencia fotosintética de la planta como lo demuestra la relación de peso comercial junto con el índice del área foliar, el cual decae a partir del sexto mes y aun así la planta sigue produciendo biomasa, mostrando la máxima asimilación neta en el octavo mes.

Los resultados demostraron que la planta de yuca es un cultivo fotosintéticamente muy eficiente y a su vez altamente demandante de nutrientes por lo que para mantener la productividad en una finca es necesaria la aplicación de fertilizantes, la rotación de cultivos que aporten nutrimentos al suelo o que en su producción hayan sido fertilizados.

Palabras claves: Yuca, *Manihot esculenta*, absorción de nutrientes, fases de crecimiento y desarrollo, índices fisiológicos, índices morfológicos, fertilización.

ABSTRACT

The experiment was realized with the purpose to create an adequate fertilizing proposal from the farm of Don Rogelio Solano through an absorption nourishment esteem and a growth analysis of a cassava (*Manihot esculenta*) production cycle. In the locality of El Tanque, La Fortuna, San Carlos, Alajuela.

Four samples were taken, each one every month. Each sample was for the total of one plant. The height, number of leaves and the canopy area were the measurements taken from each plant. The plants were sectioned on each of their structure, meaning: absorbing root, productive root, seed, stem, petiol, leaf and flower. The fresh weight was measured and after they were dried in a oven at 60°C for 48 hours the weight was measured again. These data were used to calculate the accumulative biomass and a series of morphology and physiologic index. The total nourishments contained in each dried structure were used to calculate the accumulative nourishments of each sample.

The results showed that the cassava absorbs significant amounts of the next elements in decreasing order N, K, Ca, S, P and Mg, on quantities of 899, 244, 140, 47.45 and 34 Kg/ha, each. For the minor elements in decreasing order, Fe, B, Zn, Mn and Cu, the absorbing amounts were: 13, 1, 0.8, 0.7 and 0.1 Kg/ha.

The analysis of the accumulative biomass altogether the morphology and physiology index showed four phases that are coincident on critical moments of the absorbing accumulative nourishments of the crop development. It was determined that because of the plant reproductive method there is a phase of adaptation for the seed, from this phase the seed presents a biomass volume increasing from 50 gr to 2300 gr in a period of 5 months, reaching the 60 % of the plant total weight, showing a high efficiency of the plant as it can be demonstrated by the relationship between the commercial weight altogether the canopy area index because this one decreases on the sixth month, and even that the plant continues producing biomass, having the maximum net assimilation on the eighth month.

The cassava plant is a highly efficient crop but at the same time it causes high nutrient uptake. It means that to maintain the productivity on a farm it is necessary to realize a fertilizing application, rotation crop that contributes with the nourishments increasing in the soil or that the relation crop fertilized before on its production cycle.

1. INTRODUCCIÓN

Reducir los costos es uno de los caminos a seguir para ser competitivos en la producción agrícola. La búsqueda de métodos para realizar este tipo de acciones se refleja en el escudriñamiento de nuevas herramientas tecnológicas.

El establecimiento de las fases fenológicas de los cultivos y de la cantidad de nutrientes absorbidos en cada una de esas etapas, permitiría poner a disposición del cultivo los nutrientes en el momento que más lo requiera, obteniendo un desarrollo óptimo con mejores rendimientos, evitándose la sobre fertilización y por ende logrando reducir los costos de producción y la contaminación del ambiente.

Es posible leer en la mayoría de los libros de fisiología vegetal la frase “una planta bien nutrida es una planta sana”. Basados en ésta sencilla afirmación y conociendo las exigencias del cultivo de Yuca (*Manihot esculenta*), en materia de fertilización, surge la necesidad de definir científicamente y agronómicamente cuáles son las necesidades reales de nutrimentos en cada etapa del ciclo vegetativo, reproductivo y productivo, de acuerdo a la absorción derivada de análisis de estructuras vegetales realizados en intervalos de tiempo, desde la siembra hasta la cosecha.

Sin lugar a duda, aportar al cultivo de yuca los elementos minerales necesarios para su nutrición, aunado a un manejo fitosanitario de la semilla y postsiembra adecuado, es el principio del manejo eficiente del cultivo y del ambiente, bajo un sistema de agricultura de precisión. Por lo tanto, es indispensable tener un sistema adecuado de fertilización que aumente la producción de biomasa cuando el período de descanso es menor (mayor número de cosechas al año).

Para logra aumentar la productividad, es necesario estudiar la nutrición del cultivo; estudios realizados por Bertsch (1995), demuestran que el propósito de dicha evaluación es diagnosticar el estado de suficiencia o de insuficiencia en que se encuentra cada uno de los nutrimentos para la planta, para lo que se requiere de dos herramientas: el análisis de contenido de nutrimentos en el tejido y el conocimiento de las curvas de absorción de nutrimentos (Quiros., 2001).

Las curvas de absorción de nutrimentos son la vía más directa para saber lo que ocurre con los nutrimentos durante el crecimiento de un cultivo. Sin embargo, para la mayoría de los cultivos, dichas curvas requieren ser elaboradas, Las curvas de absorción de nutrientes se construyen relacionando el peso seco de la planta entera con la concentración de cada nutrimento en varios estados de desarrollo (Bertsch, 1995).

Cada proceso fisiológico involucra nutrimentos diferentes, de modo que, definir claramente la duración de cada una de las etapas que transcurren durante el ciclo de un cultivo, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales de ese cultivo y sus probables momentos de máxima absorción (Bertsch, 1995).

Crecimiento y desarrollo indican el incremento en tamaño y los cambios en forma y complejidad que ocurren en una planta a lo largo de su ciclo de vida. Estos cambios anatómicos y fisiológicos que experimenta la planta son susceptibles de medirse por medio del peso, la altura o algún otro atributo similar que normalmente se incrementa con la edad (Bertsch, 1995).

Resulta útil analizar la información sobre el crecimiento vegetal para hacer recomendaciones nutricionales, para ello se necesita hacer curvas que sigan el comportamiento de las plantas por medio de índices que puedan evaluarlo.

2. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo General.

Evaluar los índices de crecimiento (morfológicos y fisiológicos) y obtener las curvas de absorción de los nutrientes de todas las estructuras de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) que puedan desarrollarse desde la siembra hasta la cosecha.

2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la tasa de producción de biomasa aérea y radical y los índices morfológicos y fisiológicos a lo largo del ciclo del cultivo
- Cuantificar la absorción de nutrimentos (N, P, Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn y Mn) en las diferentes etapas del crecimiento vegetativo, reproductivo y productivo de las plantas de yuca en sus estructuras (raíz, tallo, hojas) desde la siembra hasta la cosecha del producto final.
- Valorar el estado nutritivo por medio de la concentración de nutrientes en las estructuras vegetativas de la planta, raíz, tallo, pecíolos, raíz absorbente y hojas.
- Establecer una propuesta de fertilización en la finca de Rogelio Solano, basándose en la absorción de cada uno de los nutrientes hasta la cosecha.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1. Generalidades del cultivo de yuca

3.1.1. Origen y aspectos socioeconómicos.

A pesar de que no se conoce con certeza el origen de la yuca, se piensa que es proviene de Sur América, ubicando la Amazonía como lugar de origen debido a la alta variabilidad de germoplasma encontrado en esta región (Olsen y Schaal, 2001). México es otro sector de la geografía mundial donde se concentran gran variedad de especies del genero Manihot, pero se mantiene la creencia que la domesticación del cultivo se dio en la cuenca del Río Paraná y el noreste de Brasil, aun así, se encuentra a lo largo de todo el Continente Americano desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina tanto en zonas tropicales como subtropicales, se cree que llego a África y Asia por medio de los primeros europeos que llegaron a América y la distribuyeron en sus colonias de estos continentes (Enciclopedia Océano, 2002).

3.1.2. Producción mundial

En lo que respecta a la producción anual de yuca en el mundo, el Ceballos, (2002) presenta que para el 2000-2001 se produjeron 180,000.00 Ton/ha, de las cuales cerca de un 18% es producido en América Latina, donde Costa Rica aporta el 0.05% del volumen de yuca producida en el mundo, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Área de cosecha, producción y rendimiento del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) a nivel mundial, América Latina y Costa Rica 2000-2001.

Región yuquera	Área cosechada (ha)	Producción Ton	Rendimiento Ton/ha
Mundo	17,219,875	187,665,489	10.9
América Latina y El Caribe	2,544,397	32,273,099	12.68
Costa Rica *	9,500	105,031	11.06

Fuente: CIAT 2002

* MAG 2006.

Como se puede apreciar el rendimiento por hectárea a nivel mundial ronda las 11 ton/ha a diferencia de datos de parcelas experimentales del CIAT, donde se han alcanzado rendimiento de hasta 80 ton/ha en peso fresco del cultivo, lo que indica que el mismo responde a prácticas agronómicas tales como preparación de suelos, control de malezas, fertilización y control de plagas y enfermedades. Sin embargo, ninguno de los resultados indica claramente si los rendimientos obtenidos corresponden a producción comercializable. (Ceballos, 2002)

3.1.3. Características nutricionales

En una investigación realizada por la FAO en el 2000, la yuca era el cuarto producto básico en importancia después del arroz, el trigo y maíz, esto debido a que la yuca se caracteriza por ser una fuente rica y barata de obtener proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales y otros componentes como se muestra en los cuadros 2, 3 y 4 tomados de Ceballos y de la Cruz (2002).

Cuadro 2. Composición química de la harina de yuca (*Manihot esculenta*) de la raíz con y sin cáscara (CIAT 2002).

Componentes	Contenidos (%)	
	Raíz con cáscara	Raíz sin cáscara
Materia seca	100	100
Carbohidratos disponibles	83.80	92.40
Proteína cruda	3.05	1.56
Extracto etéreo	1.04	0.88
Cenizas	2.45	2.00
Fibra detergente neutra	6.01	3.40
Fibra detergente acida	4.85	1.95
Hemicelulosa	1.16	1.45

Fuente: Ceballos y de la Cruz, 2002.

Cuadro 3. Concentración promedio de elementos minerales en hojas y raíces de 20 clones de yuca (*Manihot esculenta*) evaluados en el CIAT 1999.

Elemento	Concentración en hojas (mg / 100 g PS)		Concentración en raíces (mg / 100 g PS)	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
Fe	94.40	37.80	9.60	2.49
Mn	67.90	10.50	1.20	1.00
B	66.10	7.70	2.40	0.51
Cu	7.30	0.60	2.20	0.35
Zn	51.60	11.80	6.40	1.35
Ca	12324.00	1761.00	590.00	120.00
Mg	7198.00	888.00	1153.00	147.00
Na	11.40	3.00	66.40	27.00
K	10109.00	903.00	8903.00	882.00
P	3071.00	236.00	1284.00	113.00
S	2714.00	145.00	273.00	40.00

Fuente: Ceballos y de la Cruz, 2002.

Cuadro 4. Contenido de ácido ascórbico y carotenos en hojas y raíces de más de 500 variedades del banco de germoplasma de yuca (*Manihot esculenta*) del CIAT 1999.

Valor	Acido ascórbico (mg / 100 g PF)		Carotenos (mg / 100 g PF)	
	En hojas	En raíces	En hojas	En raíces
Mínimo	0.00	0.00	23.28	0.10
Máximo	419.25	37.52	86.22	1.04
Mediano	109.30	8.09	47.72	0.19
Promedio	120.16	9.48	48.26	0.23
D.E.	84.14	6.50	8.61	0.14

Fuente: Ceballos y de la Cruz, 2002.

La yuca además de sus ventajas nutricionales y de producción posee una gran variedad de usos ya que no solo se utiliza para el consumo humano sino también en la alimentación animal (fresca, en silos, seca o en pellets) y para la industria (almidones y alcoholes).

3.1.4. Clasificación botánica

Orden *Euphorbiales*

Familia *Euphorbiaceae*

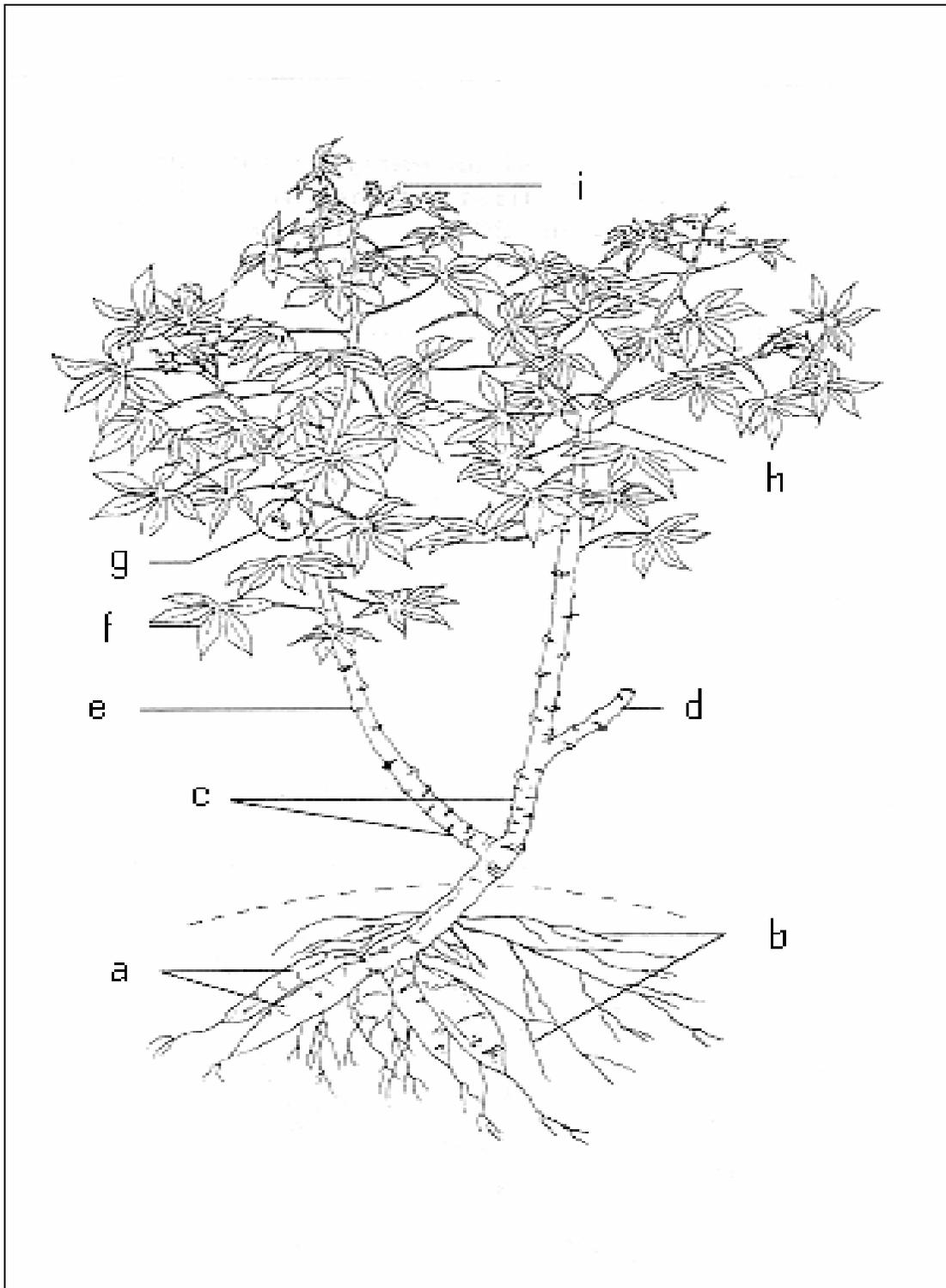
Género *Manihot*,

Especie *esculenta*

3.1.5. Morfología de la planta.

De acuerdo a IITA (1999) la yuca es un arbusto perenne de 1 hasta 5 m. de altura según la variedad con una media de altura entre variedades de 3 metros y se constituye de las siguientes estructuras (Figura 1.):

- a. Raíz tuberosa
- b. Raíz absorbente
- c. Tallo principal
- d. Ramificación lateral
- e. Nódulo
- f. Hoja
- g. Fruto
- h. Ramificación
- i. Reproductiva
- j. Inflorescencia

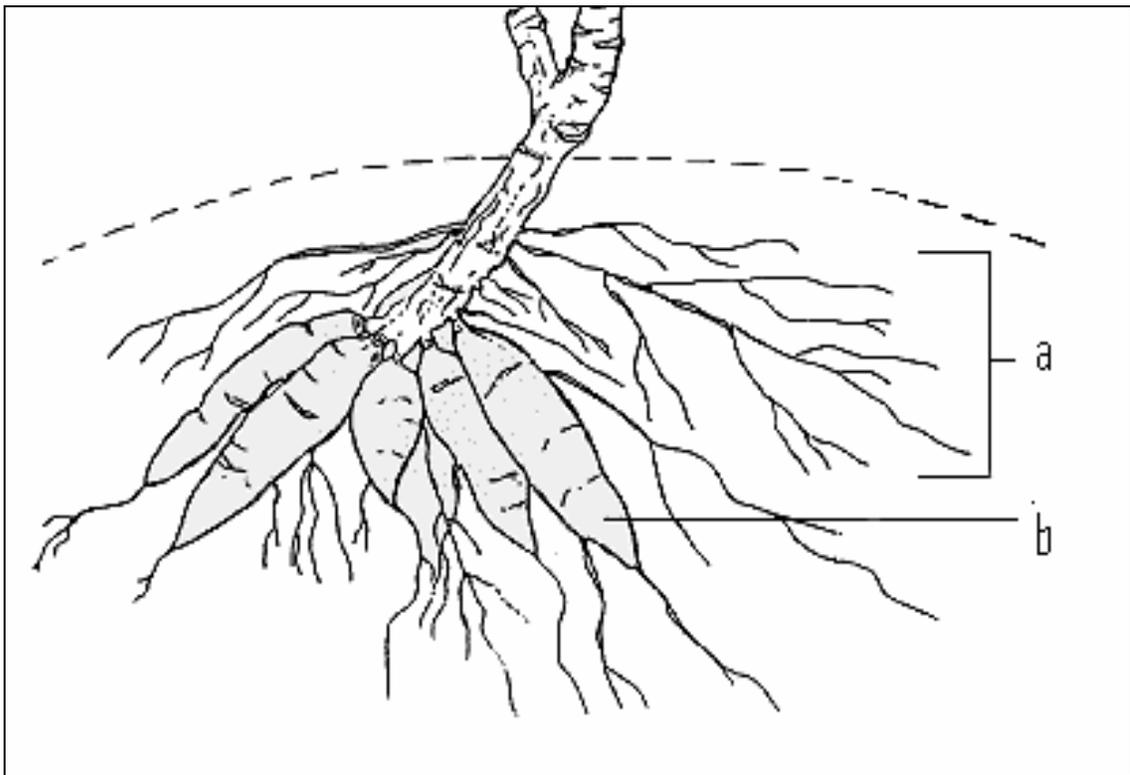


Fuente: IITA 1999.

Figura1. Constitución estructural de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

3.1.5.1. Sistema radical

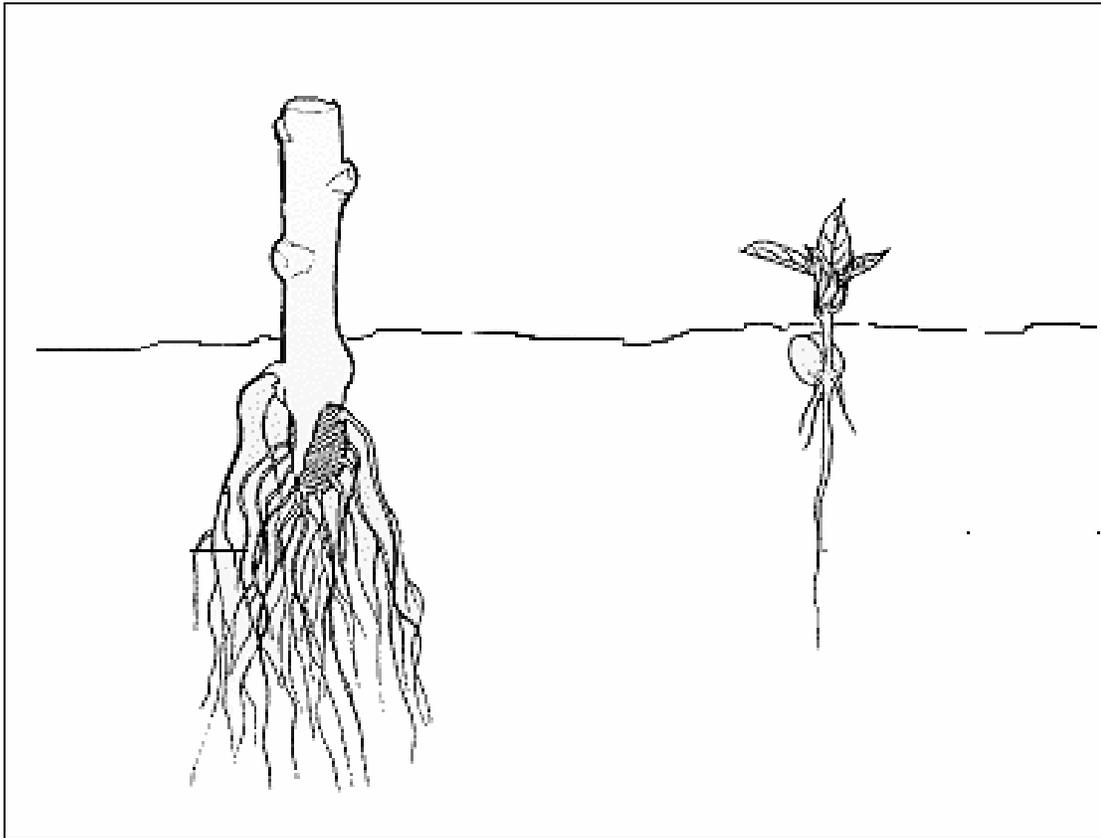
El sistema radical de la planta de yuca se compone esencialmente de dos componentes raíz fibrosa y raíz tuberosa. En las primeras etapas de desarrollo no existen diferencias en las raíces fibrosas (a) y tuberosas (b) (Figura 2.) la diferenciación se da a partir de la acumulación de almidones en las raíces tuberosas. Las raíces fibrosas alcanzan longitudes hasta de 2 m.



Fuente: IITA 1999.

Figura 2. Sistema radical de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

La producción de raíces varía según el origen de la semilla, sexual o vegetativa. Cuando la semilla es de origen sexual posee una raíz pivotante, mientras que si la semilla es de origen vegetativo, produce raíces adventicias (Figura 3.). En el caso de la semilla vegetativa la emisión de raíces se ve afectada por la posición de esta.

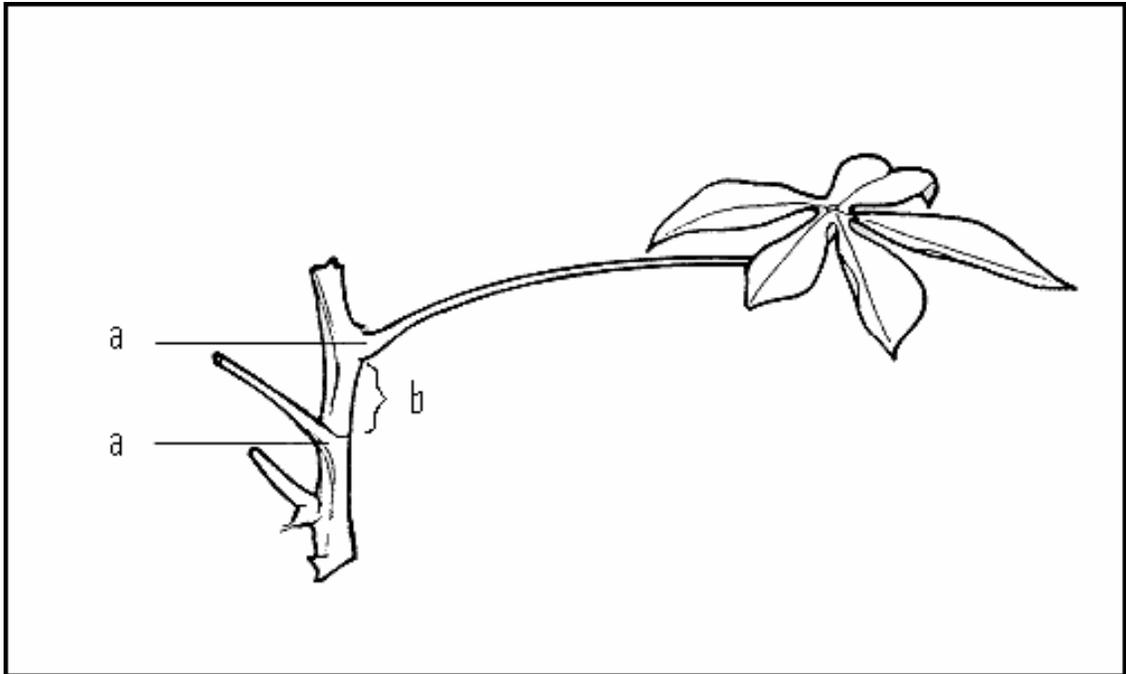


Fuente: IITA 1999.

Figura 3. Patrón de crecimiento del sistema radical a consecuencia del tipo de semilla para la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

3.1.5.2. Tallo

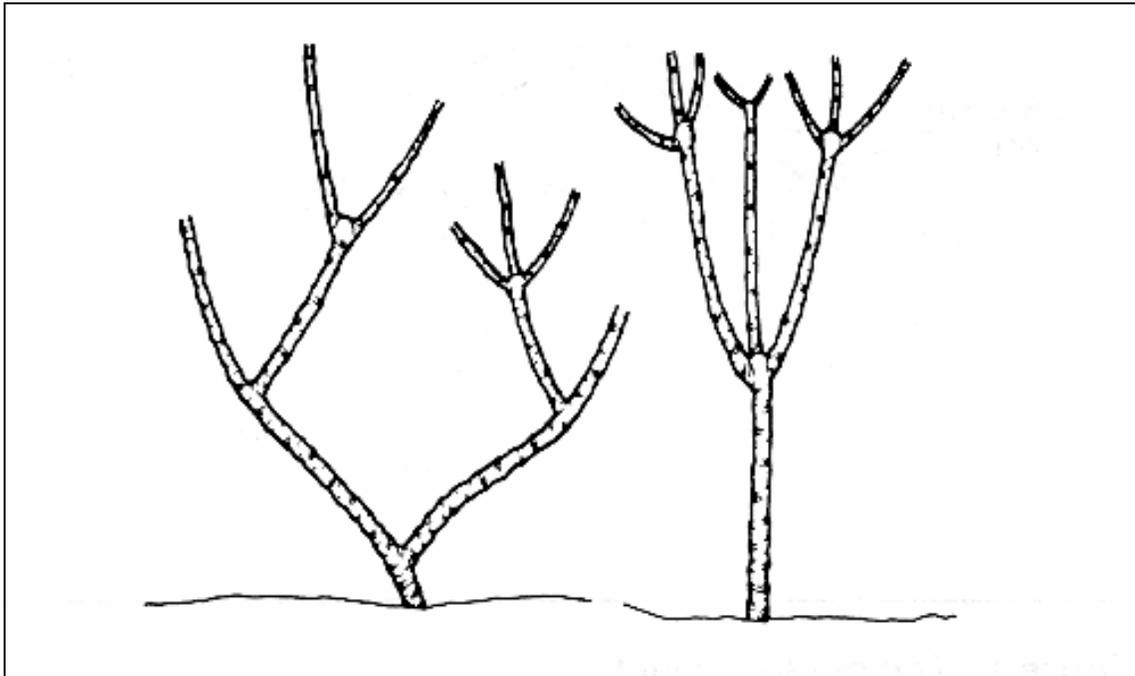
Los tallos están formados por la alternación de nudos (a) y entre nudos (b) (Figura 4.). Los nudos son el punto en que las hojas se unen al tallo y el entre nudo es la porción del tallo comprendida entre dos nudos sucesivos (IITA, 1999.).



Fuente: IITA 1999.

Figura 4. Conformación del tallo de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

El tallo básicamente se puede dividir en 2 tipos: achatado y erecto respectivamente como se ve en la (Figura 5.). Este patrón de crecimiento del tallo depende de factores tanto varietales como fisiológicos e influyen directamente en la productividad del cultivo (IITA, 1999).



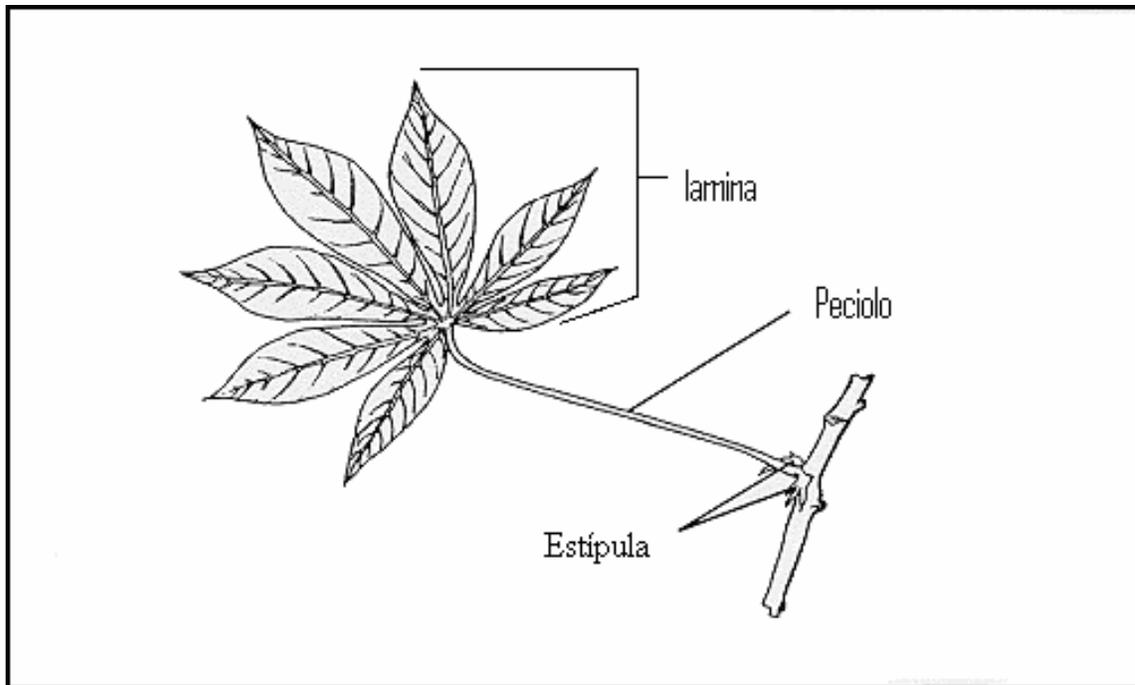
Fuente: IITA 1999.

Figura 5. Tipos de tallo según crecimiento de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

El tallo consta de dos tipos de ramificaciones reproductivas, de las cuales se genera la inflorescencia, y vegetativas las cuales son simples ramas laterales, cuya función es de mejorar la distribución del área foliar para la captación de luz (IITA, 1999).

3.1.5.3. Hojas

Las hojas son simples y están compuestas por lamina foliar y pecíolo (Figura 6). La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada con un número de lóbulos variable de 3 a 9 por hoja y casi siempre en disposición impar, los pecíolos varían de coloración verde oscuro a morado y alcanzan longitudes de hasta 20 cm.

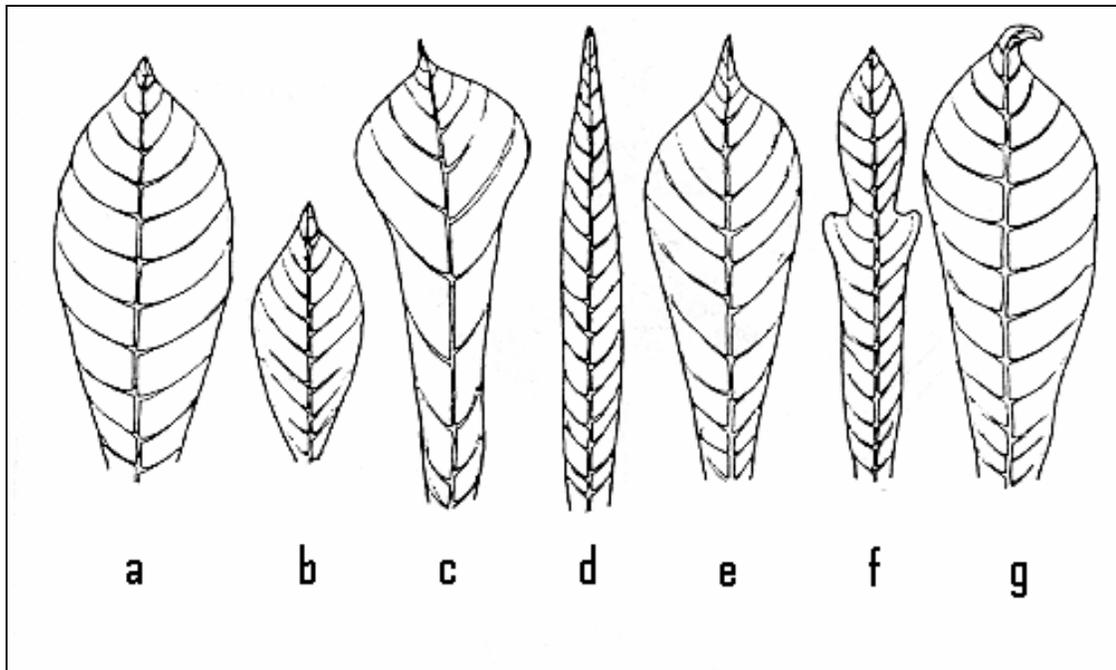


Fuente: IITA 1999.

Figura 6. Estructuras de la hoja de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

Las hojas se pueden clasificar por la forma de sus lóbulos (Figura 7) en:

- a. Ovalada
- b. Elíptica
- c. Lanceolada
- d. Linear
- e. Ovalada lanceolada
- f. Pandurado
- g. Arqueada



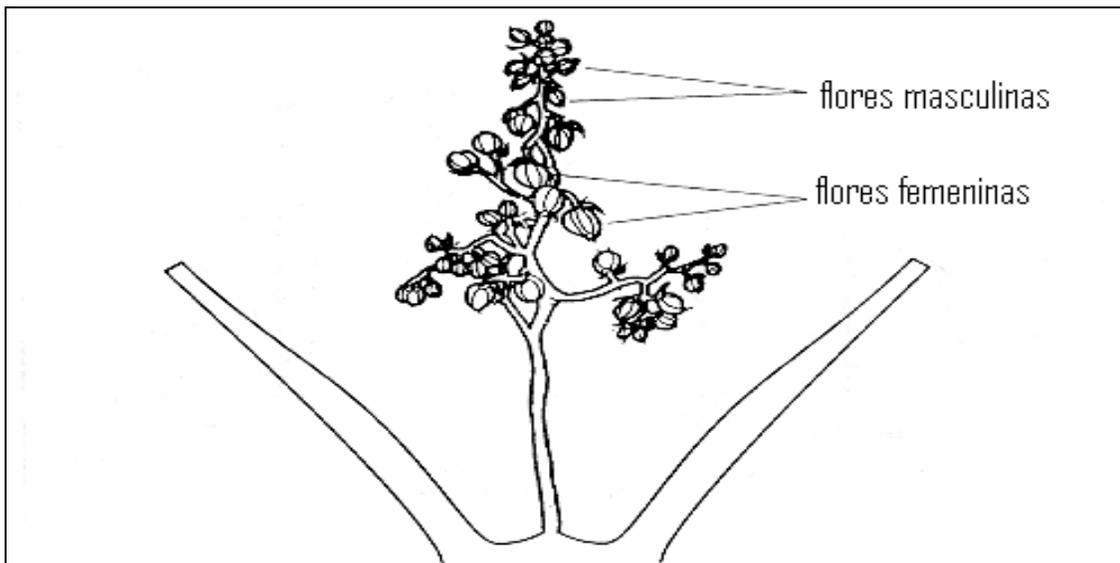
Fuente: IITA 1999.

Figura 7. Clasificación de hojas de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) según la forma del lóbulo.

El tamaño de las hojas está íntimamente relacionado a la edad del cultivo, ya que conforme pasa el tiempo, las hojas reducen su tamaño y por ende el área foliar. Además, hay gran relación en el tamaño de las hojas y épocas de sequía en donde se producen menos hojas y estas son más pequeñas, (CIAT 1981 y Mejía de Tafur *et al.*, 1997).

3.1.5.4. Inflorescencia

La yuca es una planta monoica, por lo que posee flores unisexuales en la misma planta y por lo general en la misma inflorescencia, la cual posee estructura de racimo, donde las flores masculinas ocupan las posiciones distales y las femeninas las basales. Ya sea masculina o femenina la flor consta de una bráctea primaria, una bractéola y órganos foliáceos (Figura 8.).



Fuente: IITA 1999.

Figura 8. Inflorescencia y la disposición de las flores masculinas y femeninas de la planta de yuca (*Manihot esculenta*).

3.1.6. Factores agro-climatológicos

3.1.6.1. Temperatura

La yuca, es un cultivo que se adapta a temperaturas que oscilan entre los 20°C a 30°C. En algunas regiones del mundo, la yuca produce sus máximos rendimientos a temperaturas de 25 a 27°C, siempre que exista adecuada humedad para el crecimiento (Enciclopedia Océano, 2001). Aparentemente en la región Atlántica se encuentran las condiciones ideales de temperatura y humedad durante todo el año, para cultivar exitosamente la yuca (Navarro, 1990).

3.1.6.2. Precipitación

La yuca se cultiva con éxito en zonas cuyas precipitaciones oscilan entre los 500 mm. a los 3000 mm. Anuales (Navarro, 1990). En condiciones de baja precipitación es esencial que la distribución de las lluvias sea similar durante el ciclo del cultivo.

3.1.6.3. Altitud

El cultivo se desarrolla sin problemas desde los 0 m.s.n.m. hasta los 2000 m.s.n.m., el CIAT (2005) propone como altitudes optimas para la siembra del cultivo 800 a 1400 m.s.n.m.

3.1.6.4. Vientos

La yuca presenta poca tolerancia a los vientos, este crea un efecto de desecación del follaje y la pérdida del mismo. (Navarro 1990)

3.1.6.5. Fotoperíodo

La yuca es una planta típica de fotoperíodo corto (10 – 12 horas luz/día), aun así, se adapta tanto a días cortos como largos ya que este cultivo posee la capacidad de realizar fotosíntesis como una planta C3 o como C4. (Mejia de Tafur, 2002)

3.1.6.6. Suelos

La planta de yuca se adapta a una gran variabilidad de suelos, desde suelos pobres, nutricionalmente hablando, hasta los de más alta fertilidad. Dentro de las características óptimas que deben presentar los suelos para este cultivo encontramos: suelos profundos, ligeros, porosos y sueltos, ya que el cultivo es poco tolerable al anegamiento, en síntesis suelos permeables. (Navarro, 1983)

El cultivo se adapta sin problema desde suelos ácidos (pH de 3.5) hasta suelos medianamente alcalinos con pH de 8.5.

3.1.7. Fases del desarrollo del cultivo.

La yuca presenta varios estados en su desarrollo, Montaldo (1972) presenta las principales fases del desarrollo de la yuca proponiendo 5 fases:

Brotación de las estacas: Las primeras raíces se forman al nivel de los nudos de las estacas (5 a 7 días después de la plantación); poco después se desarrollan los tallos aéreos; a los 10 o 12 días aparecen las hojas; a los 15 días la plántula está constituida y la fase de brotación ha terminado.

Formación del sistema radicular: Es la fase de instalación (2 y 1/2 meses). Las primeras raíces formadas desaparecen casi enteramente. Las otras llegan hasta 50 cm. de profundidad.

Desarrollo de los tallos y de las hojas: Los tallos, se ramifican, tomando el aspecto típico de la planta. Las hojas se desarrollan en gran número sobre los tallos y ramas (3 meses) y adquieren su tamaño máximo en un lapso de 10 a 12 días. Esta fase para variedades precoces dura 60-70 días y 85-95 en las tardías.

Engrosamiento de las raíces: La migración de las materias de reserva, especialmente almidón, comienza en esta fase. Luego se acelera y las ramas se lignifican. Durante este período (5 meses), aparecen nuevas hojas, con prioridad al inicio del engrosamiento de las raíces, pero su número disminuye progresivamente en la planta.

Reposo: La planta, ha perdido la mayor parte de sus hojas. La actividad vegetativa disminuye, aunque el almidón continúa migrando a las raíces (1 mes).

3.1.8. Manejo agronómico

3.1.8.1. Material de propagación

Toro y Atlee (1981), en su compilación sobre prácticas agronómicas para el cultivo de yuca, mencionan que el tamaño y la calidad de la semilla son de importancia fundamental para lograr rendimientos óptimos en cualquier sistema de producción agrícola. Además, afirman que la calidad de la semilla de yuca esta determinada por la edad del tallo empleado como material de propagación, el número de nudos por estaca, el grosor de la estaca y la longitud de la estaca, las diferencias varietales en los porcentajes de brotación y enraizamiento, la duración de almacenamiento y el grado de daño mecánico que sufre la estaca durante la preparación, transporte, almacenamiento y siembra.

Al tomar en cuenta los anteriores criterios de consideración para la selección del material óptimo de propagación se citan las siguientes características para material de propagación.

- Número de nudos: de 3 a 5 nudos.
- Grosor de estaca: Estacas moderadamente gruesas de la sección basal. De acuerdo a **Araya, (2004), se utilizan grosores de 3 a 4 cm.
- Longitud de la estaca: de 10 a 40 cm. largo.
- Variedades: selección de variedades resistentes a enfermedades con altos niveles productivos. Hidalgo *et al* (1997) menciona que el rendimiento de la yuca varía en mayor grado debido a su composición genotípica en menor grado debido a condiciones ambientales, prácticas culturales y por permanencia en el campo.

López, (2002), menciona que los criterios que se toman en cuenta para la selección de una variedad son los siguientes:

- Mejor rendimiento.
- Resistencia a plagas y enfermedades.
- Buena germinación.
- De acuerdo al nivel de glucósidos cianogénicos, ya que niveles bajos de este (yuca dulce) puede ser consumida de manera segura, y yucas con niveles altos de glucósidos cianogénicos (amarga) solo puede ser usada para procesos industriales.
- Duración de almacenamiento: el almacenamiento de material de propagación no es recomendable ya que este pierde viabilidad debido a la pérdida de humedad, afectando directamente la brotación y el vigor de la planta. En caso de ser necesario almacenar la semilla es necesario considerar los siguientes factores López (2002):
 - Los tallos deben estar bien maduros
 - No se deben almacenar húmedos ni permitir que se humedezcan.
 - Se deben cubrir para evitar la excesiva pérdida de humedad y protegerlos del frío.
 - Utilizar áreas sombreadas con buena ventilación.
 - Almacenarlo en estacas largas en forma vertical.
 - Daño mecánico de la semilla: evitarlo al máximo.

Rodríguez (1994), menciona que en Costa Rica las variedades más cultivadas son la Mangi y Valencia, para el consumo fresco, pero también se cultivan otras variedades como la Vainilla. Sin embargo, Aguilar (1999), menciona que en nuestro país se cultiva principalmente la variedad Valencia, un material con excelentes características para su parafinado, y en menor grado la variedad Mangi y Arbolito las cuales son utilizadas para el congelado.

Además, el material de propagación se puede obtener por la reproducción sexual para la producción de semilla, a nivel comercial no es muy utilizada debido a lo complicado de su operación (recolección) y a la alta variabilidad genética de las misma, ya que la planta realiza su polinización en forma cruzada. Esta característica es de vital importancia para los fitomejoradores para la creación de variedades; sin embargo, Nassar *et al* en el 2000, reporta que en yuca se presenta un fenómeno en la reproducción sexual muy común en pastos llamado apomixis en donde se genera la semilla sin que exista reproducción sexual ordinaria, por lo que esta semilla, es genéticamente idéntica a la madre.

Otra forma de reproducción es la utilización de los cultivos *in Vitro*, los que vienen a solucionar el problema de variabilidad de la reproducción sexual y el problema de volumen de la reproducción de estacas, además, garantiza uniformidad en la plantación y busca el mejoramiento genético del cultivo.

3.1.8.2. Siembra

3.1.8.2.1. Preparación del terreno

La preparación de terreno para el cultivo de yuca depende al igual que en muchos cultivos, de las características del terreno, tipo de suelo, clima y posibilidad económica.

En la revisión de literatura realizada por Toro y Atlee (1981), referente a prácticas agronómicas para la producción de yuca presentan desde la forma más rustica hasta el uso de maquinaria agrícola para la preparación de terreno. Santos, citado por Toro y Atlee (1981) encontró diferencias significativas en brotación y rendimiento al probar diferentes métodos de siembra. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento y brotación de acuerdo a diferentes métodos de preparación para siembra CIAT Colombia 1981.

<i>Preparación de Terreno</i>	<i>TM/ha</i>	<i>Brotación**</i>
Rastrear-arar-rastrear-preparación de surcos	17.6	++++
Rastrear-arar-siembra	14.9	+++
Arar-siembra	12.5	++
Rastrear-siembra	10.6	+

** Símbolos positivos: grado de brotación.

Fuente: Toro y Atlee 1981.

De la yuca, el interés principal es extraer sus raíces tuberosas, por lo que entre mejor sea la condición del suelo para su desarrollo, mayor será el rendimiento, sin olvidar la relación costo/beneficio de la operación.

En Costa Rica las distancias de siembra en terrenos con topografía plana corresponden a 1-1.20 m entre calles y entre plantas de 0.50-0.60 m. Cuando se mecaniza y se siembra en lomillos, la distancia de siembra varía de 1.2-1.5 m entre lomillos y 0.30-0.40 m entre plantas. (Aguilar, 1999)

3.1.8.2.2. Época de siembra

Se define época de siembra, como el lapso de tiempo en el cual es idóneo sembrar un cultivo para obtener las mayores ventajas de éste, ya sea tanto para su desarrollo, competencia y rendimiento como para su colocación en el mercado. (Editorial Océano 2002).

En nuestro país, prácticamente se puede sembrar yuca durante todo el año, por lo que el factor oferta y demanda (precio) es determinante para la selección de época de siembra. El CNP en su boletín N.18 Consultado en Infoagro (2004) establece los meses de enero a febrero y mayo a agosto como los meses con precios iguales o mayores al promedio anual, es así que, al tomar en cuenta el ciclo del cultivo se debe escoger la época de siembra para lograr colocar la mayor cantidad de volumen de yuca durante estos meses.

3.1.8.2.3. Posición de estaca

Existen tres formas básicas de la colocación de la estaca: horizontal, inclinada y vertical; cada una de éstas con características tanto positivas como negativas. Las condiciones edáficas y el grado de tecnología aplicado en la plantación determinan el uso de uno u otro tipo de colocación.

Ospina *et al* 2002, presentan los siguientes métodos de siembra:

- Siembra en lomillos y con la estaca en posición vertical.
- Siembra en lomillos y con la estaca en posición Horizontal.
- Siembra en plano y con la estaca en posición vertical.
- Siembra en plano y con la estaca en posición Horizontal.

La escogencia de cada uno de estos métodos de siembra va a depender del tipo de suelo y condiciones climáticas de la región donde se piense sembrar, por ejemplo la siembra en lomillos se recomienda realizarla en lugares con suelos arcillosos y con precipitaciones anuales mayores a 1200 mm. para favorecer el drenaje ya que estos suelos se saturan de agua y propician la pudrición de las raíces. Los ensayos realizados en el CIAT pretenden indicar que la germinación de las estacas en posición vertical en condiciones de campo, germinaron más rápido, que las colocadas de forma horizontal. (Ospina *et al*, 2002)

La siembra de las estacas se realiza en forma inclinada para facilitar la cosecha. (Aguilar, 1999)

3.1.8.2.4. Profundidad

La profundidad de siembra es un factor que está altamente relacionado al establecimiento del cultivo y por ende al rendimiento del mismo. Ospina *et al*, (2002), afirman que la profundidad de siembra debe estar regulada por el clima y el tipo de suelo por lo que para suelos secos y arenosos la estaca debería plantarse a mayor profundidad, mientras que en suelos húmedos y pesados se debe hacer superficialmente. Se hace la salvedad de que la siembra profunda dificulta la cosecha. Los rangos de profundidad óptimos se encuentran entre los 5 a los 20 cm. (Ospina *et al*, 2002)

3.1.8.2.5. Densidad

La distancia de siembra en el cultivo de yuca depende de varios factores dentro de los cuales el IICA (1997) cita tales como: el tipo de suelo y su fertilidad, hábito de crecimiento de la variedad, las características ecológicas de la región y la utilización que se le dará al producto (uso industrial o consumo humano).

Para variedades de porte erecto el IICA (1997) recomienda distancias que varían de 1.0 x 1.0 m hasta 1.0 x 0.7 m entre hileras, para una población que oscila entre 10,000 a 15,000 plantas por hectárea, coincidiendo con la recomendación dada por Toro y Atlee (1981) en el libro prácticas agronómicas para el cultivo de yuca. Para variedades ramificadas y con suelos buenos el IICA (1997) recomienda distancias de siembra de 2.0 X 2.0 m hasta 2.0 X 1.5 m entre hileras, para poblaciones de 2,500 a 3,300 plantas por ha. El IICA (1997) hace la salvedad de que a mayor población el rendimiento por hectárea aumenta, pero el número de raíces por planta, el tamaño de éstas y el índice de cosecha disminuye.

3.1.8.3. Control de malezas

Angulo, (2001), mencionan que las malezas sean posiblemente el principal factor de costos en la producción de yuca y afirman que los rendimientos de la yuca aumentan sustancialmente eliminando la competencia durante el periodo crítico de control (de 60 a 75 días después de la siembra) por lo que es necesario, en este periodo combinar el control manual con el uso de herbicidas (cuadro 6).

Cuadro 6. Herbicidas de uso común para el control químico de malezas en yuca (*Manihot esculenta*) Costa Rica 2001.

Herbicida	Dosis / ha	Época de aplicación	Control
Diuron	2.3 Kg.	Preemergencia al cultivo y maleza	Malezas anuales
Alaclor	4.6 l	Pre emergente al cultivo	Gramíneas
Diuron + Alaclor	1 Kg. + 2.5 l	Pre emergente al cultivo	Gramíneas y Hoja Ancha
Butilate	5.6 l	Presiembra incorporada	Ciperáceas y Gramíneas

Fuente: Angulo 2001

3.1.8.4. Control de plagas y enfermedades

El CIAT (1981) menciona que el cultivo de yuca puede ser atacado por más de 30 agentes bacterianos, fungos, virales o similares y micoplasmas. En esta guía también se afirma que las enfermedades de la yuca pueden ocasionar pérdidas en el establecimiento del cultivo, disminuir el vigor normal de las plantas, reducir su capacidad fotosintética o causar pudriciones radicales anteriores o posteriores a la cosecha. En el cuadro 7, se presentan las principales plagas y enfermedades de la yuca (*Manihot esculenta*).

Cuadro 7. Principales plagas y enfermedades de la yuca (*Manihot esculenta*).

PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA YUCA				
AFECCION	NOMBRE COMUN	AGENTE CAUSAL	PARTE AFECTADA	TRATAMIENTO
ENFERMEDADES FUNGOSAS	Mancha parda	<i>Cercospora caribae</i>	Planta	Maneb, Zineb
		<i>Cercospora henningsii</i>		Variedades resistentes
	Mildiu	<i>Oidium spp.</i>	Hojas	Azufre Variedades resistentes
	Roya	<i>Uromyces spp.</i>	Hojas	Variedades resistentes
	Antracnosis	<i>Glomerella cingulata</i>	Ramas jóvenes	Variedades resistentes
ENFERMEDADES BACTERIANAS	Pudrición	<i>Xanthomonas manihotis</i>	Hojas	Variedades resistentes
ENFERMEDADES VIROSAS	Mosaico común de la yuca	<i>Virus del mosaico</i>	Hojas	Uso de estacas libres del virus
PLAGAS	Taladrador	<i>Coelosternus spp.</i>	Tallos	Rotación de cultivos
	Gusano de la hoja	<i>Erinnyis ello</i>	Hojas	Monocrotofos
				Tricorfon
				Carbaryl Control biológico
	Barrenador de brotes	<i>Lonchaea Chalybea</i>	Brotes	Variedades resistentes Dimetoato Monocrotofos
	Trips	<i>Frankliniella spp.</i> <i>Caliothrips maculinus</i> <i>Corynotrips stenopterus</i>	Brotes	Carbaryl
				Malathion
Hormigas	<i>Atta spp</i>	Hojas y Brotes	Pirimi-fosmetil	
Chinche de encaje	<i>Vatiga manihotae</i>	Hojas	Malathion	
Agallas	<i>Latrophobia brasiliensis</i>	Hojas	Control biológico	

Fuente: Editorial Océano 2002

3.1.8.5. Poda

Toro y Atlee (1981) citan que en métodos de siembra de estaca como la posición horizontal, dan como resultado de 3 a 5 brotes por semilla, los cuales, compiten por espacio durante el desarrollo de la planta. También mencionan que plantas con un solo tallo produjeron mucho más que las plantas que poseían varios tallos, y que la diferencia en producción aumento al reducir el espaciamiento. En esta misma recopilación informan que al realizar la poda y dejar solo un tallo el rendimiento radical disminuía. Por otro lado, para la misma revisión, mencionan que la remoción optima se debe dar hasta dos tallos por planta, obteniendo así mejores rendimientos que las plantas con solo un tallo o mas de dos, teniendo también aprovechamiento de la colecta de hojas para el consumo.

3.1.8.6. Cosecha

Toro y Atlee (1981), proponen a la cosecha como la operación que consume la mayor cantidad de mano de obra y esfuerzo ya que ésta, en general, se realiza manualmente. La yuca se corta unos días antes de la cosecha a 25 cm. de la base para facilitar su remoción del suelo. Los autores mencionan ciertas consideraciones para la cosecha: la posición de la semilla; ya que es mas fácil de colectar la yuca cuando su posición es vertical y la dificultad de extracción aumenta entre más horizontal sea el tipo de siembra , si está en lomillos o en plano; debido a que la yuca sembrada en lomillos pretende tener una cosecha mas fácil que la de siembra en plano con pocas labores en el terreno y el tipo de suelo; entre más pesado sea el suelo mayor es el desgaste en la operación. Aún con todas estas consideraciones, los autores afirman que la cosecha se facilita con una óptima humedad en el suelo.

La cosecha en Costa Rica se realiza generalmente a los 10 meses después de la siembra (Aguilar, 1999). Para la cosecha, se elimina la parte aérea, luego se procede a arrancar la yuca, se reúne en montones para su posterior despica o separación de la yuca del tallo. Cuando se destina la yuca al mercado parafinado, se debe tener cuidado en separación de la yuca del tallo, se debe dejar suficiente pedúnculo para que finalmente en la empacadora se dé el arreglo final, además se debe tener cuidado en la arranca para impedir daños físicos en la yuca, que pueden motivar su rechazo. (Aguilar, 1999)

3.1.8.7. Fertilización

La yuca es un cultivo considerado por muchos autores como rústico, esto debido a la capacidad de desarrollarse en condiciones en donde otros cultivos no podrían o tendrían rendimientos muy bajos, esto se debe en gran parte a la capacidad del cultivo de extraer grandes cantidades de nutrientes del suelo, especialmente Potasio y Nitrógeno, siendo la yuca, a diferencia de la creencia popular, un cultivo de altas demandas nutricionales y altamente desgastador del suelo. (Navarro 1983)

Cadavid, (2002), reafirma este concepto con diferentes cuadros, en los cuales muestra la extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas en varios cultivares de yuca y el desgaste del suelo al cultivar yuca por varios años sin fertilizar (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 8. Extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas cosechadas de varios cultivares de yuca (*Manihot esculenta*) CIAT 2002.

Extracciones (Kg/ha) de:						Cultivar	Fuente
N	P	K	Ca	Mg	S		
4.91	1.08	5.83	1.83	0.79	-	Varios	Howeler (1981)
4.66	0.54	3.52	1.14	0.48	0.32	MCOL 22	Howeler y Cabavid L (1983)
6.90	0.88	3.71	1.47	0.74	0.51	CM 523-7	Caicedo (1993)
3.97	0.62	3.56	1.53	1.28	-	MCOL 1468	Caicedo (1993)
3.13	0.44	2.70	1.35	0.86	-	MCOL 1684	Caicedo (1993)
3.89	0.60	2.76	1.09	0.78	-	CM 507-37	Caicedo (1993)
3.46	0.55	3.02	1.10	0.78	-	CM 523-7	Caicedo (1993)
4.42	0.67	3.58	1.36	0.82	0.42		Promedio varios autores

Fuente: Cadavid 2002

Cuadro 9. Variación en la fertilidad de un suelo sometido al cultivo continuo de yuca, sin aplicación de abonos químicos u orgánicos Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado por 8 años CIAT 2002.

Años	pH	P	K	Ca	Mg	Fertilidad
		(ppm)	(meg/100 g suelo)			
1	6.50	8.38	0.05	0.87	0.28	Baja
2	5.60	7.10	0.03	0.65	0.20	↓ Muy baja
3	5.30	4.70	0.04	0.55	0.13	
4	5.30	5.70	0.03	0.48	0.12	
5	5.30	6.35	0.04	0.43	0.11	
6	5.35	8.25	0.04	0.34	0.07	
7	4.85	7.65	0.05	0.35	0.09	
8	4.15	5.18	0.03	0.32	0.09	

Fuente: Cadavid, 2002

Al ser la yuca un cultivo de una gran eficiencia en la absorción de nutrimentos y de depender de gran forma de la cantidad de nutrimentos disponibles, se debe realizar un buen plan de fertilización para lograr obtener los mas altos rendimientos que la variedad permita, por lo que el análisis de suelos se convierte en una herramienta esencial para este propósito, Howeler y Calavid (2002), proponen una tabla de niveles críticos para el cultivo, con el afán de tener la mejor interpretación de las condiciones nutricionales del terreno. (Cuadro 10).

Cuadro 10. Niveles críticos para la fertilidad de suelos dedicados al cultivo de yuca (*Manihot esculenta*). CIAT 2002.

pH	Sat. Al (%)	P (ppm)	K Ca Mg			Zn (ppm)	S
			(meg/100 g suelo seco)				
4.0	80.0	7.0	0.15	0.25	0.12 ^a	1.00	8.00
8.0		10.0	0.17				

Fuente: Howeler y Cadavid 2002

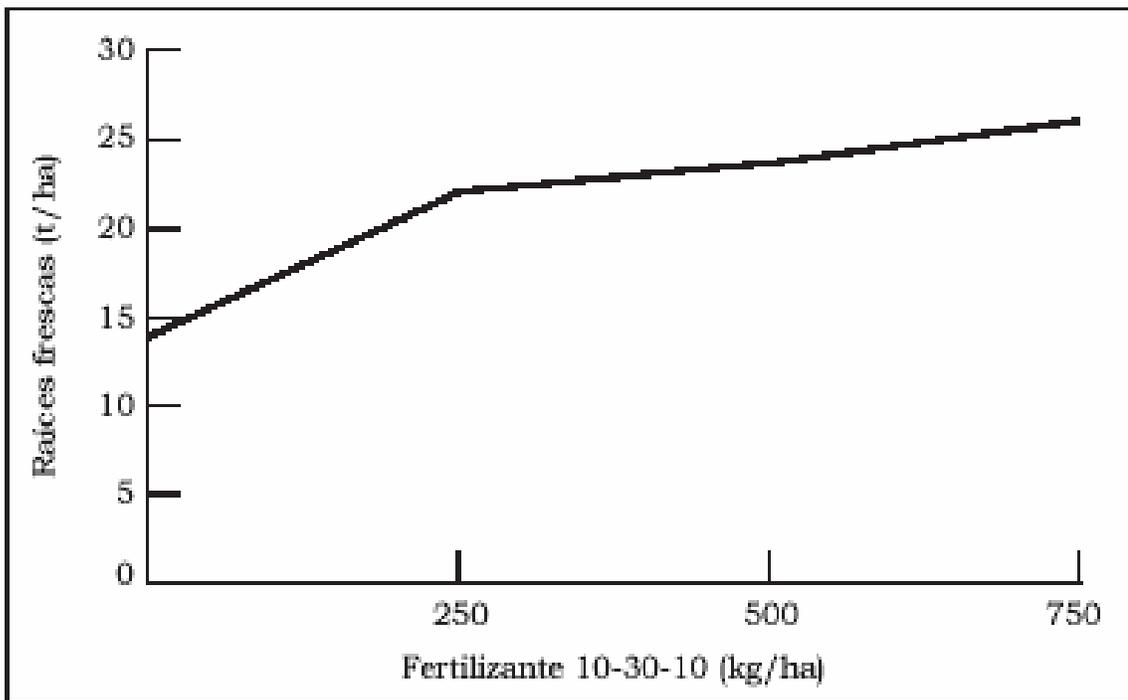
Es de suma importancia también conocer la extracción o necesidad del cultivo para producir una biomasa determinada al pretender dar una recomendación de fertilización. Cadavid (2002), propone que la yuca extrae grandes cantidades de nutrimento, en especial de N, K, Ca y establece que si se considera toda la planta, por tonelada de raíces frescas cosechadas la yuca extrae de N, 4.42; de P, 0.67; de K, 3.58; de Ca, 1.36; de Mg, 0.82; de S 0.42; en kg/ha y demuestra con el siguiente cuadro las altas demandas del cultivo para producir 15 o 30 toneladas de yuca fresca por hectárea.

Cuadro 11. Extracción promedio de nutrimentos en yuca (*Manihot esculenta*) (kg/ha.) para dos rendimientos. CIAT 2002.

Nutriente	Extracción (kg/ha) para RRF ^a	
	Estimado (15 t/ha)	Ponderado (30 t/ha)
N	66.3	132.6
P	10.1	20.1
K	53.7	107.4
Ca	20.4	40.8
Mg	12.3	24.6

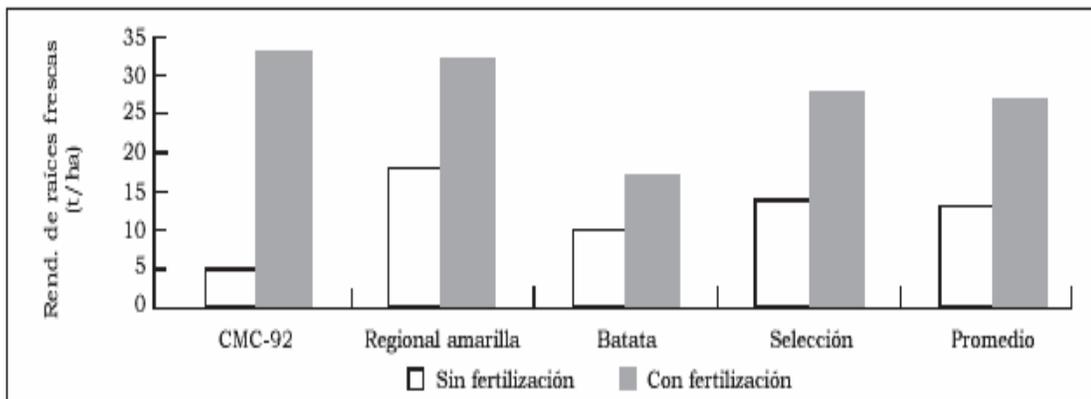
Fuente: Cadavid 2002

Al ser la yuca un cultivo de alta demanda nutricional, es natural que responda a la fertilización. En las figuras 9 y 10 Cadavid (2002) muestra el efecto que tiene la fertilización química sobre el rendimiento de raíces de yuca, se puede observar el efecto positivo al incrementar la disponibilidad de nutrientes. Con una adecuada fertilización se pueden obtener mejores rendimientos (en ton/ha), (Figuras 9 y 10).



Fuente: CIAT 2002

Figura 9. Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento promedio en yuca (*Manihot esculenta*) cv. CMC-92 en la región de Mondomo, Cauca, Colombia.



Fuente: CIAT 2002

Figura 10. Efecto de la fertilización química sobre cuatro cultivares de yuca (*Manihot esculenta*) en suelos mecanizados en Mondomo, Cauca, Colombia.

Aguilar (1999) recomienda aplicar 10 a 12 kg/ha. de N, 24 a 30 kg./ha P_2O_5 y 10 a 12 kg/ha. de K_2O , cuando ocurre la mayoría de la brotación y luego a los 3 meses después de la de brotación, 30 a 40 kg/ha de N, de 6 a 10 kg/ha de P_2O_5 y de 40 a 62 kg/ha de K_2O .

En el 2003, Bertsch recopiló una serie de datos de absorción total de la planta yuca y propuso que las extracciones totales promedio para producir una tonelada de yuca son 5.1 kg/ton de yuca de N, 0.6 kg/ton de yuca de P y 5.2 kg/ton de yuca K. A su vez recopila y propone que en promedio una tonelada de raíz tuberosa absorbe o extrae 1.4 kg de N, 0.4 kg de P y 2 kg de K (cuadro 12 y 13).

Cuadro 12. Absorciones totales y promedio de N, P, K para la producción de 1 ton de yuca (*Manihot esculenta*) (Kg/ton) Bertsch, 2003.

Referencia		Absorción total por tonelada de Yuca (Kg/t)		
Autor del Dato	Autor del Libro	N	P	K
Nijholt 1935	Howeler 1981	2.5	0.9	9
Kanapathy 1974	Howeler 1981	4.1	0	6.4
Sittibusaya y Kurmarohita 1978	Howeler 1981	2.4	1	2.3
Cours 1953	Howeler 1981	5.1	0	5
	Sánchez 1978	4	1.3	6.3
	Malavolta 1982	5.9	0	4.2
	ILACO 1981	6.3	0.7	6.3
Kanapathy 1974	ILACO 1981	4.2	0	5.6
FIAC 1980	FAO 1980	6.4	0.7	4.5
	Sánchez 1978	4	1.3	6.2
Howeler 1978	Asher et al 1980	5.5	1	6.7
	PPI 1997	6.5	0	0
Arradeau 1971	Obigbesan 1973	6.8	1.1	5.6
Malasia	Kanapathy 1975	5.7	0	6
		6	0.7	4.6
Howeler y Cadavid 1983	Howeler 1985	6	0.7	4.6
Promedio (Kg/t)		5.1	0.6	5.2

Fuente: Bertsch 2003

Cuadro 13. Absorción de N, P, K por tonelada de yuca (*Manihot esculenta*) cosechada Bertsch, 2003.

Referencia		Absorción por tonelada de Yuca Cosechada(Kg/ton)		
Autor del dato	Autor del libro	N	P	K
Hongasapan 1962	Howeler 1981	1	0.3	2.6
Mejia	Howeler 1981	1.5	0.5	2.1
Kanapathy 1974	Howeler 1981	1	0.4	2.1
Dulong 1971	Howeler 1981	1.8	0.4	1.8
Dias 1966	Howeler 1981	2.2	0	1.6
Sittibusaya y Kurmarohita 1978	Howeler 1981	1	0.6	1.5
Promedio (Kg/t)		1.4	0.4	2.0

Fuente: Bertsch 2003

Torres (2006) muestra una serie de extracciones de nutrientes para diferentes rendimientos (cuadro 14). Donde se muestra las diferentes por elemento según el rendimiento del cultivo

Cuadro 14. Nutrientes extraídos por la yuca (*Manihot esculenta*) en kg/ha

	Rendimiento (ton/ha)	N	P2O5	K2O	Ca	Mg
Bonnefoy (1933)	20	252	94	154	130	---
Solorzano (1975)	23.7	---	39	245	138	41
Asner <i>et al</i> (1980)	30.7	164	31	200	80	31

Fuente: Torres 2006

El IICA (1997) en su guía técnica para el cultivo de yuca, propone que por lo menos se debe reintegrar al suelo los nutrientes extraídos por la yuca. Además que en suelos de Nueva Guinea, clasificados como ultisoles, pobres y con ligera acidez, el cultivo ha tenido repuesta a la aplicación de 120 Kg/ha de N, 82 Kg/ha de P_2O_5 y 120 Kg/ha de K_2O , fraccionando la aplicación en 3 partes:

- Incorporado a la siembra. Una tercera parte del N, todo el P, y una tercera parte del K.
- A los 25 días después de la siembra. Una tercera parte del N y el resto del K.
- A los 60 días después de siembra. Todo el N restante.

Editorial Océano (2001) asegura que para obtener rendimientos comerciales de 40 ton/ha la fertilización debe ser de 150 Kg./ha de N, 70 Kg/ha de P_2O_5 , 350 Kg/ha de K_2O , 40 Kg/ha MgO y 20 Kg/ha de S, y en caso de que el cultivo tenga una apariencia débil y presente color amarillento en los primeros estados de desarrollo, se debe abonar de nuevo empleando entre 100 y 150 Kg/ha de urea.

3.2. Análisis de crecimiento y absorción de nutrimentos.

El diccionario de las ciencias hortícola (1999), define análisis como la distinción y separación de las partes de un todo, hasta llegar a conocer sus principios o elementos.

Los análisis de crecimiento y absorción de nutrientes según plantea Ramírez (1992), y considerando la definición de análisis del diccionario de las ciencias hortícola (1999), permiten llegar a cuantificar el crecimiento y desarrollo de las plantas conociendo así sus principios o elementos durante todo su periodo de vida.

Ramírez (1992), destaca que a partir de la información obtenida por un análisis de crecimiento se puede determinar:

- Patrones de crecimiento.
- Diferenciación de material genético.
- Efecto de los factores ambientales.

3.2.1. Crecimiento y desarrollo.

Bertsch (1995), utiliza palabras como crecimiento y desarrollo para referirse al incremento en tamaño, lo que repercute directamente en los cambios anatómicos y fisiológicos que ocurren en las plantas a lo largo de su ciclo de vida. El crecimiento y el desarrollo, se ven influenciados por factores tanto internos, (entre estos la genética de la planta), como por factores externos, (luz, agua, temperatura, oxígeno, el CO₂, los nutrientes a disposición, etc.).

Crecimiento es definido por Rallo (1999) como: “conjunto de procesos que provocan un aumento irreversible en el tamaño de los organismos, acompañado normalmente por un aumento de peso. Depende de los procesos de división celular y de expansión celular. A su vez define desarrollo como: “proceso de cambios regulados de un organismo o de sus partes, desde su origen a la maduración. Este proceso solo tiene implicaciones evolutivas”.

Ramírez (1992) define crecimiento como “los cambios de tamaño de un organismo o de sus partes, cambios en magnitud de cualquier características medible, que generalmente aumenta con la edad hasta alcanzar un máximo” y define desarrollo como “los cambios en la forma de las plantas que están creciendo o de sus partes, que pueden ser observados como consecuencia del crecimiento diferencial entre las partes de la estructura”.

3.2.2. Curvas de crecimiento

Para poder realizar y comprender mejor un análisis de crecimiento y absorción de nutrientes, es esencial comprender cómo ocurre el crecimiento de una planta, en este caso, el crecimiento de una planta anual, como lo es la yuca (*Manihot esculenta*).

Bertsch (1995) menciona, que el crecimiento de una planta anual puede expresarse mediante una curva sigmoidea de cinco fases:

- Fase inicial, en la que ocurren cambios internos que son preparatorios para el crecimiento.
- Fase de rápido incremento en el crecimiento.
- Fase de reducción en la tasa de crecimiento.
- Fase de alcance de la madurez, donde el crecimiento termina.
- Fase de senectud y muerte.

Bertsch (1995), asegura que el crecimiento de una planta está restringido por el factor más limitante en el ambiente donde se desarrolla; lo explica con el concepto del factor limitante de Liebig, que dice: “la velocidad de un proceso influenciado por varios factores es tan rápida como lo permita el factor disponible al más bajo nivel”. También consolida su afirmación mediante la visión de Blackman que reformuló el anterior concepto diciendo: “cuando un proceso es condicionado en su rapidez por un número determinado de factores separados, la tasa del proceso está limitada por el factor que actúe más lento.”

Lo anterior demuestra la importancia de caracterizar las curvas de crecimiento para cada especie y zona de producción agrícola determinada.

Una herramienta que se utiliza para explicar, cuantificar y evaluar, en la medida de lo posible, los efectos del ambiente en que se desarrolla el cultivo, son los índices o fórmulas de análisis del crecimiento vegetal, tanto a nivel morfológico como fisiológico. Para determinarlos se requiere medir el material vegetal presente, la magnitud del sistema asimilatorio de ese material vegetal y épocas de muestreo claramente establecidas (Bertsch 1995).

Para entender el efecto de los diversos factores que influyen en el crecimiento Bertsch propone que es importante considerar que:

- Las reacciones biológicas de crecimiento son complejas. Un determinado proceso es afectado por varios factores a la vez. Por ejemplo, la floración es afectada tanto por factores ambientales como por factores internos de la planta.
- Algunos factores de crecimiento pueden ser sustituidos. Existen diferentes rutas dentro de la planta que le permiten obtener un mismo producto final; por lo tanto, la disminución de la velocidad de una ruta o la reducción de la concentración de un elemento esencial puede no afectar la tasa de crecimiento de la planta. Si no hay disponibilidad de un determinado elemento básico, la planta puede recurrir, en un momento dado, a usar otro elemento presente en el ambiente con características similares al primero, y presentar un desarrollo normal, aunque el elemento básico sea limitante.
- Existen interacciones entre los factores de crecimiento como el sinergismo (la adición de un factor puede hacer a otro más eficiente), antagonismo (la adición de un factor tiene un efecto directo supresor sobre otro factor) y reacciones en cadena (la adición de un elemento ocasiona que se produzca otra serie de reacciones en secuencia).

3.2.3. Factores que afectan el crecimiento.

3.2.3.1. Fotosíntesis

El cultivo de yuca por su arquitectura, podría ser considerada una planta pertenecientes a las plantas de ciclo fotosintético C₃, (con tasas fotosintéticas entre 18 a 32 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), Mejía de Tafur (2002) propone que la planta se encuentra en un ciclo fotosintético intermedio ubicándolas entre plantas C₃ y C₄ (18 a 47 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), ya que pueden alcanzar niveles de hasta 45 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ durante épocas lluviosas con intensidades de luz mayores de 1000 J cm⁻². min.⁻¹ de radiación fotosintéticamente activa, debido a un sistema enzimático activado por la temperatura.

Mejía de Tafur (2002) además menciona que a bajas temperaturas disminuye la actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa predominando el sistema fotosintético C₃ y a altas temperaturas aumenta la actividad de la enzima dominando el ciclo fotosintético C₄ para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*).

La yuca también se ve influenciada por agentes internos y externos del sistema, por lo que su productividad depende de la relación de su capacidad varietal y el ambiente.

3.2.3.2. Luz

La yuca, afirma el CIAT (1981), crece bien en condiciones de plena exposición. Entre más luz reciba, sus rendimientos aumenta ya que este factor es esencial para la fotosíntesis.

Del total de energía que llega al límite de la atmósfera no todo llega a la superficie de la tierra ($8,13 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$), ya que parte es absorbido por las partículas que existen en la atmósfera, por el vapor del agua y por el CO_2 , llegando a la superficie terrestre $5.4 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. De esta cantidad de energía para la fotosíntesis se dispone de $2.38 \text{ J cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ya que el resto de la energía se encuentra en longitudes de onda del infrarrojo y ultravioleta. En el día 1 cm^2 recibirá de 1,000 a 1,700 J de luz fotosintéticamente activa, de este total, la hoja puede absorber el 85%, según su estructura y el resto es transmitido a hojas inferiores o es reflejado. Del total de energía que absorbe una hoja aproximadamente solo un 5% es utilizado en la fotosíntesis en su mayoría el resto de la energía se pierde en forma de calor. (Barceló *et al*, 2001)

Dentro de la influencia de la luz, además de la pérdida de energía y el aprovechamiento, encontramos otros factores a considerar como lo son:

- El punto de saturación máxima: El CIAT (2002) demuestra que el punto de saturación de luz en ambientes húmedos, como lo es la zona en estudio, es mayor a los $1800 \text{ CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.
- Otro factor es la intensidad lumínica, ya que a medida que aumenta la intensidad luminosa aumenta el valor de la tasa fotosintética en forma logarítmica hasta que alcanza el punto de saturación máxima donde la fotosíntesis puede ser inhibida, ya sea por cierre estomático, respiración acelerada o fotooxidación del aparato fotosintético (CIAT 2002).
- La duración de la iluminación influye a la fotosíntesis a intensidades por encima del punto de saturación, afecta a la fotosíntesis por debajo de este punto no hay daño aparente. . (Barceló *et al*, 2001).
- Algunos ensayos sugieren que en días largos, se suprime la formación de raíces gruesas, presentándose además una baja en el índice de cosecha de las plantas y en el rendimiento. Navarro (1983).

3.2.3.3. Agua.

Para entrar en la hoja el CO₂ necesita que los estomas este abiertos, esta apertura esta regulada por el contenido de agua de las células por lo que una disminución suficiente en el contenido de agua de estas células cerrará los estomas y disminuirá la fotosíntesis. (Barceló *et al*, 2001).

La yuca, afirma Mejia de Tafur (2002), aunque es un cultivo que por su sistema radical profundo y por poseer grandes reservas de agua, reduce significativamente la absorción de CO₂ y la conductancia estomática, lo que le permite soportar períodos de sequía. Navarro (1990), menciona que este cultivo posee capacidad de resistir sequías por tener la facultad de entrar en estado de latencia, utilizando las reservas de carbohidratos del tallo y raíces para formar hojas nuevas y continuar se crecimiento una vez que se restituye la humedad.

3.2.3.4. CO₂

El CO₂ afecta: la fotorrespiración, la conductancia estomática, la eficiencia de uso del agua, la relación C/N; por lo que ejerce un papel moderador del crecimiento. Baja concentraciones de CO₂ influyen negativamente sobre la fotosíntesis, haciéndose muy difícil su supervivencia sobre todo en las plantas C₃, ésta situaciones se producen cuando las hojas están expuestas a una luz intensa y no hay corrientes de aire. (Barceló *et al*, 2001)

La hoja de yuca presenta una alta capacidad estomática lo que facilita el intercambio de gases (CO₂), pero la efectividad de este intercambio esta influenciado por la apertura de los estomas, ensayos realizados por el CIAT, demostraron que los estomas se cierran cuando el aire esta seco. (Mejia de Tafur, 2002).

Mejia de Tafur (2002) atribuyen este mecanismo de cierre estomático, el cual permite retención de agua pero evita el intercambio gaseoso, a una deshidratación localizada del aparato estomático a través de la evaporación peristomatal como a la alta resistencia al movimiento del agua en fase líquida entre la epidermis y el mesófilo. Todo esto influye en la capacidad fotosintética, la cual repercute en forma directa en la productividad de la planta.

3.2.3.5. Oxígeno.

Al aumentar la concentración de O₂ disminuye la tasa de fotosíntesis, este efecto es el llamado efecto de Warburg (la inhibición de la fotosíntesis por el oxígeno). Este efecto es anulado en parte por el CO₂ de tal manera que si la concentración de CO₂ aumenta el efecto inhibitorio es menor. (Barceló *et al*, 2001)

3.2.3.6. Temperatura.

La temperatura afecta principalmente a las relaciones bioquímicas que llevan a la reducción de CO₂ con lo que, al aumentar la temperatura, normalmente aumenta la tasa de fotosíntesis hasta el cierre de los estomas o la desnaturalización de las proteínas. (Barceló *et al*, 2001). A esto se suma la influencia que tiene la temperatura sobre actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa la cual altera la fase fotosintética.

La yuca es un cultivo que se adapta a un rango bastante amplio de temperaturas (20 a 30 °C), pero cuando la temperatura baja de 16 °C el crecimiento de la yuca se detiene, sin embargo existe diferencia entre variedades para la tolerancia a temperaturas bajas. Navarro (1983).

3.2.3.7. Edad de la hoja.

La capacidad de fotosíntesis de una hoja aumenta al ir desarrollándose la misma hasta el punto de la madurez o un poco antes, en que la tasa fotosintética comienza a disminuir. Las hojas viejas pierden clorofila y por ende su capacidad fotosintética. (Barceló *et al*, 2001).

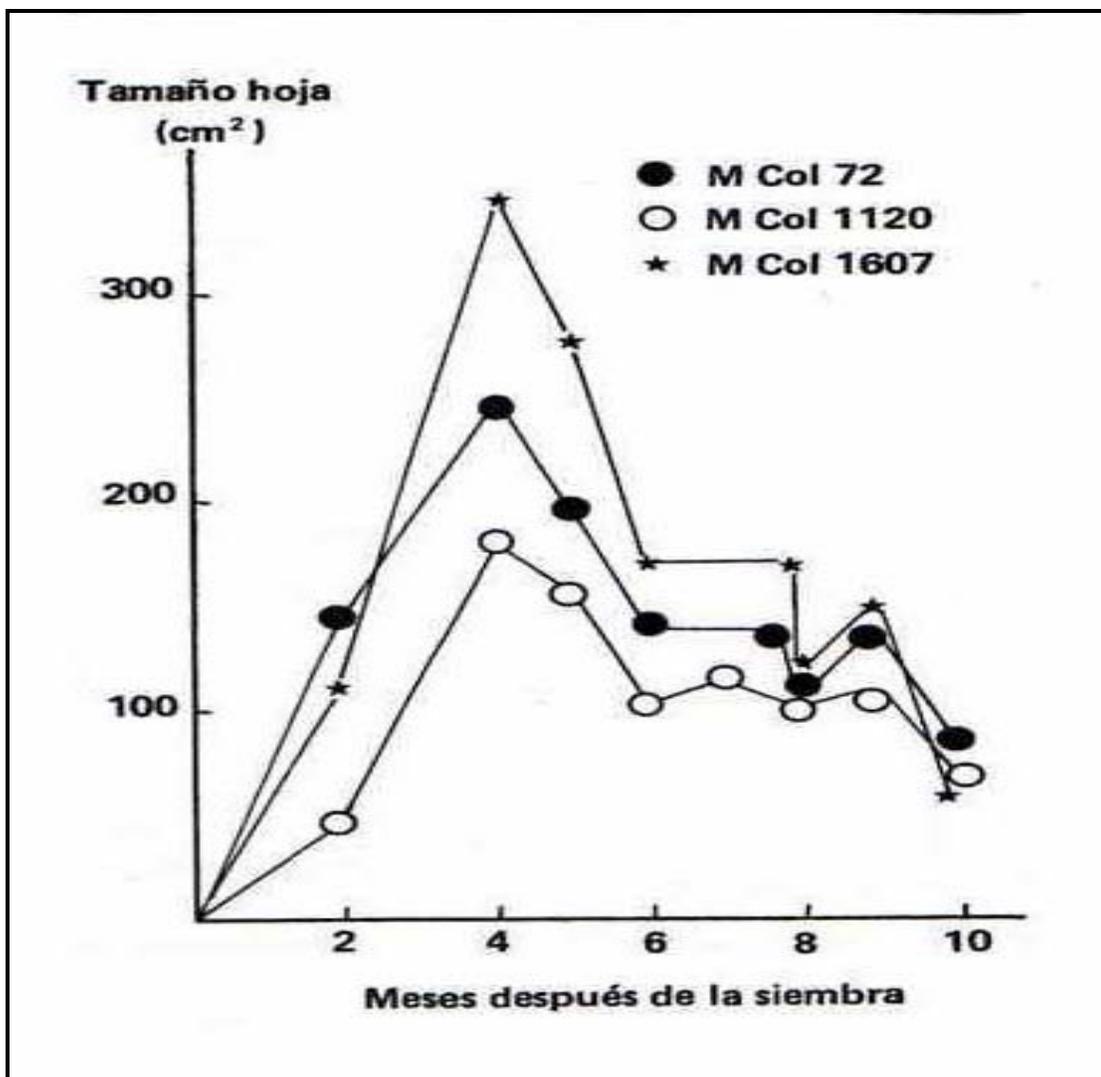
Aunado a lo anterior, la capacidad fotosintética de la hoja de yuca esta íntimamente relacionada con la edad o fase de desarrollo del cultivo ya que a medida que la edad de cultivo avanza, el tamaño del área foliar disminuye. (Mejía de Tafur 2002)

3.2.3.8. Cantidad de hojas.

Cook y Dominges (1981) afirma que en la yuca, la cantidad de hojas es el factor mas importante, en lo que a productividad se refiere, por lo que el IAF (índice de área foliar) es un buen parámetro para determinar la cantidad de luz que la planta intercepta.

El Cook y Dominges (1981) propone a su vez que el IAF depende de tres factores:

- Tamaño de hoja: El tamaño de la hoja de yuca es una característica varietal, este alcanza su máximo valor al cuarto mes de edad de la planta y luego disminuye (Figura 11).



Fuente: Cook y Dominges 1981.

Figura 11. Tamaño de las hojas de tres variedades en diferentes edades de la planta de yuca (*Manihot esculenta*). CIAT (1981).

- Longevidad foliar: Esto se refiere al tiempo que la hoja aun verde se mantiene adherida al tallo. La longevidad de la hoja se ve afectada por la sombra, la variedad y la disponibilidad de nutrimentos.
- Número de hojas por unidad de área: este factor a su vez se ve afectado por la tasa de formación de hojas por ápice, el número de ápices por planta y el número de plantas por unidad de área.

3.2.3.9. Minerales.

La fotosíntesis produce de un 90 a un 95% del peso seco de una planta, del 5 a 10% restante lo constituyen las cenizas y el nitrógeno, por lo que las deficiencias minerales afectan la fotosíntesis. El primer síntoma de casi cualquier deficiencia es la pérdida de clorofila y consiguiente alteración en la estructura del cloroplasto. La deficiencia de nitrógeno causa una disminución en la tasa de asimilación de CO₂, por otro lado el aumento de nitrógeno se refleja en una mejor dotación y actividad enzimático en los cloroplastos. En general, el aparato fotosintético de plantas deficientes en algún elemento presenta anomalías que no tienen gran especificidad. (Barceló *et al*, 2001). Sin embargo, las plantas manifiestan una sintomatología que permite identificar la carencia o exceso de los nutrimentos esenciales, según se deduce de los cuadros 15 y 16 (Howeler, 1981.)

Cuadro 15. Síntomas de deficiencia de nutrientes en yuca (*Manihot esculenta*)
Howeler, 1981.

Síntomas de deficiencia para el cultivo de yuca	
N	Crecimiento reducido de la planta
	Amarillamiento en follaje
P	Crecimiento reducido de la planta, lámina foliar, lóbulos reducidos y tallos delgados.
K	Crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas.
	Manchas púrpura, amarillamiento y necrosis de los ápices y márgenes de hojas bajas e intermedias
	Grietas finas en los tallos y tallos rastreros.
Ca	Crecimiento reducido de la raíz
	Hojas superiores pequeñas y deformes.
Mn	Marcada clorosis intervenal en las hojas inferiores
	Reducción en la altura de la planta.
S	Amarillamiento uniforme en las hojas superiores.
B	Entrenudos y pecíolos cortos
	Hojas jóvenes pequeñas y deformes
	Exudación pegajosa en el tallo
	Reducción del desarrollo lateral de la raíz.
Fe	Clorosis uniforme de las hojas superiores y pecíolos
	Hojas pequeñas sin deformidades.
Mg	Clorosis intervenal de hojas superiores e intermedias.
Zn	Machas intervenales amarillas o blancas en las hojas jóvenes.

Fuente: Howeler, 1981

Cuadro 16. Síntomas de toxicidad en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) Howeler, 1981.

Síntomas de toxicidad para el cultivo de yuca	
Aluminio	Reducción de la altura de la planta y del crecimiento de raíz
	Amarillamiento de las hojas viejas en condiciones severas
Boro	Manchas necróticas en las hojas viejas en los márgenes foliares
Manganeso	Amarillamiento de las hojas viejas con puntos púrpura, pardo o negruzco a lo largo de las nervaduras
	Las hojas se tornan flácidas y caen al suelo

Fuente: Howeler, 1981

3.2.4. Índices de crecimiento.

Los índices o los parámetros empleados en el análisis del crecimiento de una planta pueden ser clasificados en dos tipos: los que sirven para describir el proceso de crecimiento en términos fisiológicos, que se denominan parámetros fisiológicos y los que describen un estado de la distribución de la biomasa en el organismo de la planta en un momento dado, denominados parámetros morfogénicos (Bertsch, 1995).

Para realizar un análisis de crecimiento y aplicar las fórmulas que nos permitan calcular los índices morfológicos y fisiológicos, se requieren 3 datos básicos:

- Una medida del material vegetal presente (peso seco, producción, biomasa), que se refiera a la producción biológica o agronómica.
- Una medida de la magnitud del sistema asimilatorio de ese material vegetal, por ejemplo el área foliar capaz de fotosintetizar.

- Épocas de muestreo claramente establecidas. Pueden ser intervalos igualmente espaciados a lo largo del ciclo de vida, con una frecuencia variable según la especie; muestreos en la edad crítica o estados claves del desarrollo del cultivo; o un dato único obtenido al final del ciclo del cultivo.

Con el propósito de cuantificar el efecto de los factores externos que afectan el crecimiento, se generaron una serie de fórmulas conocidas como índices de crecimiento citados por (Bertsch, 1995), las cuales permitirán cuantificar el rendimiento de los cultivos en términos fisiológicos que describen el proceso de crecimiento y morfogénicos que describen el estado y la distribución de la biomasa en el organismo de la planta en un momento dado.

A medida de resumen se presentan los índices para el análisis de crecimiento con una pequeña descripción incluyendo sus respectivas unidades:

Cuadro 17. Fórmulas matemáticas de análisis para estimar los índices o parámetros fisiológicos en estudios de crecimiento Bertsch, 1995.

Parámetro	Fórmula	Descripción (unidades)
Índice Absoluto de crecimiento	$IAC=dP/dt$	Incremento en peso por unidad de tiempo (peso/tiempo)
Índice de crecimiento relativo	$ICR=dP/dt * 1/P$	Incremento de peso por unidad de peso presente por unidad de tiempo (peso/peso/tiempo)
Índice de crecimiento relativo foliar	$ICRF=dA/dt * 1/A$	Incremento de área foliar por unidad de área foliar presente por unidad de tiempo (área/área/tiempo)
Índice de asimilación neta	$IAN= \ln A_2 - \ln A_1 / t_2 - t_1$	Incremento de peso por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo (peso/área/tiempo)

Fuente: Bertsch, 1995

Cuadro 18. Principales índices o parámetros morfológicos usados en estudios de crecimiento (Bertsch, 1995).

Parámetro	Fórmula	Unidad
Índice de área foliar	$IAF = \text{Área foliar total} / \text{superficie de suelo ocupada}$	Área/Área
Razón de área	$RAF = \text{Área foliar total} / \text{PS planta total}$	Área/Peso
Razón de peso foliar	$RPF = \text{PS del follaje} / \text{PS planta total}$	Peso/Peso
Área foliar específica	$AFE = \text{Área foliar total} / \text{PS follaje}$	Área/Peso
Razón de peso comercial	$K = \text{PS parte comercial} / \text{PS planta total}$	Peso/Peso
Razón de peso radical	$RPR = \text{PS raíces} / \text{PS planta total}$	Peso/Peso

Fuente: Bertsch, 1995

3.2.5. Curvas de absorción de nutrientes

Una curva de absorción de nutrientes es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y representa las cantidades de este elemento extraídas por las plantas durante su ciclo de vida. Dicha extracción depende tanto del potencial genético de la planta o estado de desarrollo de la planta. También existen factores externos o ambientales que pueden afectar la absorción de nutrientes por la planta. Por lo anterior se denota la importancia de crear este tipo de curvas para cada variedad de cultivo como por zona de producción (Sancho 1999).

Las curvas de absorción de nutrimentos son la vía más directa para saber lo que ocurre con lo nutrientes durante el crecimiento de un cultivo. Se construyen relacionando el peso seco de la planta entera (o de cada una de sus partes) con la concentración de cada nutrimento en varios estados de desarrollo (Bertsch 1995).

Sancho (1999) menciona que para elaborar una curva de absorción de nutrientes se debe seleccionar el cultivar a estudiarse, seguidamente se debe escoger plantas tipo para el muestreo secuencial de biomasa. Estas plantas deben estar desarrollándose en condiciones ideales de suelo y manejo.

El mismo autor menciona que también se deben definir las etapas fenológicas más importantes del ciclo, tomar por lo menos tres muestras en cada etapa fenológica previamente determinada, dividir las plantas muestreadas en sus diferentes tejidos morfológicos, medir el peso fresco de las muestras y enviarlas al laboratorio para la determinación de peso seco, humedad y contenido de nutrientes. Además, se debe calcular el peso seco promedio y el contenido promedio de nutrientes de las plantas muestreadas y determinar la cantidad de biomasa acumulada y cantidad de nutrientes extraídos por el cultivo en gramos por planta. Finalmente se debe graficar la curva de crecimiento (materia seca acumulada en cada estado de muestreo) y la curva de absorción (cantidades extraídas de cada elemento en cada estado de muestreo).

Según Ramirez (1992), la importancia de las curvas de absorción radica en que, mediante ellas se obtiene una idea aproximada de la cantidad de nutrientes que la planta necesita para su desarrollo, además, se puede establecer las épocas de aplicación de fertilizantes basándose en los momentos de máxima absorción en el ciclo de un cultivo.

Bertsch citada por Ramirez (1992) menciona que mediante los análisis de absorción de nutrientes se puede explicar fisiológicamente las diferencias por efecto de un nutriente y se puede señalar de una manera mas eficiente y especifica la época de mayor efecto (punto critico).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción general y período de estudio

Se midió la concentración de nutrimentos, el crecimiento y el desarrollo de las estructuras (raíz, tallo, hojas, yuca, flores y pecíolos) desarrolladas desde la siembra hasta la cosecha de la planta de yuca (*Manihot esculenta*), en una plantación comercial. La siembra se realizó el 22 de octubre del 2003 prolongándose el estudio hasta Junio del 2004.

La precipitación promedio durante el estudio fue de 366 mm mensuales, con una humedad relativa de 93.84% y una temperatura media de 25.21 °C.

4.2. Localización del estudio.

Las muestras fueron tomadas de la Finca de don Rogelio Solano en el Distrito de La Fortuna, Cantón de San Carlos, Provincia de Alajuela. En este lugar la precipitación anual es de 4000 a 4500 mm; la temperatura promedio anual es de 28°C y la altitud de la finca es aproximadamente de 150 msnm. El área total de la finca es de 40 ha. El lote donde se realizó el estudio es de 2.1 ha.

Las muestras fueron tomadas de la finca y llevadas al Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Costa Rica Sede Regional San Carlos, donde se midieron las variables experimentales.

4.3. Área experimental

La preparación, siembra, fertilización y manejo general del cultivo de yuca variedad Valencia, utilizado para el estudio fue la utilizada tradicionalmente en toda la finca. Esta consistió en:

- Preparación de terreno:
 - Una arada.
 - Dos pases de rastra.
 - Los suelos en la zona de estudio cuentan con alta fertilidad. (anexo 17)
- Siembra:
 - Se realizó en plano.
 - La colocación de la semilla fue horizontal.
 - Variedad Valencia.
- Fertilización:
 - Una aplicación al suelo de 4 sacos de 18-46-0 al mes de sembrado.
 - Dos aplicaciones foliares de Agro K (0-32-53+2% de ácidos orgánicos y 3% de aminoácidos (1kg/200 l de agua)), a los 120 dds y 150 dds.
- Control fitosanitario:
 - Una aplicación de paraquat al cuarto mes después de siembra.

La población en la cual se realizó el muestreo corresponde a un lote comercial de yuca, del cual se tomó plantas de forma aleatoria.

4.4. Muestreos en campo

Los muestreos fueron destructivos y se realizaron cada cuatro semanas durante todo el ciclo del cultivo a partir de la siembra, ubicando 4 puntos de muestreo marcados aleatoriamente para cada una de las diez fechas de muestreo. El muestreo se realizó en 4 sitios diferentes por cada fecha de muestreo. En total se tomaron 40 muestras para cada estructura de la planta (aérea y radical) en el lote comercial.

Para reducir sesgos en el muestreo, las plantas a muestrear se marcaron con 4 semanas de antelación al mismo.

4.5. Biomasa aérea y radical

Para determinar la biomasa aérea en cada fecha de muestreo, de la planta extraída, se utilizó la planta completa. Posterior al muestreo se realizó la limpieza, lavado, separación de estructuras (hojas, pecíolos, tallo, semilla, raíz y yuca) y pesado en fresco completo de cada órgano.

Se tomó una fracción de las láminas (hojas) para medir el área foliar. Y con ese dato se estimó el área foliar total para cada fecha de muestreo.

Todas las estructuras (incluyendo lo que se separó para medir el área foliar) se secaron en un horno a 60°C durante 48 horas. Luego del secado, las muestras se enfriaron y pesaron para obtener la biomasa seca.

El procedimiento anterior sirvió para medir la producción de biomasa en cada muestreo y los parámetros fisiológicos y morfológicos.

4.6. Determinación de índices morfológicos y fisiológicos.

Para la determinación de la tasa de producción de biomasa aérea y radical a lo largo del ciclo del cultivo se realizaron muestreos mensuales de las estructuras vegetativas de plantas de yuca (hoja, tallo, raíz, yuca), luego de esto, se determinó la biomasa de cada estructura, para obtener como resultados, la acumulación de biomasa por estructura vegetativa y reproductiva. Con los datos de área foliar y biomasa se elaboró los índices morfológicos y fisiológicos de crecimiento de las partes aérea y radical de yuca, a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Los siguientes son los índices que se estimaron:

4.6.1. Índices morfológicos

- Índice de área foliar.
- Razón de área foliar.
- Razón de peso foliar.
- Área foliar específica.
- Razón de peso radical.
- Relación de raíces a hojas.
- Relación de raíces a parte aérea.

Ver cuadro 18.

4.6.2. Índices fisiológicos

- Índice absoluto de crecimiento.
- Índice de crecimiento relativo.
- Índice de crecimiento relativo foliar.
- Índice de asimilación neta.

Ver cuadro 17.

4.7. Cuantificación de la absorción de nutrientes.

Todas las muestras obtenidas, incluyendo partes radicales se enviaron al laboratorio de suelos de CAFESA para el análisis químico de tejidos.

Se hizo una descripción en el tiempo de la variación estacional de los nutrimentos en las diferentes estructuras vegetativas a saber: hoja, pecíolos, tallo, raíz, yuca.

El contenido de nutrientes se relacionó con la biomasa producida para determinar la acumulación (extracción) periódica y total. Los datos obtenidos fueron relacionados y analizados por medio de cuadros y gráficas, que facilitaron la interpretación de la absorción de nutrientes, generando un criterio de decisión básico para la propuesta de fertilización.

4.8. Propuesta de fertilización.

Se realizó una propuesta de fertilización basada en los análisis de absorción total de nutrientes, crecimiento de la planta, cantidad de elementos exportado del sistema, cantidad de elementos devueltos al sistema y momentos críticos de absorción de los nutrimentos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Producción de biomasa.

La producción de biomasa para el cultivo en las condiciones del estudio, presentó la tendencia típica de una variedad precoz de yuca la cual se cosecha entre los 8 – 10 después de siembra (Montaldo 1972) (Figura12). Se mostró un desarrollo “pasivo” durante los primeros 60 días después de la siembra (DDS), pues el incremento de biomasa hasta esta fecha fue de de 54.25 gr. a pesar de que para esta fecha se contaba con 3 tallos promedio por planta. Durante este tiempo se desarrollo el período de brotación de estaca y el de formación de sistema radicular (60 días) mencionado por Montaldo (1972). Con esta tendencia del desarrollo se podría decir que la demanda nutricional para este período es suplida por la semilla, pues el sistema radical apenas se está desarrollado. El desarrollo inicial tan dependiente de la semilla sugiere el uso de materiales propagativos de la mejor calidad (semilla de buen grosor), como podrían ser las partes basales y medias del tallo principal.

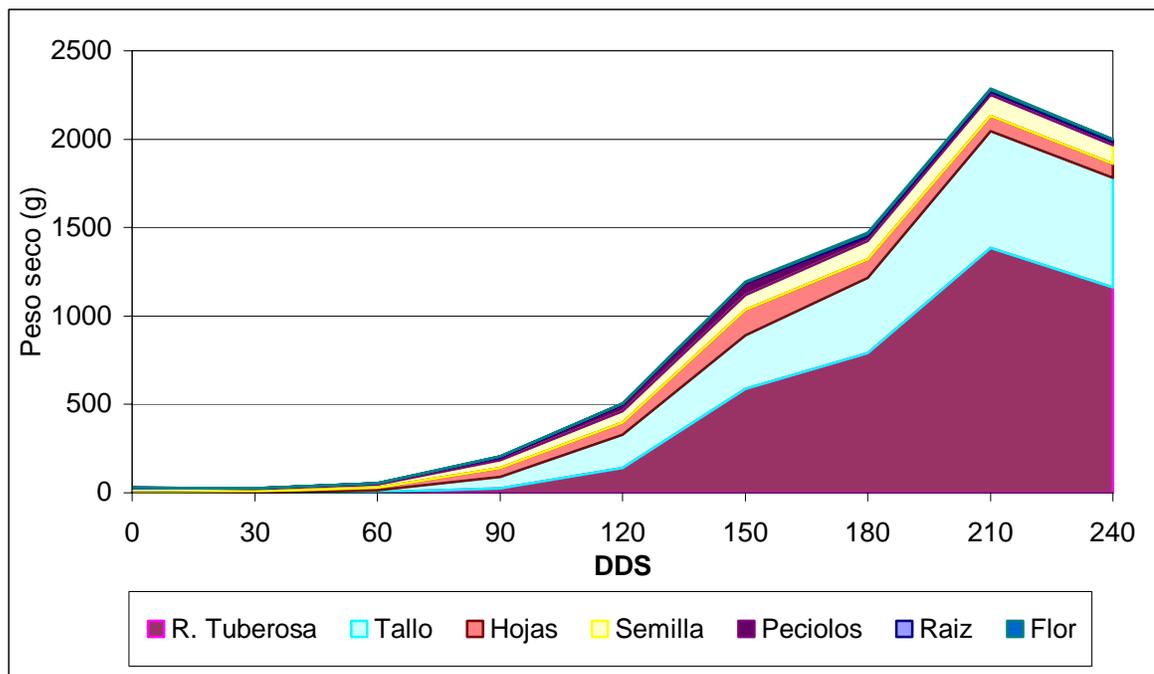


Figura 12. Producción de biomasa en gramos de peso seco para una planta de yuca (*Manihot esculenta*) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En el transcurso de los 60 a los 65 DDS, se llevó a cabo la poda de los tallos secundarios. Los resultados muestran que esta labor indujo a un estímulo en el crecimiento, pues a partir de ese momento se marca un fuerte incremento en la biomasa hasta los 150 DDS. Este comportamiento podría llevar a suponer que, en esta etapa, la demanda de la planta por nutrimentos es de las mayores en todo el ciclo del desarrollo, pues en este período se ha acumulado prácticamente el 50% de la biomasa total.

Desde los 150 DDS en adelante, momento donde el índice de área foliar se reduce, por lo que la planta entra en su etapa de reproducción sexual. Es importante mencionar que para este período la planta se encuentra produciendo inflorescencias, lo que podría significar que la planta enfoca su energía en la reproducción. La planta atenúa el desarrollo de hojas, mantiene el desarrollo del tallo y aumenta muy fuertemente el desarrollo de las raíces.

A partir de los 210 DDS, se presenta una reducción en la biomasa. Este momento podría ser el inicio de un proceso acelerado de lignificación. Para el punto máximo de esta etapa (reposo o maduración), la planta ha perdido gran parte de su área foliar, consecuencia de la disminución en el tamaño promedio de las hojas como lo menciona Mejia de Tafur (2002) y no al número de éstas en la planta.

Según los datos recopilados en este estudio, para los 210 DDS las plantas alcanzaron su máximo nivel productivo (1386.85 gr. peso seco), y es de este punto en adelante donde todas las estructura tienden a perder biomasa entrando así en su fase de senectud, para luego dar inicio a un nuevo ciclo productivo.

La tendencia de la figura12, es la típica curva sigmoidea con que se representa el crecimiento de una planta (Bertsch. 1995)

5.1.1. Producción de biomasa radical

Para efecto de la investigación, la biomasa radical se conformó de dos estructuras: las raíces absorbentes y las raíces tuberosas. La diferenciación de éstas inició entre los 60 y 90 DDS, pues en esta etapa el grosor de las raíces productoras se mostró significativamente mayor.

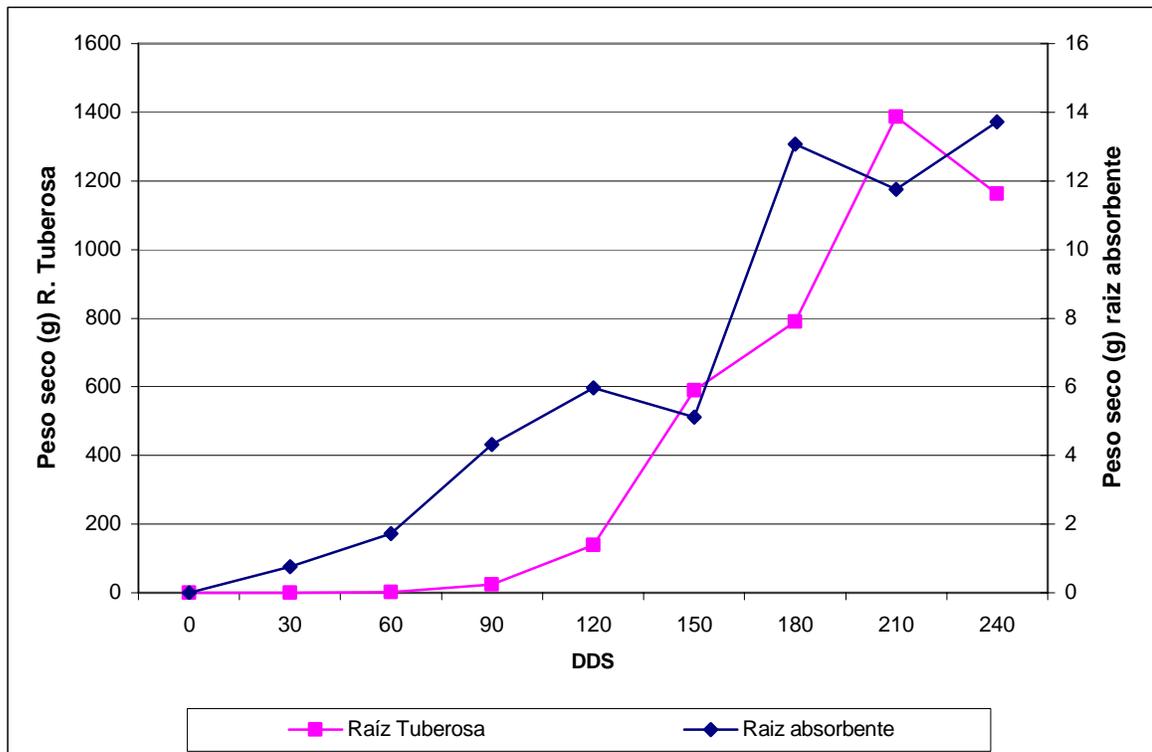


Figura 13. Peso seco del sistema radicular del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En la figura 13, se aprecia que la diferenciación radical da inicio a partir de los 60 DDS, y es a partir de los 90 DDS que se da el fuerte incremento de peso seco hasta los 210 DDS, en el cual la raíz tuberosa llega a su máximo peso (1386.85 gr. Peso seco). Por otra parte, la raíz absorbente, tiene un rápido desarrollo desde la siembra y continúa a lo largo de todo su desarrollo hasta el día de la cosecha. El máximo peso seco reportado para esta estructura se dio para los 240 DDS, alcanzando un valor de 13,73 gr. peso seco.

El desarrollo radical parece tener el comportamiento normal de una variedad precoz de yuca (*Manihot esculenta*), pues la producción coincidió con un ciclo de 8 a 9 meses, siendo en promedio un ciclo similar al reportado por Montaldo (1972).

Es importante mencionar, que las raíces absorbentes representan el 1% de la biomasa de las raíces tuberosas, llevando a suponer una alta eficiencia de la planta en adquirir nutrientes del suelo para la producción de asimilados.

5.2. Parámetros morfológicos y fisiológicos de crecimiento.

Los parámetros morfológicos y fisiológicos, son utilizados para cuantificar el efecto de las diferentes cantidades y calidades de factores externos sobre el crecimiento. Las fórmulas derivadas para este fin, pretenden explicar los efectos de ciertos factores externos tales como la luz, el agua, el CO₂, O₂, la temperatura y los nutrientes disponibles sobre el rendimiento del cultivo en términos morfológicos y fisiológicos. (Bertsch, 1995).

Los índices morfológicos, describen la distribución de la biomasa en la planta en un momento determinado (Bertsch, 1995). A continuación se presentan los diferentes parámetros morfológicos valorados en este estudio.

5.2.1. Parámetros morfológicos

5.2.1.1. Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar, representa la superficie de la biomasa foliar producida por unidad de área cubierta por la planta. Para el cultivo evaluado corresponde a 0,60 m² de cobertura de una planta.

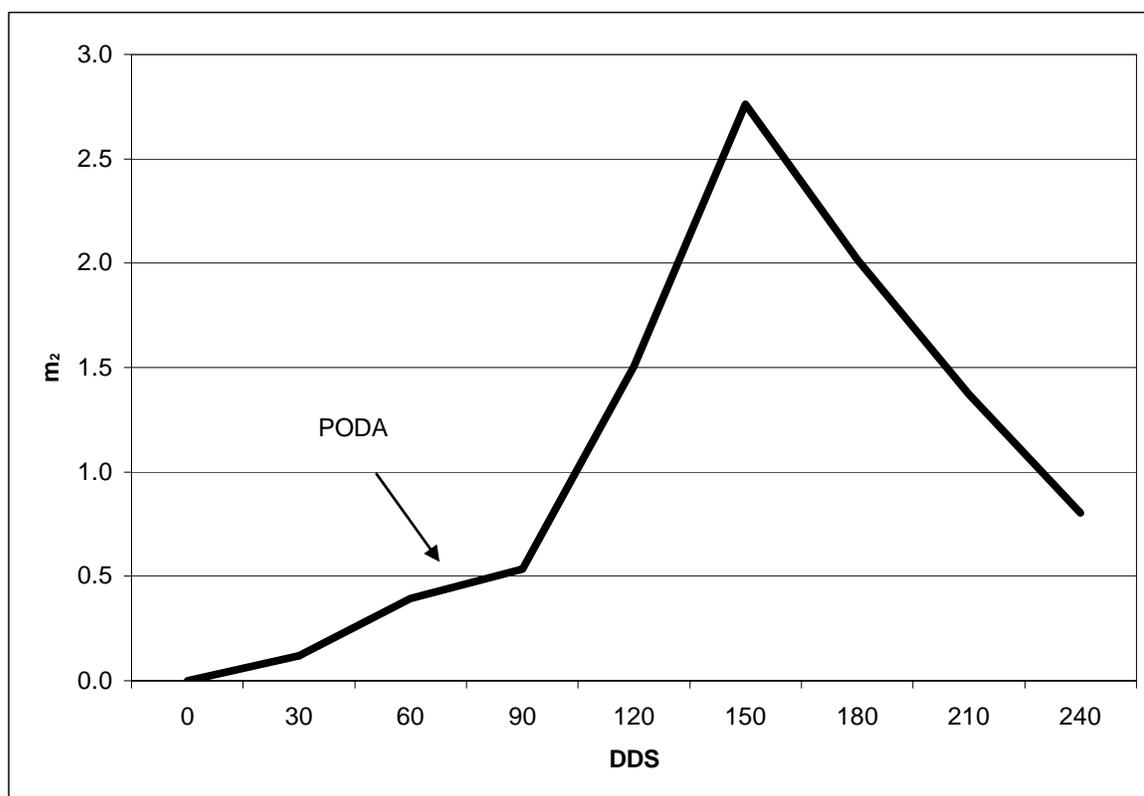


Figura 14. Índice de área foliar para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*). El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

El Índice de área foliar representado en la figura 14, presenta un crecimiento continuo desde la siembra. En el transcurso de los 90 a los 150 DDS el desarrollo se intensifica, debido probablemente a una reacción inducida por la poda de los tallos secundarios.

En la figura 12 al igual que en la figura 14, se aprecia que existe aumento en la biomasa de las hojas a pesar de la poda realizada, lo que indica un gran aumento en el volumen de hojas en el tallo que no fue podado, superando inclusive la biomasa de los 60 DDS muestreo anterior a la poda. El incremento se mantiene hasta un valor máximo de 2.76 para los 150 DDS.

Para los días siguientes al punto máximo del índice de área foliar, la disminución llega a un valor de 0,80 para los 240 DDS. Esto podría ser consecuencia del engrosamiento de raíces pues la planta está trasladando una gran cantidad de almidones a la raíz tuberosa, como se observa en la figura 13.

La disminución en el índice de área foliar también podría deberse a que las ramas se lignifican y comienza la senescencia del área foliar, en un proceso donde la emisión de hojas se mantiene pero el tamaño de las mismas es mucho menor (Mejía de Tafur 2002). En este proceso, la planta atenúa la actividad vegetativa, entrando en la etapa de maduración de estructuras. En esta fase continúa el desarrollo pero enfoca la mayor parte de su energía en la concentración de almidones en las raíces productivas, de modo que la disponibilidad de nutrimentos es esencial en esta etapa, pues se acumula gran cantidad de biomasa en las raíces tuberosas.

5.2.1.2. Razón de área foliar (RAF)

La razón de área foliar representa el área foliar total respecto al peso total de la planta en seco. (Bertshc. 1995)

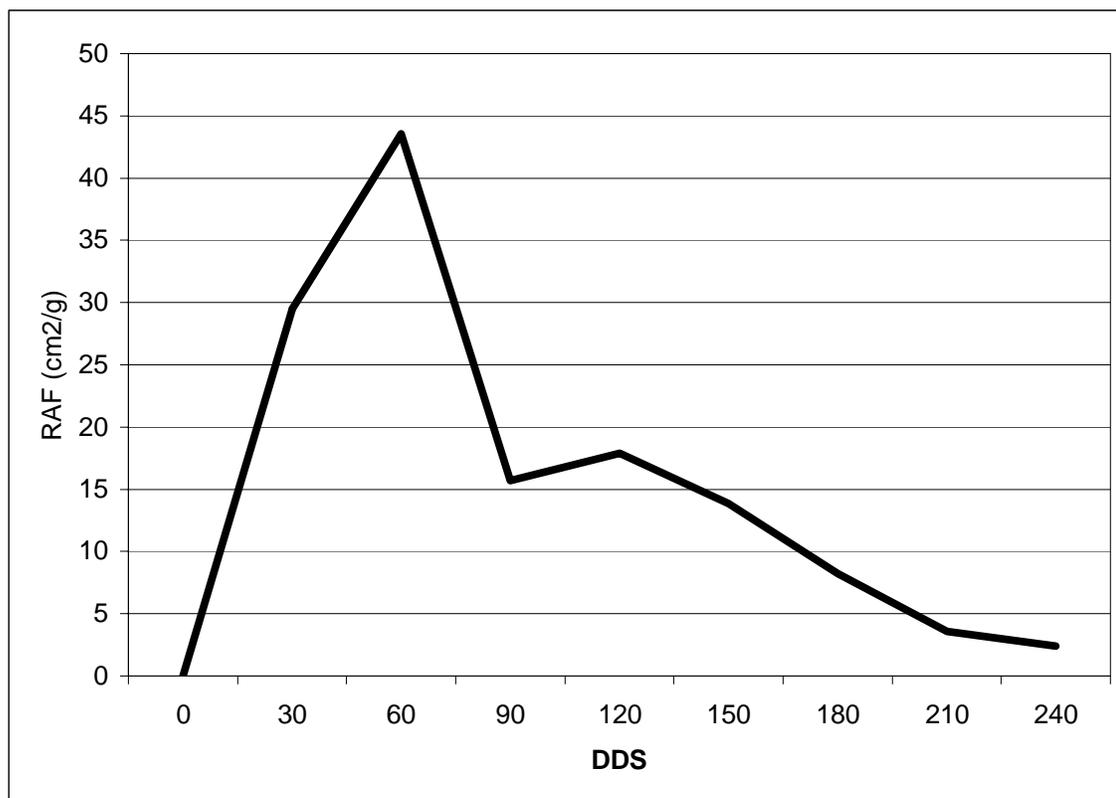


Figura 15. Razón de área foliar para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

La razón de área foliar para efectos del estudio, presenta un rápido incremento durante los primeros 60 DDS, como lo muestra la figura 15, alcanzado un valor máximo de $43.55 \text{ cm}^2/\text{g}$, gracias a la gran cantidad área foliar que se desarrolla en la etapa de establecimiento. En la figura 12, se logra apreciar la poca biomasa adquirida por la planta en este período, siendo ésta en su mayoría la que ya poseía la semilla que es la fuente de nutrimentos y asimilados para el desarrollo inicial de biomasa fotosintética.

Manteniendo una curva de desarrollo normal, la planta entra en la etapa de engrosamiento de raíces (Montaldo 1972), donde la acumulación de materiales de reserva a las raíces se incrementa paulatinamente. Este proceso unido a la lignificación de ramas y pérdida de área foliar, hace que la razón de área foliar disminuya con el tiempo.

La fuerte caída de la razón de área foliar que se representa en la figura 15 para los 90 DDS, fue causada por la poda de los tallos secundarios, lo que provocó una reducción importante en la cantidad de área foliar en las plantas muestreadas para el estudio.

Se puede apreciar que después de la caída que sufre la razón de área foliar, esta tiende a aumentar, este comportamiento pretende suponer que la poda se convierte en un estímulo para el desarrollo del follaje coincidiendo con la etapa de mayor incremento del índice de área foliar (Figura 14).

A partir de los 120 DDS la razón de área foliar desciende hasta la cosecha, debido al gran incremento de biomasa de la raíz tuberosa en relación a la biomasa de las hojas, como lo demuestra la figura 12.

5.2.1.3. Razón de peso foliar (RPF)

La razón de peso foliar representa la relación entre el peso del follaje y el peso total de la planta.

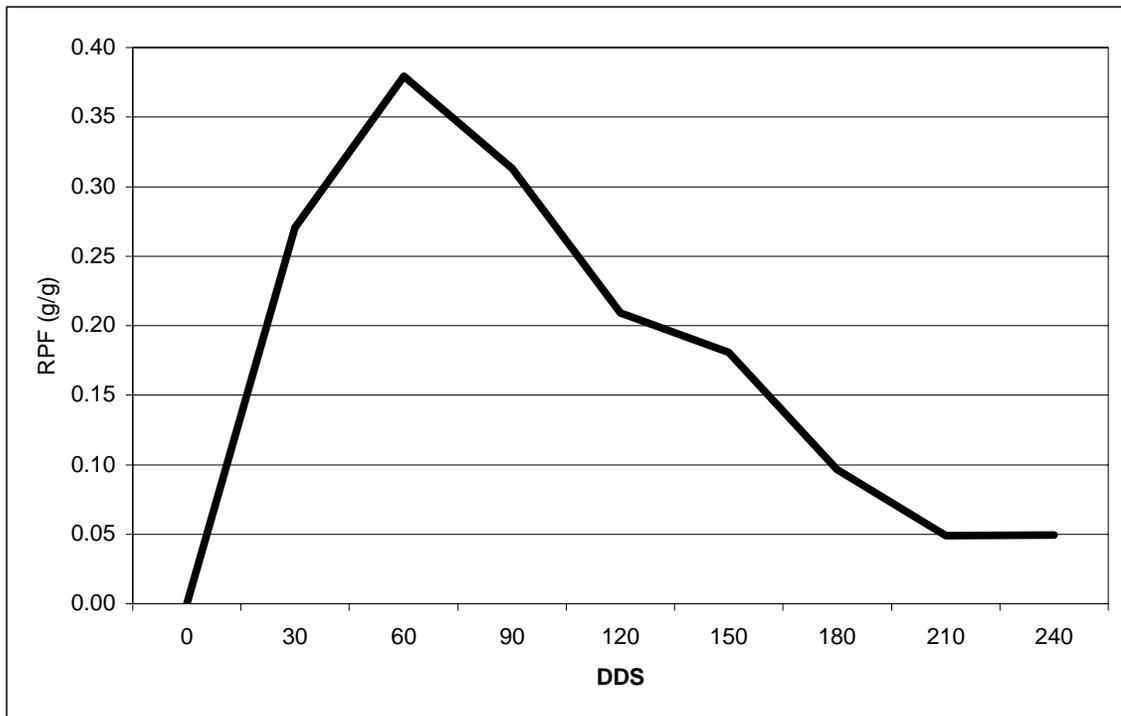


Figura 16. Razón de peso foliar para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Al ser la razón de peso foliar una comparación del peso del follaje con el peso de la planta, se espera un comportamiento similar a la razón de área foliar (Figura 15). Debido a que es una relación del follaje respecto al peso total de la planta.

La razón de peso foliar representa la fracción de biomasa total constituida por las hojas. En este caso, esa proporción es máxima a los 60 DDS. Esto nos indica que hay una proporción alta de hojas, lo que es lógico, ya que en esta fase inicial apenas se están desarrollando las raíces y el follaje, los cuales se están formando a expensas de la semilla. Por otro lado, la fuerte reducción de la razón a partir de los 90 DDS se debe al fuerte incremento en la biomasa de las raíces tuberosas (Figura 12).

Como se muestra en la figura 16, se presenta un rápido incremento en el peso seco del follaje en relación con el peso seco total de la planta, teniendo como máximo un valor para el índice de 0.39, luego de este punto la tendencia del índice es a disminuir debido a la poda, desarrollo de las otras estructuras (raíces, tallo e inflorescencias) y la pérdida de área foliar (reducción en el tamaño de hojas).

Se puede apreciar en la figura 16, que la razón de peso foliar tiene la tendencia similar a la razón de área foliar, figura 15.

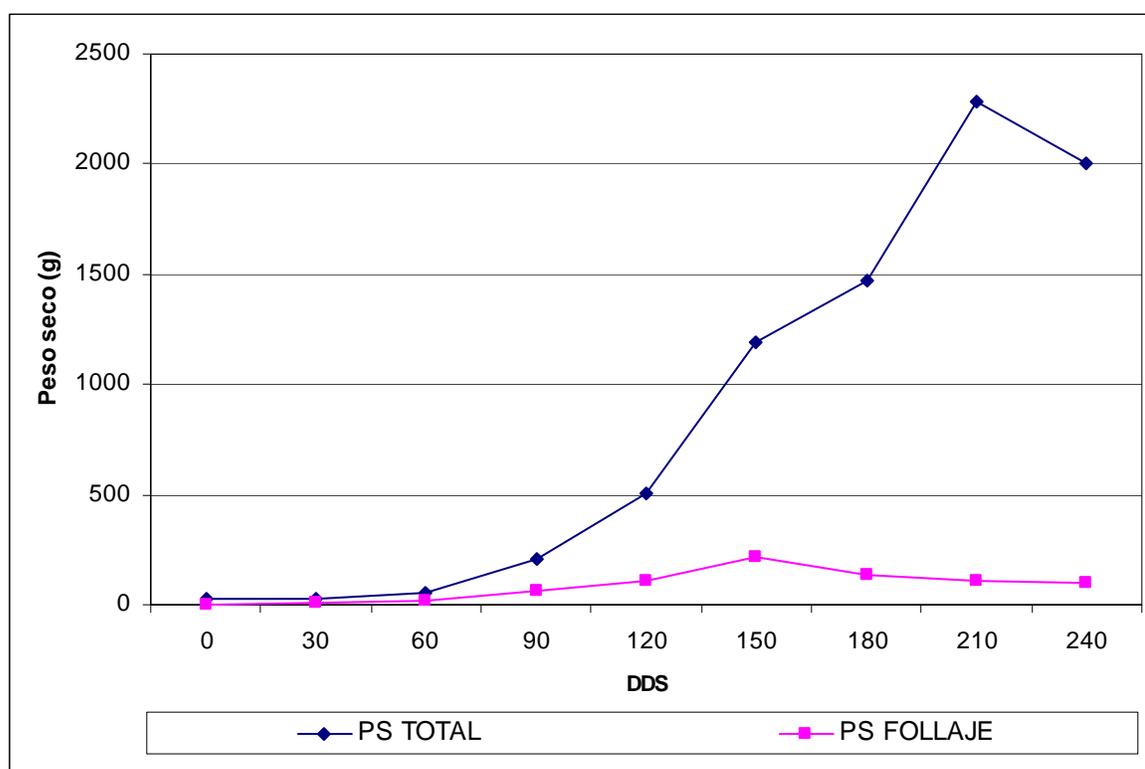


Figura 17. Variación del peso seco total de la planta y el peso seco del follaje para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En la figura 17 se observa, tanto el incremento de peso seco del follaje como el incremento del peso seco total de la planta durante los primeros 60 DDS se muestra muy similar, lo hace pensar que el peso de la planta en su mayoría lo esta aportando el follaje.

El distanciamiento entre las líneas de peso de follaje y peso total de la planta se da a partir de los 90 DDS, período donde otras estructuras como raíces, tallo y semilla presentan un incremento de peso seco, por lo que la razón de peso foliar disminuye como se mostró en la figura 17.

El peso del follaje presenta incremento hasta los 150 DDS (Figura 17), pero a su vez las otras estructuras aumentan significativamente su biomasa a partir de los 90 DDS, por lo que la tendencia de aumento de la razón de peso foliar presenta su valor máximo a los 60 DDS (Figura 16), justo antes de la poda.

Para los 240 DDS el peso seco total de la planta disminuye no así el peso seco del follaje, por lo que el índice presenta una tendencia a ser constante.

5.2.1.4. Área foliar específica (AFE)

El área foliar específica representa el área foliar a razón del peso seco total del follaje.

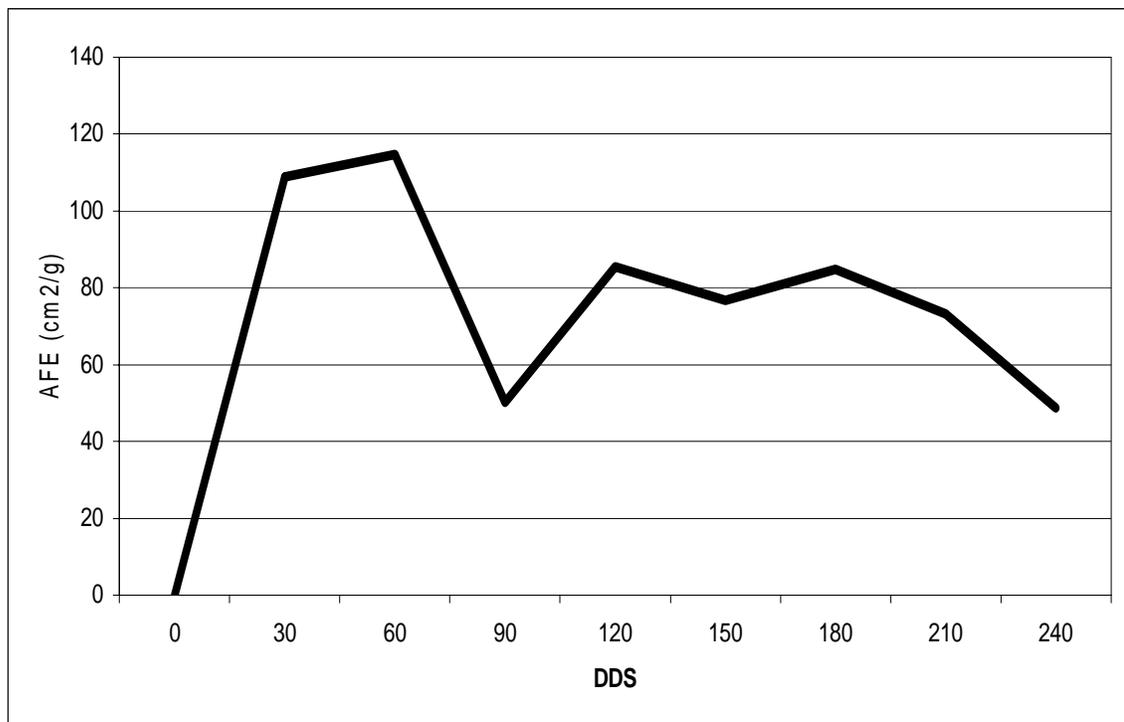


Figura 18. Área foliar específica para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Durante los primeros 90 DDS del ciclo productivo de la yuca (*Manihot esculenta*), la planta pasa por varias etapas mencionadas por Bertsch (1995), durante las cuales la planta se prepara para lograr obtener el máximo rendimiento productivo.

En este lapso de preparación donde la planta desarrolla su sistema radical y una gran parte de su área fotosintética, lo que se demuestra en la figura 14, por lo que la relación de área foliar específica crece de forma abrupta al inicio del desarrollo del cultivo hasta los 60 DDS. Los resultados muestran que el follaje que se va desarrollando en esta primera fase es de gran tamaño pero poco pesado si se compara con la relación del resto del ciclo.

A partir los 60 DDS el índice del área foliar específica desciende abruptamente, esto a consecuencia de la reducción de área foliar causado por la poda de tallos secundarios. En este punto la planta se centraliza en el desarrollo foliar del tallo primario, presentando un incremento del índice a los 120 DDS, como indica en la figura 18.

En los meses siguientes, la planta presenta un comportamiento normal de desarrollo de todas sus estructuras (hojas, pecíolos, tallo, y sistema radical), por lo que el comportamiento del índice pretende mantenerse estable.

Es en los últimos meses el índice de área foliar específica decae, producto de la disminución en el tamaño de las hojas y gran acumulación de biomasa de la raíz tuberosa.

5.2.1.5. Razón de peso comercial (RPC (K))

La razón de peso comercial representa la relación del peso seco del producto comercial (Raíz productiva) versus el peso de la totalidad de la planta.

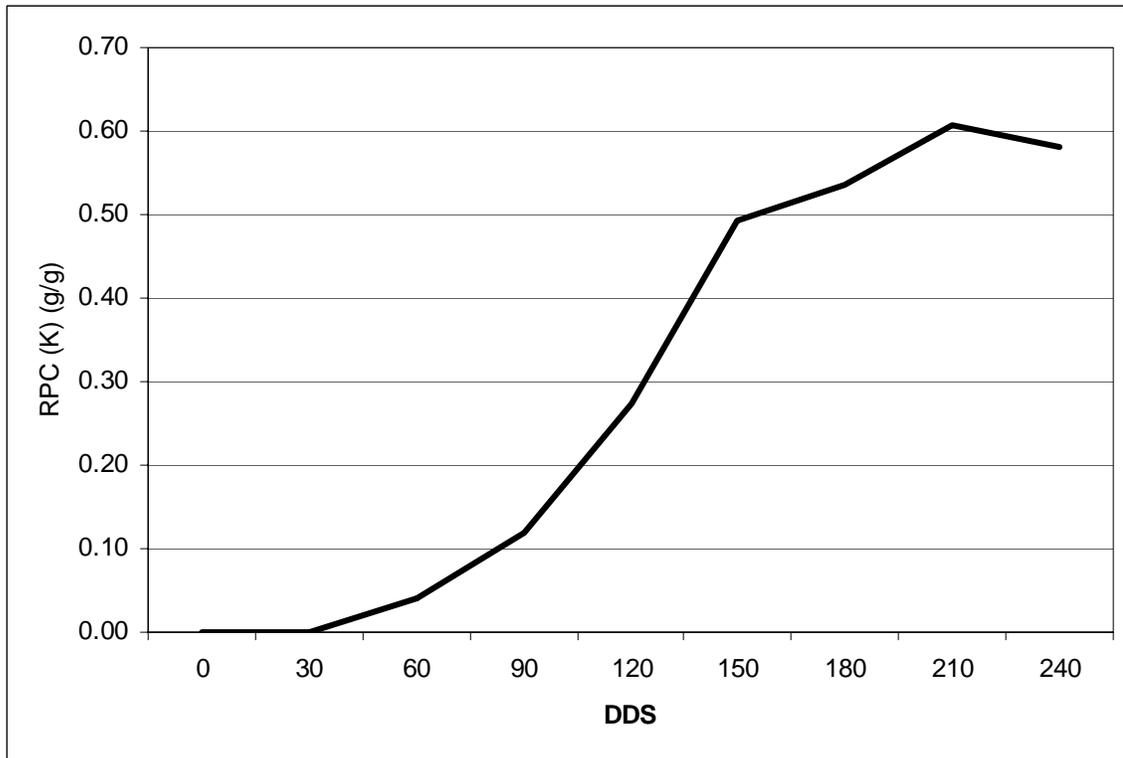


Figura 19. Razón de peso comercial para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

A diferencia de los índices relacionados con el área foliar la razón de peso comercial, se refiere al peso de las raíces tuberosas versus al peso seco de la totalidad de la planta, por lo que en este caso el comportamiento es inverso a las razones que involucran follaje.

Como se muestra en la figura 19, el incremento de peso seco de las raíces tuberosas da inicio de forma lenta a los 60 DDS, incrementado la pendiente de los 90 a los 150 DDS, donde se ubica la fase de engrosamiento radical. Esta fase ocurre debido a la acumulación de sustancias de reserva en estas estructuras y la merma en el crecimiento de las otras estructuras.

Para los 180 DDS el incremento en la ganancia de peso seco de las raíces tuberosas es menor, por lo que se puede pensar que la planta está en la etapa de reposo citada por Montaldo (1972) o en la etapa de maduración mencionado por Bertsch (1995), ya que es hasta los 210 DDS cuando la raíz tuberosa alcanza su peso máximo (1386.85 g peso seco).

Luego la raíz tuberosa pretende dar inicio a un proceso de lignificación, dándose la reducción en el índice para los 240 DDS, lo que indica que la época óptima de cosecha es probablemente durante los 210 a 240 DDS.

Como se puede observar en la figura 12, el incremento de biomasa total de la planta está íntimamente relacionado con el incremento de peso de las raíces comerciales, ya que su pendiente es prácticamente la misma, lo que indica que el mayor porcentaje del peso de la planta se debe a las raíces productivas (60% del peso seco total), lo que se aprecia tanto en la figura 12 como en la 20.

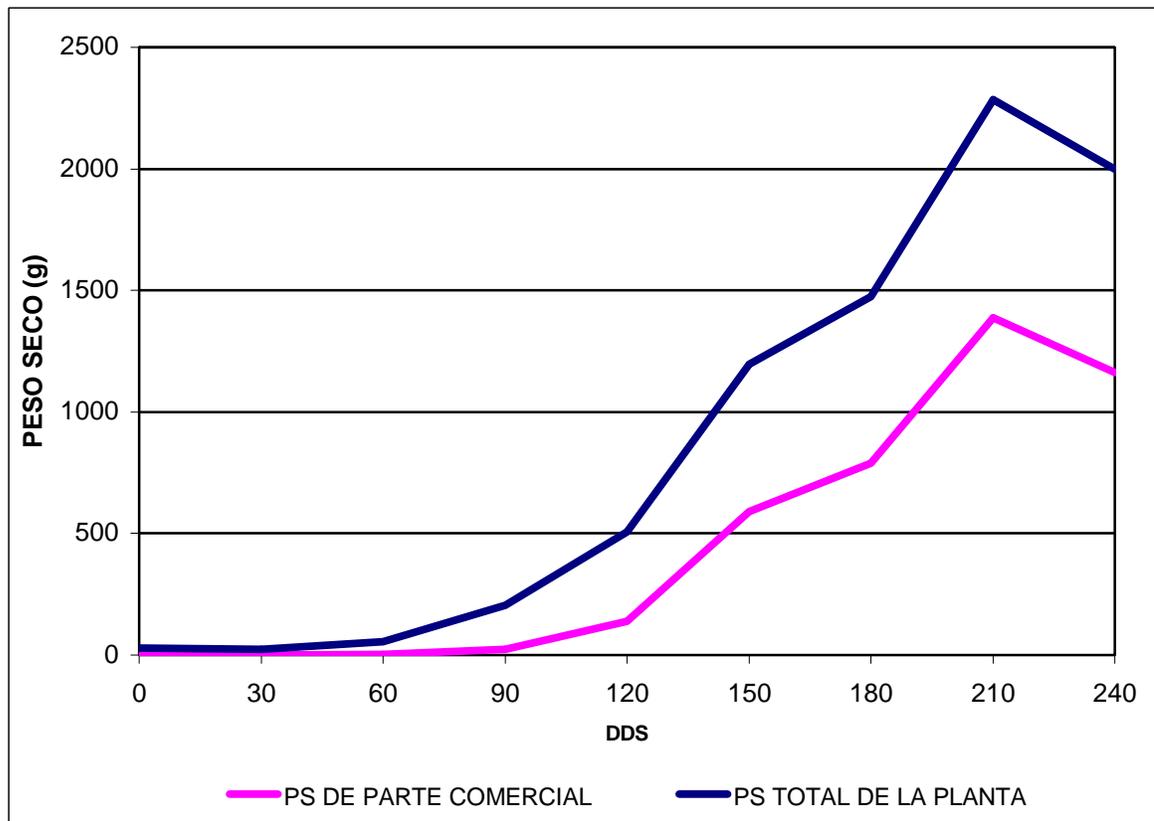


Figura 20. Variación del peso seco del total de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) y el peso seco de la parte comercial (raíz productiva) en todo el ciclo de producción, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

5.2.1.6. Razón de peso radical (RPR)

La razón de peso radical representa la relación del peso seco del sistema radical y el peso total de la planta.

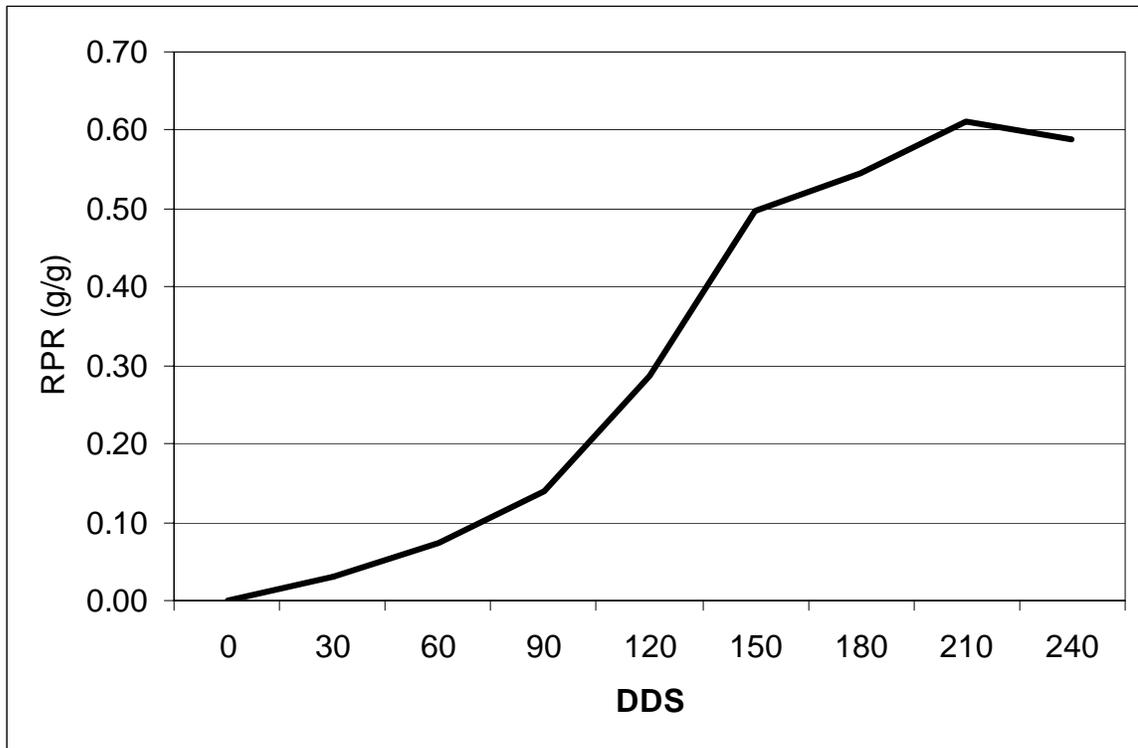


Figura 21. Razón de peso radical para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Tomando en cuenta el sistema radical lo componen las raíces absorbentes (en este caso, 1% del sistema radical) y las raíces tuberosas, es evidente que la razón de peso radical presente un comportamiento muy similar a la razón de peso comercial (Figura 19).

Una diferencia importante de mencionar, es que la razón de peso radical incrementa desde la siembra hasta los 210 DDS, esto debido al rápido desarrollo de raíces absorbentes que tiene la planta en los primeros meses, para cubrir sus necesidades nutricionales y de anclaje.

5.2.1.7. Relación de raíces a hojas (RRH)

La relación de raíces a hojas representa la proporción del peso seco de las hojas con respecto al peso seco de las raíces.

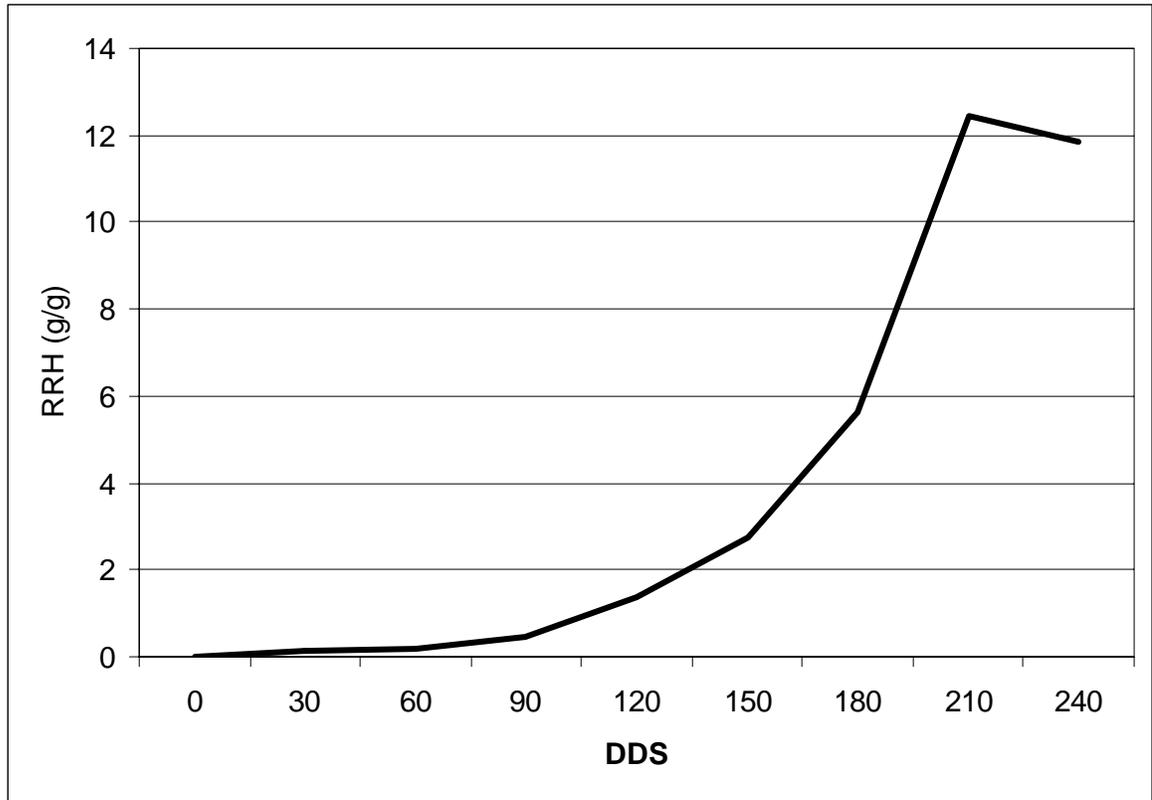


Figura 22. Relación de raíces a hojas para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Se debe considerar que la producción de biomasa de las estructuras en el cultivo (parte aérea - parte radical) en sus primeros estadios, es rápida y muy similar en proporción, como lo demuestra la figura 12 y la figura 23, es por ésta razón que el índice de la relación raíces hojas presenta tendencia a 1 en los primeros 90 DDS del ciclo del cultivo (Figura 22).

A partir de los 120 DDS, la planta presenta una serie de cambios tanto físicos (poda de tallos secundarios) como químicos (máximo período de acumulación de nutrimentos a las raíces tuberosas) que la tendencia del índice sea superior a 1, llegando a un valor máximo de 12.45 para los 210 DDS, siendo éste el mes de mayor peso seco de la raíz tuberosa.

Para los 240 DDS el índice decae, esto debido a que el sistema radical presenta una reducción en el peso seco y el peso seco de follaje se mantuvo en un peso casi constante como se muestra en la figura 12.

En la figura 23 se logra observar con mayor facilidad la gran diferencia de pesos del sistema radical versus el peso seco del follaje, lo que ocasiona el comportamiento en el índice de la relación raíces a hojas. (Figura 22)

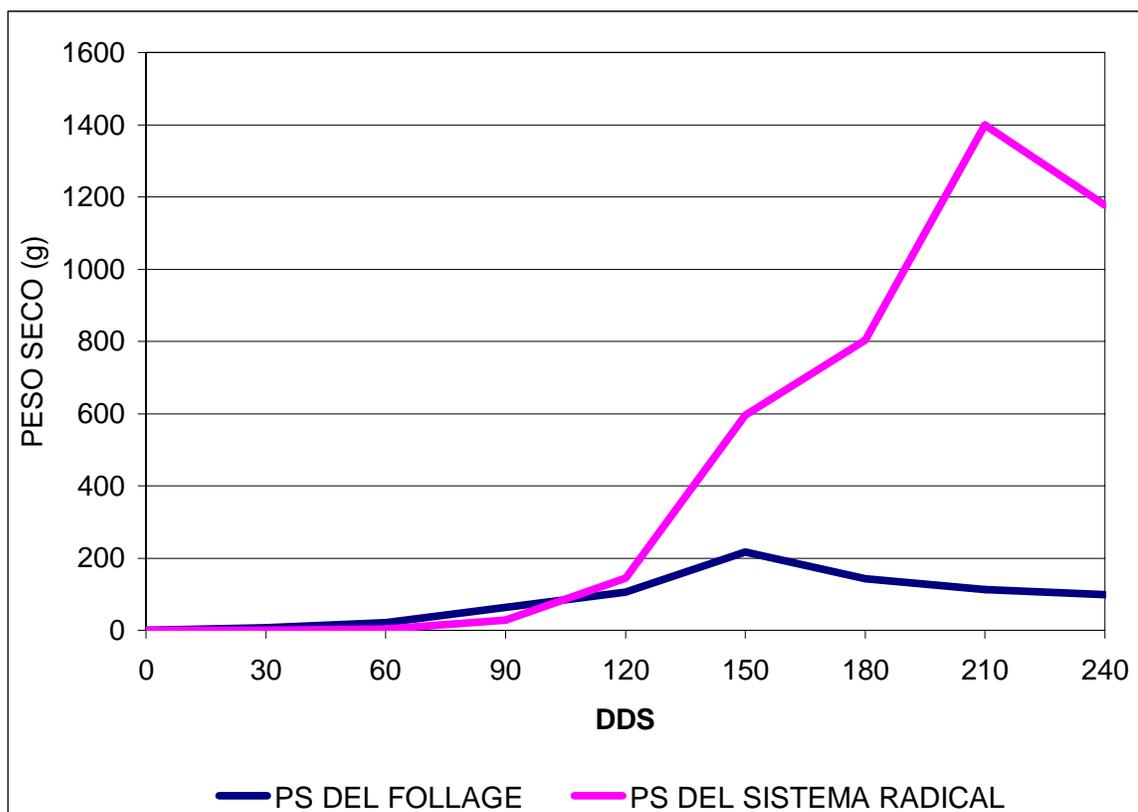


Figura 23. Variación del peso seco del sistema radical y el peso seco de las hojas para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

5.2.1.8. Relación de raíces a parte aérea (RRPA)

La relación de raíces a parte aérea representa la relación entre el peso seco del sistema radical y el peso seco de todas las estructuras que se encuentra fuera de la tierra.

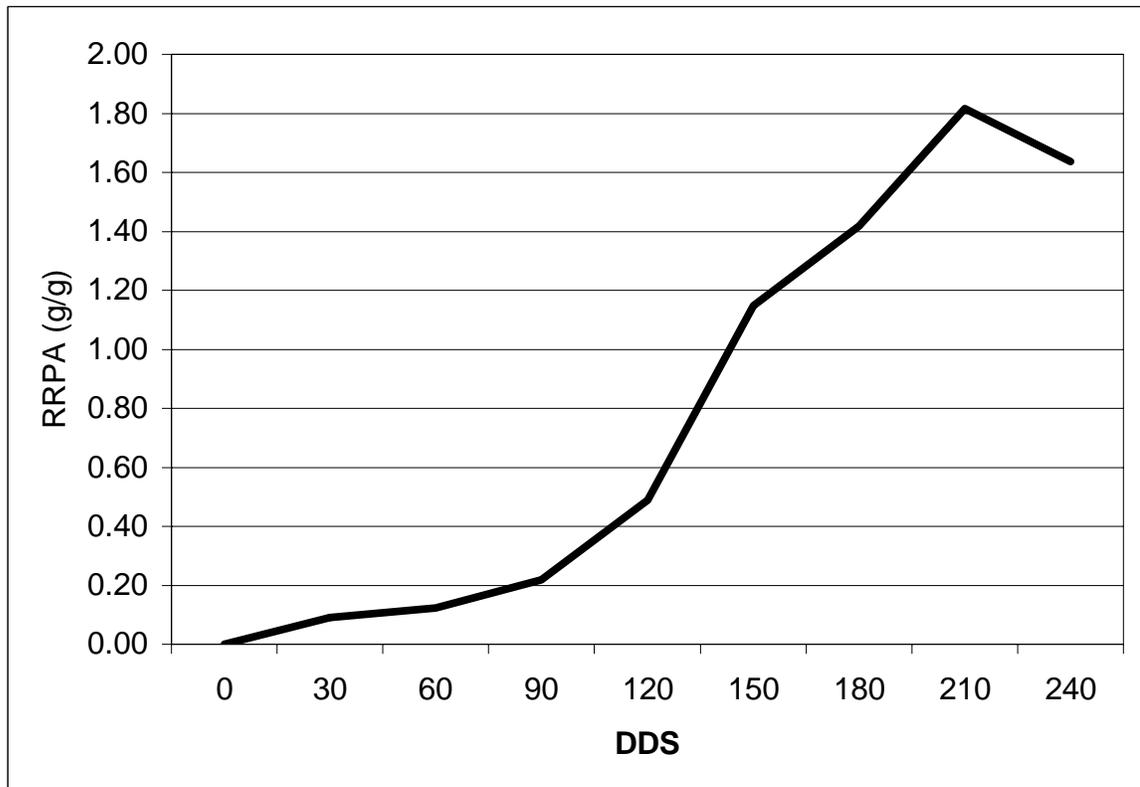


Figura 24. Relación de raíces a parte aérea para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Si se utiliza el mismo razonamiento con el que se analizó la figura 22 (relación de raíces hojas), se observa que el comportamiento para la figura 24 posee la misma tendencia, con la variante de que al contemplar en el rubro parte aérea todas las estructuras que se ubican sobre el suelo (hojas con los pecíolos, el tallo y las inflorescencias), la igualdad de la proporción se presenta poco antes de los 150 DDS, esto debido a que la sumatoria de biomasa de las estructuras aéreas es mayor al de solo las hojas.

Para los 210 DDS, el incremento de biomasa de las raíces, representa casi el doble en relación a la parte aérea. Se podría pensar entonces, que con fines de predicción de cosecha se podría tomar muestras de parte aérea y multiplicarlo por la razón de raíces parte aérea se podría estimar la biomasa de la raíz tuberosa.

En el último muestreo (240 DDS), al tener una reducción en el peso seco de la raíz tuberosa, se presenta la misma tendencia de reducción en la relación raíces parte aérea, como se observa en la figura 22.

Para ilustrar mejor la diferencia en la relación de la parte aérea y el sistema radical, se presenta la figura 25, donde se compara el peso seco de las estructuras aéreas versus el peso seco del sistema radical.

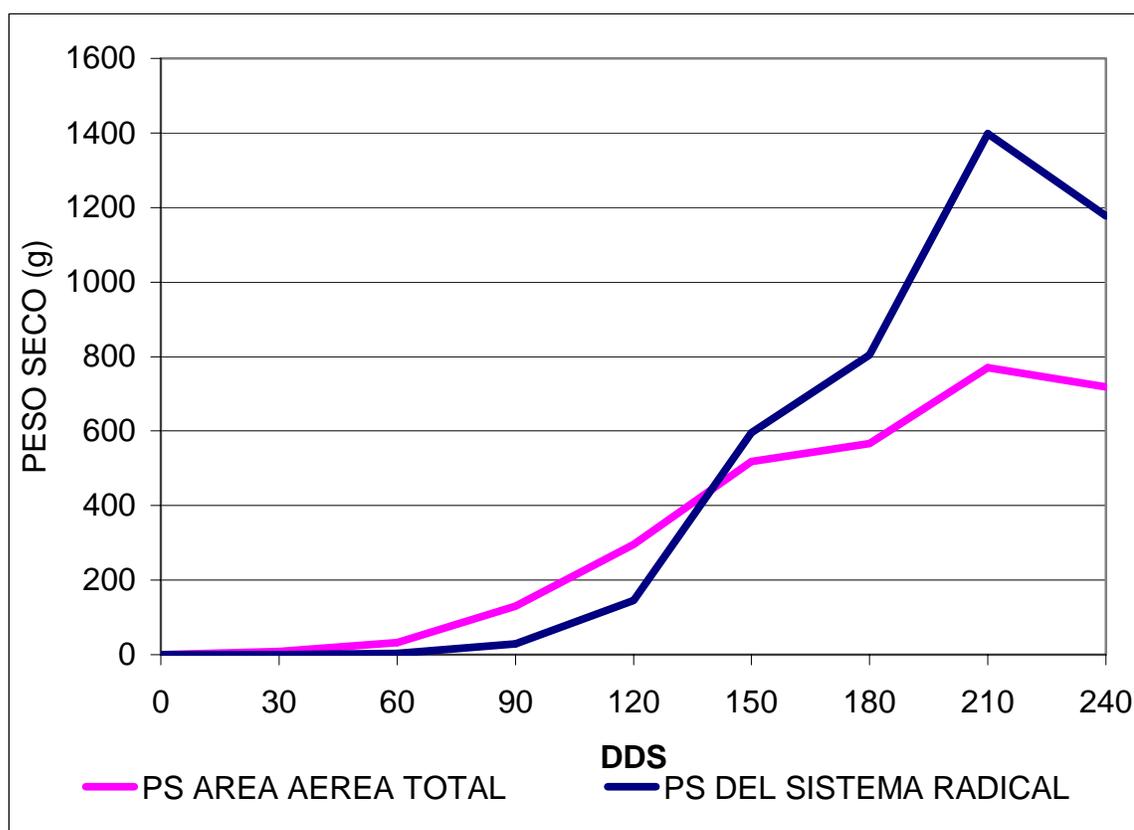


Figura 25. Variación del peso seco del sistema radical y el peso seco de todas las estructuras aéreas para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

5.2.2. Parámetros fisiológicos

5.2.2.1. Índice absoluto de crecimiento (IAC)

El índice Absoluto de crecimiento representa el incremento de peso seco por unidad de tiempo (g/mes).

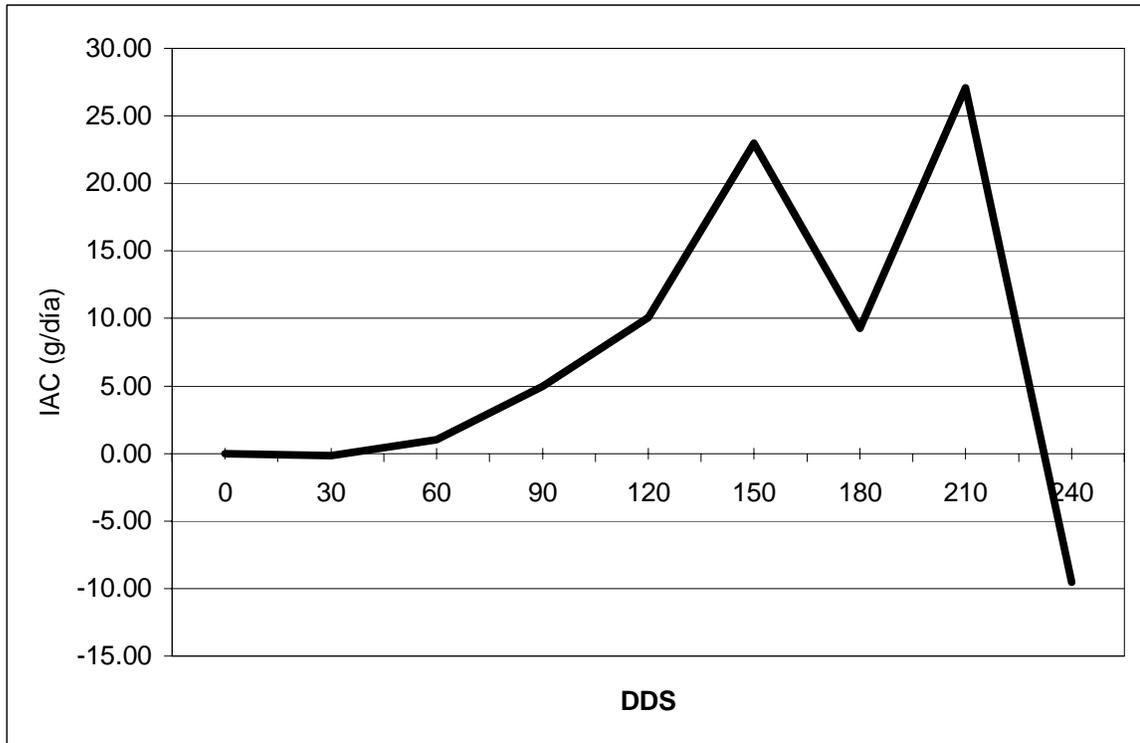


Figura 26. Índice absoluto de crecimiento para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Al realizar el análisis del comportamiento del índice de crecimiento absoluto se observó que para el período de los 0 a los 30 DDS se presenta una pequeña reducción en el peso. Inicialmente se asumió que esta variación fue causada por la variabilidad de pesos y longitudes de semillas. Sin embargo, la disminución pudo deberse a la dependencia en la semilla vegetativa que la planta tiene para desarrollar su biomasa inicial.

Otra razón por la cual se puede explicar la pérdida de peso en la semilla, radica en la necesidad de la planta de desarrollar estructuras y al no poder realizar fotosíntesis debido a la ausencia de área fotosintética, la planta obtiene su energía mediante el mecanismo de respiración, utilizando para su desarrollo inicial las reservas nutricionales presentes en la semilla.

El cultivo mantiene un crecimiento continuo desde 30 a los 150 DDS, ganando de los 30 a los 60 DDS 1 g/día; de los 60 a los 90 DDS 5 g/día; de los 90 a los 120 DDS 10 g/día; de los 120 a los 150 DDS 23 g/día lo que nos permite establecer épocas de necesidad de la planta.

Para los 180 DDS el incremento en el peso seco es menor a la ganancia diaria que se presentó en los muestreos anteriores, mostrándose en una reducción en el índice como se observa en la figura 26. Sin embargo esta reducción no señala pérdida de peso (Figura 12), ya que la planta sigue ganando peso seco pero de una forma mas lenta, a una razón de 9.35 g/día.

A los 210 DDS se presenta el máximo incremento en la diferencia de pesos y de manera igual el máximo de peso de la planta (2285.87 g) como se muestra en la figura 12. Es en los 210 DDS donde el índice alcanza un valor máximo de 27.09 g/día.

En el transcurso de los 210 a los 240 DDS se presenta pérdida de peso seco a razón de 9.52 g/día, hasta llegar a un peso de 2000 g/planta a la cosecha, por lo que se podría plantear una cosecha adelantada (210 DDS) para las condiciones de este estudio.

5.2.2.2. Índice de crecimiento relativo (ICR)

El índice de crecimiento relativo representa el incremento de peso seco por unidad de peso seco presente por unidad de tiempo calculado a partir del logaritmo natural del peso seco presente menos el logaritmo natural del peso seco anterior entre la diferencia de tiempo transcurrido (Bertsch 1995).

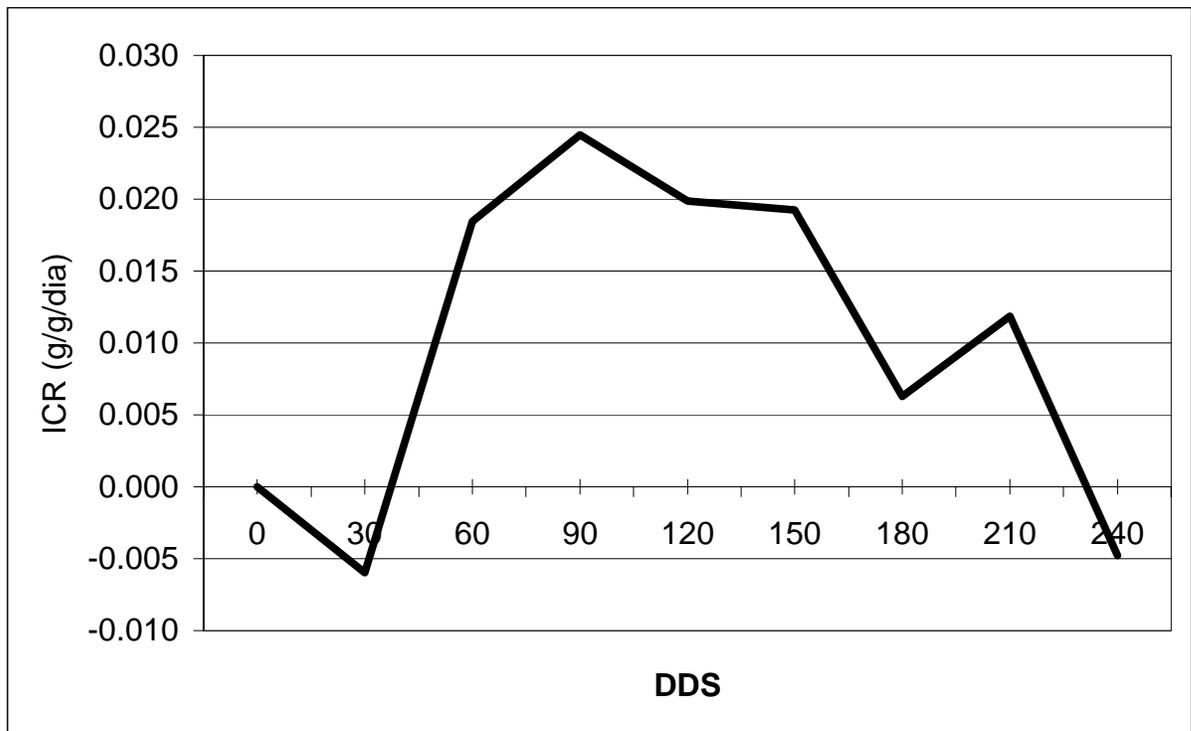


Figura 27. Índice de crecimiento relativo para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Los datos presentan una curva de crecimiento normal para el cultivo, con un crecimiento acelerado en los primeros meses, debido a que este índice representa la ganancia de peso a razón de un peso ya existente. Se alcanza un máximo de crecimiento en relación al muestreo anterior a los 90 DDS, a partir de este día el crecimiento sigue pero en menor grado, ya que el enfoque de la planta radica en acumular reservas en las raíces tuberosas como se observa tanto en la figura 12 de acumulación de biomasa como en la figura 19 (razón de peso comercial).

Para los 240 DDS se aprecia que el crecimiento es negativo, esto indica que para el transcurso de los 210 a 240 DDS la planta perdió peso, cuyas causas pueden deberse a:

- La pérdida de área foliar
- La pérdida de peso en la raíz, lo cual indica que la planta esta lista para la cosecha en el lapso de los 210 a 240 DDS.

El fenómeno ocurrido entre de los 0 a 30 DDS, indica una pérdida de peso para este período, esto debido a la respiración, la cual generó el desgaste de la semilla en la producción de estructuras como raíces, tallos y las primeras hojas.

5.2.2.3. Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF)

El índice de crecimiento relativo foliar representa el incremento de área foliar por unidad de área foliar presente por unidad de tiempo (Bertshc 1995).

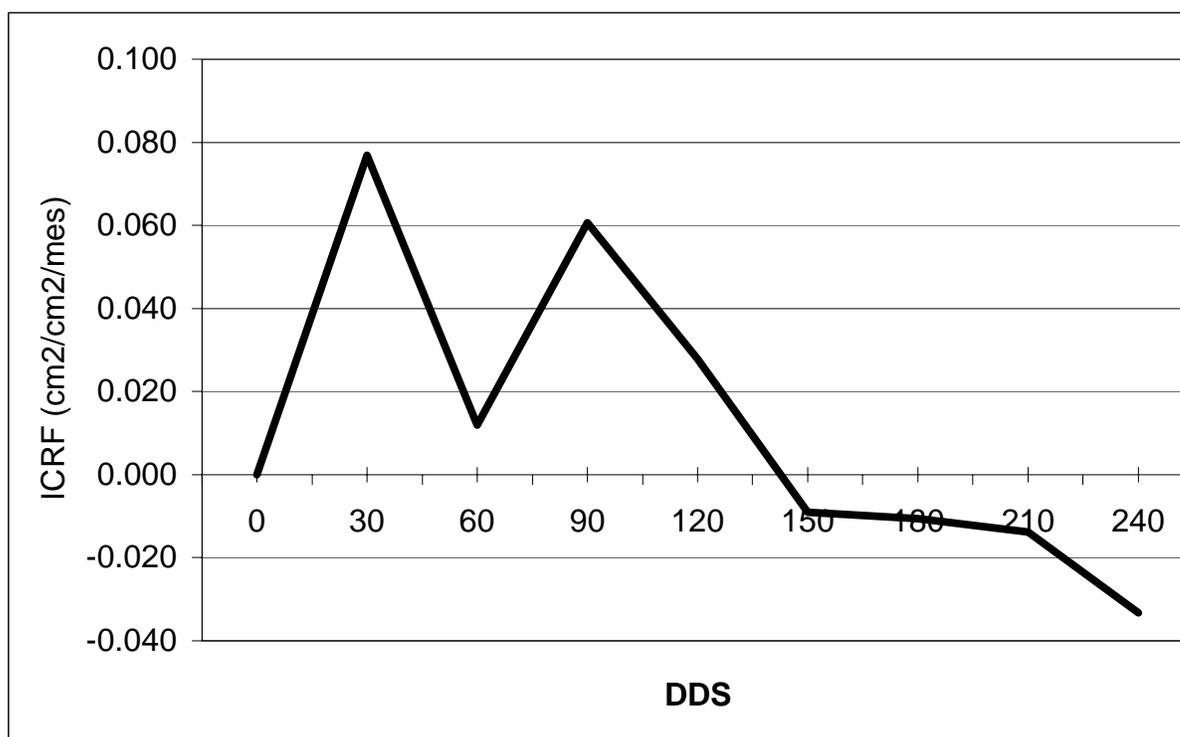


Figura 28. Índice de crecimiento relativo foliar para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Para el período de los 0 a 30 DDS, debido a la ausencia de área foliar en el primer muestreo (0 DDS), el índice muestra el mayor incremento en todo el ciclo, ya que para el segundo muestreo (30 DDS) se contaban con tres tallos y sus respectivas hojas.

Para los 60 DDS se presentó una disminución en la ganancia de peso en área foliar, debido al desarrollo masivo de todas las estructuras no solo área foliar.

A los 90 DDS se presentó un incremento en el crecimiento de área foliar, debido a que después de la poda, el tallo principal genera una gran cantidad de área foliar nueva compensando lo perdido por la poda, como se mostró en la figura 14. Esta operación podría interpretarse como un estímulo al desarrollo del follaje pues el índice aumenta muy significativamente (de 0,01 a 0,06).

De los 90 a los 240 DDS el área fotosintética atenúa su desarrollo, a razón de lo ya producido, pero es a partir de los 150 DDS que la planta tiene verdadera pérdidas de área fotosintética, indicando que a partir de los 150 DDS, la planta comienza a perder área foliar (Figura 14), lo que pareciera indicar que la planta entra en su etapa de "reposo" donde se da la máxima acumulación de almidones en las raíces tuberosas y se da la senescencia de sus hojas, como se observa en la figura 14 (índice de área foliar).

5.2.2.4. Índice de asimilación neta (IAN)

El índice de asimilación neta representa el incremento de peso seco por unidad de área fotosintética por unidad de tiempo (Bertsch 1995).

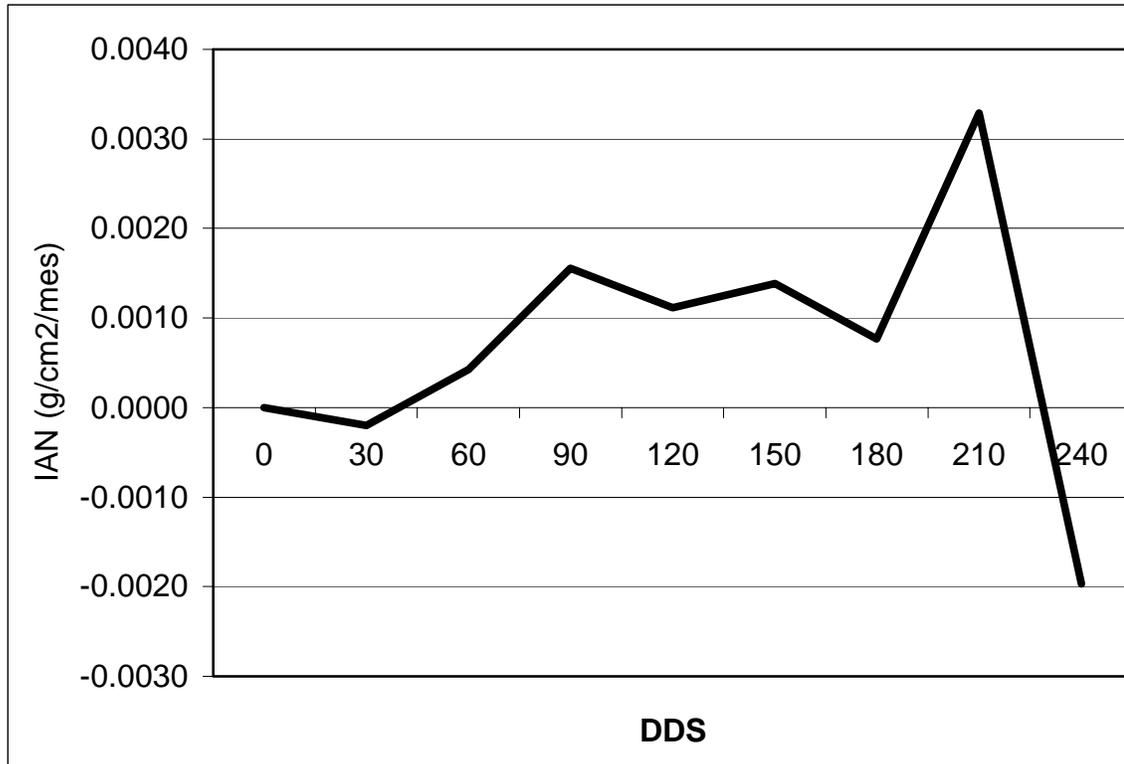


Figura 29. Índice de asimilación neta para un ciclo productivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Este índice mostró que la planta mantiene un incremento de peso desde los 30 hasta los 210 DDS debido a la acumulación y absorción de nutrimento que tiene la planta para el desarrollo de las raíces tuberosas.

La caída en el índice de los 0 a los 30 DDS es, como se ha venido mencionando, por la pérdida de peso de la semilla observada para esta fecha, debido al desgaste de la misma por la demanda energética para la brotación, fase en la que la planta desarrolla las primeras estructuras que utilizará en el futuro para generar su propia biomasa a partir de la fotosíntesis y de los nutrientes que absorba (véase la Figura 16).

El rápido incremento en la asimilación que se muestra para el lapso de los 30 a los 90 DDS, se da debido al rápido incremento del follaje necesario para la producción de los asimilados que se acumulan en las raíces tuberosas como lo muestra la figura 16.

De los 90 a los 150 DDS, el desarrollo de biomasa en todas las estructuras es constante, lo que produce una tendencia a la constancia en el índice como lo muestra la figura 29. Esto es comparable al interpolar el índice de área foliar específica y la razón de peso comercial, los cuales muestran un incremento acelerado para esta época. También al ubicarse en la figura 12 (producción de biomasa), se observa el incremento de biomasa tanto en la parte aérea como en la parte radical, lo que representa la tendencia del índice a mantenerse constante.

En el transcurso de los 180 a los 210 DDS se demuestra un incremento en el índice de asimilación neta debido a que la planta continúa su ganancia de biomasa en la parte radicular (raíz tuberosa) en forma constante aunque su área fotosintética disminuye, lo que recalca la eficiencia de la planta en la absorción, acumulación y transformación de nutrimentos en esta etapa del crecimiento. Adicionalmente, los resultados parecen indicar que la pérdida de área foliar se da como consecuencia de la traslocación de asimilados de las hojas a la raíces.

Para el lapso de los 210 a los 240 DDS, el índice de asimilación neta, muestra números negativos, lo que indica que hubo una pérdida de peso en la totalidad de la biomasa del cultivo como se ha venido observando en los gráficos analizados anteriormente.

5.3. Fases de crecimiento del cultivo

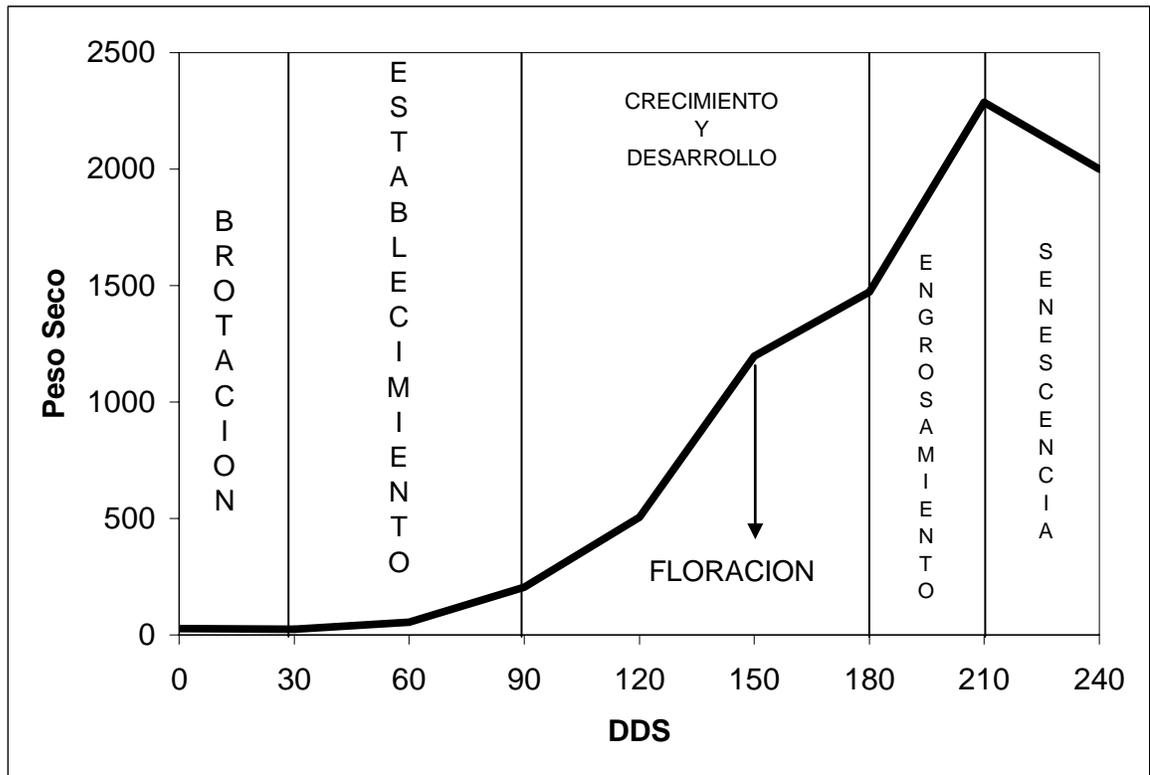


Figura 30. Fenología de un ciclo productivo del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*), con el manejo convencional realizado en la finca de don Rogelio, El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Al observar tanto los índices fisiológicos como morfológicos analizados anteriormente, se pueden definir etapas de crecimiento del cultivo para las condiciones específicas del estudio, las cuales se ubican en el siguiente orden:

Fase de brotación: Tiene una duración de 15 a 30 días después de siembra, durante esta etapa se ubica la brotación de raíces, tallos y primeras hojas. Toda la actividad ocurrida en esta fase es generada por las reservas que posee la semilla. De ahí la importancia de una buena selección y manejo de las mismas.

Fase de establecimiento: Comprende de los 30 a los 90 días después de siembra, la planta incrementa su biomasa para prepararse para su máximo crecimiento, por lo que el aumento de área fotosintética es esencial. En esta etapa la planta subsiste en parte de los nutrientes que posee la semilla, debido a que aquí es cuando se empiezan a desarrollar las raíces, por ende, se empieza a dar absorción (Figura 13).

Fase de crecimiento y desarrollo: Esta etapa ocurre entre los 90 y los 180 días después de siembra. Para esta fase se da la mayor actividad fisiológica, ya que es donde aumenta la biomasa con el crecimiento de tallo, hojas y raíces (absorbentes y de tuberosas), por ende podría considerarse como la fase de mayor necesidad nutricional de la planta. En esta etapa se da el máximo desarrollo de estructuras esenciales para la sobre vivencia, tales como raíces absorbentes y hojas. Este desarrollo continúa de una forma más acelerada en los primeros días de esta fase, con una tendencia a la disminución en los días finales ya que la planta ha logrado alcanzar su máximo potencial y se prepara para propagarse y acumular reservas. Durante la fase de crecimiento y desarrollo se da la floración, esta ocurre cerca de los 150 días después de la siembra. Aquí la planta reduce su actividad metabólica y se enfoca en la labor natural de la reproducción sexual. En lo que respecta al factor nutricional la planta atenúa su actividad aunque la absorción continúa en menor nivel, véase figura 19 y 21.

Fase de engrosamiento: Esta fase comprende de los 210 días a los 240 días dependiendo de las condiciones climáticas, esto debido a que en épocas secas la planta tiende a deshidratarse por lo que la acumulación de reservas se frena (El-Sharkaway 1984). En esta etapa se ubica la mayor traslocación de nutrimentos a las raíces de tuberosas (yuca), véase figura 12, 19 y 29.

5.4. Cuantificación de la absorción de nutrientes.

Al realizar el análisis químico de las muestras de biomasa se determinó la concentración de nutrientes para la planta de yuca (*Manihot esculenta*) en todo el ciclo de crecimiento. Los resultados se agruparon en macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S) y microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn, B).

5.4.1. Macroelementos

5.4.1.1. Concentración

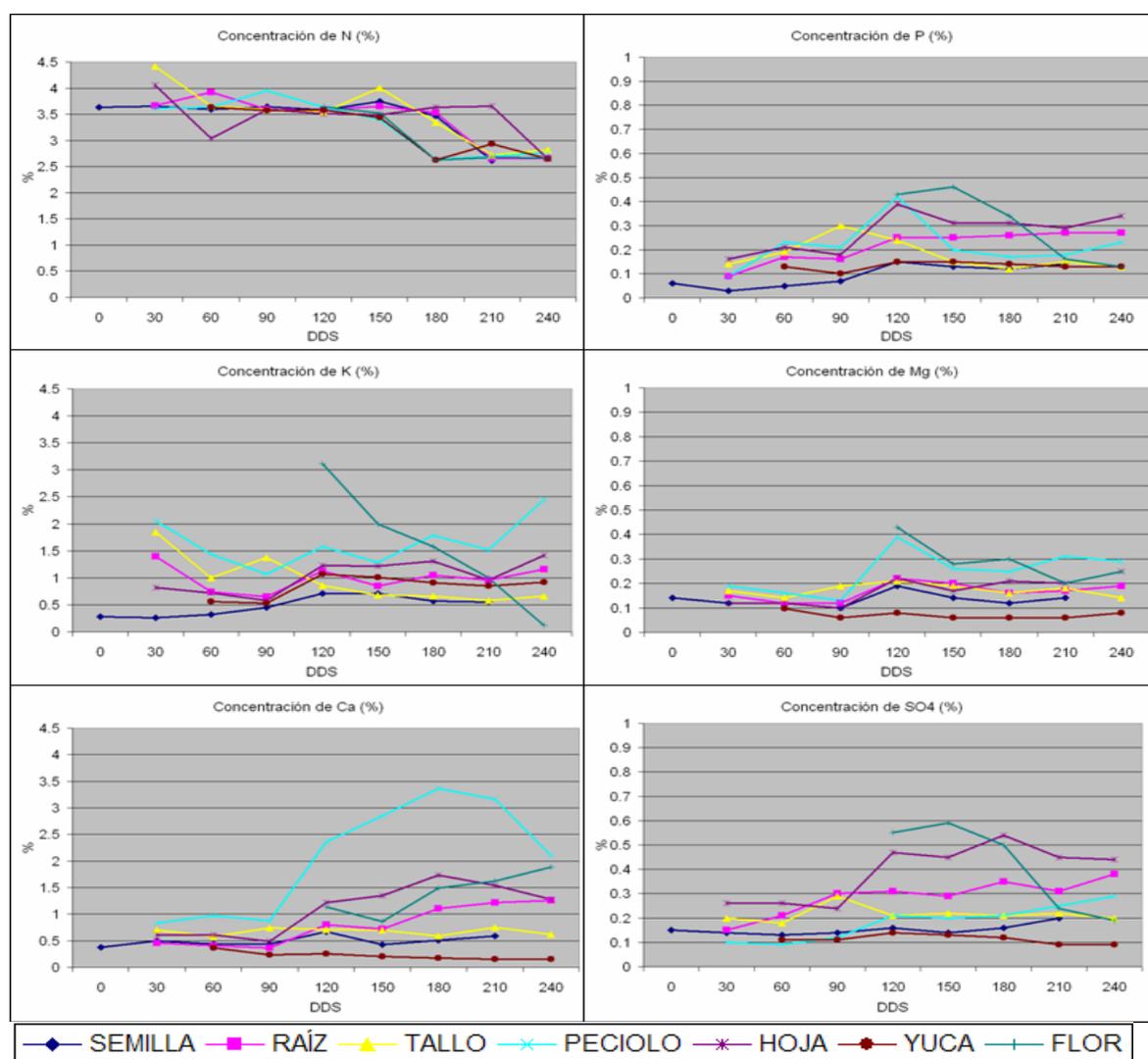


Figura 31. Concentración de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En la figura 31 se observa el comportamiento que tiene la concentración de los nutrientes en las diferentes estructuras de la planta. Se muestra también que las concentraciones son poco variables para todos los elementos a lo largo de todo el ciclo de la planta. Siendo el calcio el que tiene un poco más variable la concentración. Es notorio que la concentración de calcio en las hojas a partir de los 90 DDS, tiene un considerable aumento. Esto se podría deber a que la planta esta en pleno desarrollo y crecimiento de biomasa a partir de este mes, según se mostró en la figura 12. Debido a esto, se podría suponer que las hojas se empiezan a endurecer, ya que ellas se están haciendo más pesadas. Esto se evidencia con la reducción del área foliar específica a los 90 DDS (Figura 18). Considerando que el rol del calcio es estructural (pues forma parte de la lámina media de las paredes celulares), es de esperar que la planta envíe más calcio a las hojas, lo cual lo hace más rígido conforme la planta crece.

Sin embargo, observando la tendencia general de los nutrientes, se nota que todos aumentan la concentración (unos más marcados que otros) a los 90 DDS, que precisamente coincide con el comienzo de la etapa de desarrollo de la planta (Figura 30).

En el caso del nitrógeno, la tendencia de la concentración es poco variable hasta los 180 DDS. En este período (de 0 a 180 DDS) el nitrógeno en las hojas y el tallo mostró una disminución a los 60 DDS. Este comportamiento refuerza la tesis de que en los primeros meses la planta esta dependiendo de los nutrientes que tiene la semilla. La planta tiene una alta tasa de producción de biomasa aérea (tallos y hojas en este momento), por lo que el nitrógeno sufre un efecto de dilución.

A los 90 DDS se ve que la concentración de nitrógeno aumenta muy levemente. (Figura 31). Se podría suponer que es en este momento cuando las raíces inician la absorción. Ya que las raíces se multiplicaron y pasaron de 6 a 26 gramos (Figura 13)

De los 90 a los 150 DDS la concentración de nitrógeno se mantiene casi constante para todas las estructuras (aumenta muy levemente). Este intervalo de tiempo coincide con la etapa de desarrollo de la planta de yuca (Figura 30). Por lo que se puede deducir (como el nitrógeno es el componente fundamental de todas las moléculas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal), que la planta está desarrollándose o creciendo en todas sus estructuras.

A partir de los 180 DDS la concentración de nitrógeno en las estructuras empieza a disminuir. Esta disminución en la concentración de nitrógeno coincide con la disminución de la Razón de Área Foliar (Figura 15). Además coincide con una disminución en el Índice de Área foliar (Figura 14). Por lo que podría decir que al haber menos área fotosintética las concentraciones de este nutriente van a tender a disminuir; esto coincide con la etapa de engrosamiento de las raíces productivas (Figura 30). Por lo tanto al no estar la planta en su etapa de crecimiento o desarrollo, el área fotosintética tampoco está creciendo, por ende la concentración de nitrógeno disminuye.

La tendencia del resto de los macronutrientes tiene un comportamiento similar. Lo que es más significativo es la valoración general de las tendencias en la concentración en cada estructura. Por ejemplo, el calcio se considera un nutriente inmóvil. Sin embargo en la figura 31 se nota que la concentración aumenta en la flor. Todas las demás estructuras disminuyen. Lo que hace pensar que: los nutrientes móviles llegan a la estructura, ayudan en su desarrollo, y cuando ya no se ocupan generalmente migran a sitios donde pueden ocuparse.

Otro ejemplo lo forma el fósforo. Este nutriente es muy estable los primeros 90-120 DDS, luego aumenta hasta un nivel alto en que tiende a estabilizarse. Esto es más notorio en las hojas. Hay que tener presente que de los 120 a los 210 DDS se da una alta tasa de decrecimiento; los parámetros morfológicos y fisiológicos indican que en este período la planta tiene una alta tasa de producción y transporte de asimilados. Además, se debe considerar el rol del fósforo a nivel de fisiología (procesos de transferencia de energía, transporte activo). (Figura 31).

Se debe observar, que este comportamiento se da con la misma tendencia en el caso del azufre y el magnesio, por lo que se pueden señalar dos fases:

- Pre poda: Se encuentra la etapa de establecimiento.
- Pos poda: crecimiento y engrosamiento.

Cuadro 19. Comportamiento general de la concentración de nutrientes antes y después de la poda. El Tanque de La Fortuna de San Carlos 2003-2004

Nutriente	Antes de poda	Después de poda
N	+	-
P	-	+
K	-	+
Ca	-	+
Mg	-	+
S	-	+

Negativo: ligera disminución en la tendencia.

Positivo: aumento en la tendencia.

El cuadro 19 se divide la tendencia de la concentración en dos etapas. La primera ocurre antes de la poda, la segunda después de la poda. Antes de la poda el comportamiento, o mejor dicho la tendencia de los nutrientes es la de una ligera disminución, a excepción del nitrógeno. Después de la poda (90 DDS) la tendencia de los nutrientes es la de aumentar, para después mantenerse casi constante la concentración en los macronutrientes.

En el caso del magnesio se ve que también sufre la misma tendencia al ser muy poco variable a lo largo del ciclo del cultivo, siendo a partir de los 90 DDS cuando sufre un ligero aumento, a igual que los anteriores elementos.

La figura 31 muestra como el azufre tiene un poco más de variabilidad que los demás elementos. Sin embargo, si se observa la escala a la que se encuentra la figura se aprecia que las cantidades en las que varía la concentración no son muy grandes, y que aparte de las hojas las demás estructuras mantienen la misma tendencia en concentración que los demás elementos.

5.4.1.2. Absorción

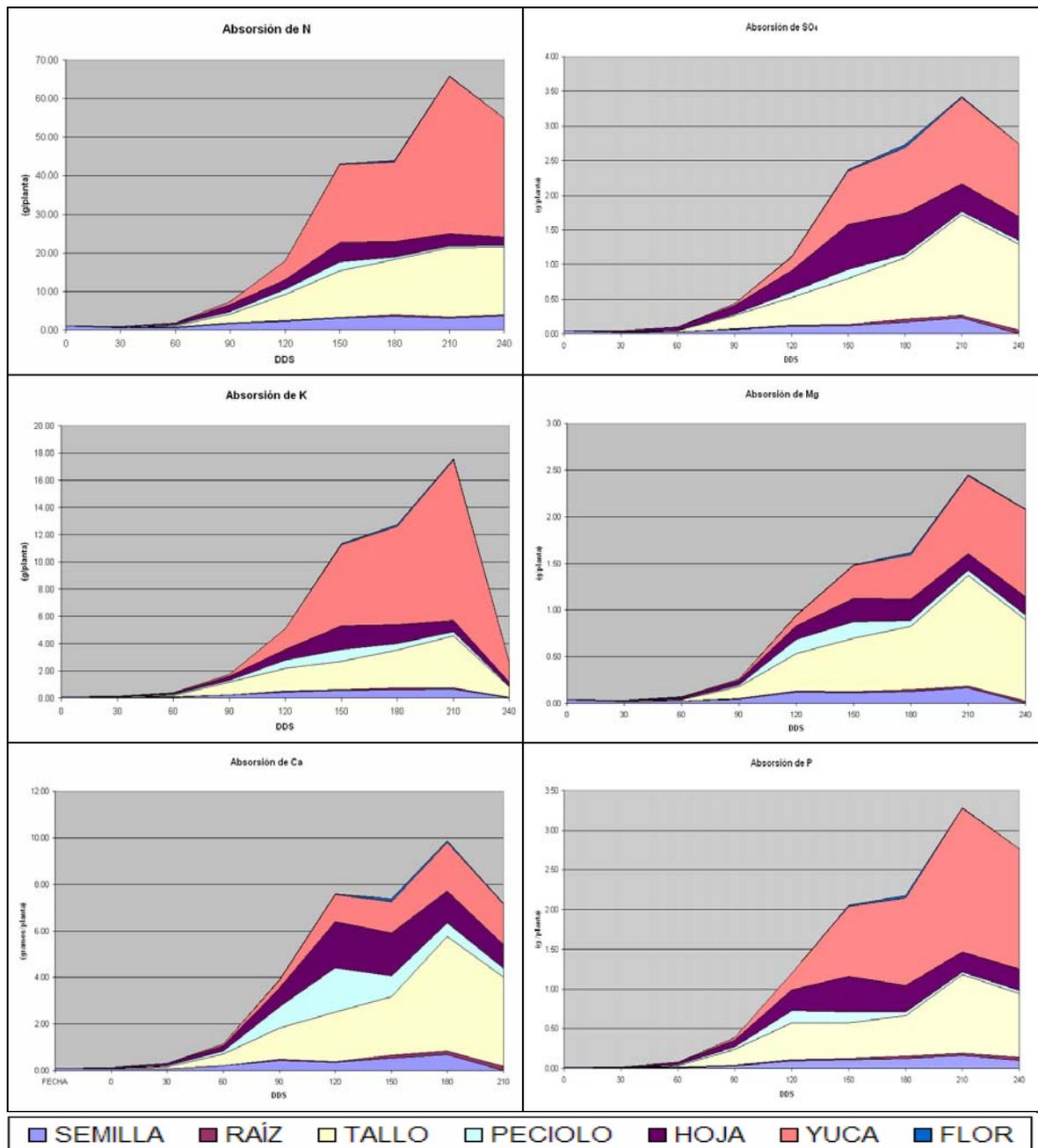


Figura 32. Absorción de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

La figura 32 muestra la tendencia de la absorción de los macroelementos en la yuca en un sitio productivo. Si se considera que la variación temporal de la concentración es baja, esta tendencia sigue el mismo patrón de la acumulación de biomasa, puesto que una curva de absorción de nutrientes se construye relacionando el peso seco de la planta (biomasa acumulada) con la concentración de nutrientes (Bertsch 1995). Si se ve desde el punto de vista de demanda de nutrientes, es lógico suponer que a mayor biomasa, mayor cantidad de nutrientes absorbidos.

Es a partir de los 60 DDS cuando la absorción empieza a aumentar. Coincidiendo este punto justamente con la etapa de establecimiento, en la que se empiezan a desarrollar las raíces en las semillas. Se puede decir entonces, que antes de esta etapa la planta dependía únicamente de las reservas que tenía la semilla, como quedó demostrado en el análisis de los parámetros morfológicos y fisiológicos.

López (2002) menciona que la planta depende en sus primeros 20 DDS exclusivamente de las reservas acumuladas en la semilla, lo cual coincide en parte con lo encontrado en este trabajo, ya que el análisis de los parámetros morfológicos y fisiológicos se demostró que la planta si depende solo de las reservas de la semilla, sin embargo no coincide en los días, puesto que en este trabajo se determinó que la planta depende exclusivamente de la semilla en los primeros 30 DDS y no en los 20 DDS como menciona López (2002).

A partir de los 90 DDS la absorción de los macronutrientes aumenta muy significativamente. Esto concuerda con el momento en que la planta entra en su etapa de desarrollo. Es en esta fase cuando se realizó la poda. Debido a esta práctica la planta estará manteniendo y desarrollando solamente un tallo, por lo que la planta se hace mas eficiente, ya que se está evitando que la planta desperdicie energía en el mantenimiento de otro tallo. Sin embargo el momento en que se realiza esta práctica no coincide con lo mencionado por Torres (2006). Ya que menciona que la poda debe realizarse entre los 30 a 45 DDS.

En la figura 32 se aprecia como la raíz tuberosa y el tallo son las dos estructuras con mayor absorción. Lo que coincide con las estructuras de mayor acumulación de biomasa, seguido por las hojas (Figura 12).

En el caso del calcio se aprecia que no son las raíces tuberosas ni el tallo los de mayor absorción, sino el tallo y las hojas. Sin embargo la absorción de este macronutriente mantiene la misma tendencia a aumentar conforme aumenta la biomasa de la planta (Figura 12).

A partir del mes de los 150 DDS el calcio tiene un comportamiento un poco diferente a los demás macronutrientes. Ya que hay una ligera disminución en la absorción de este elemento, (caso contrario a lo que ocurre con los demás elementos). Lo cual difiere de lo expuesto por Solórzano (1975). Ya que Solórzano propone que la absorción de calcio es lenta en los primeros meses, y luego aumenta en una forma casi constante, para disminuir en el último mes solamente en raíces y hojas.

En la figura 33, se puede observar como a los 150 DDS, la concentración de calcio sufre una pequeña disminución. Debido a esta situación (pues la absorción está directamente relacionada con la concentración) es que podríamos suponer que la absorción de calcio disminuye.

Dempsey et al (1972) propone que en la raíces y hojas la acumulación de calcio cesa a partir de los 90 DDS, y caso contrario ocurre en el tallo donde la acumulación continúa. Lo cual no coincide con lo encontrado en este experimento, ya que la absorción de calcio no cesa en raíces y hojas, y es más bien a partir de los 90 DDS cuando hay mayor absorción de calcio, puesto que en este mes la planta se encuentra en la etapa de desarrollo, por ende la etapa de mayor demanda de nutrientes. En el caso del tallo lo propuesto por Dempsey *et al* (1972) si concuerda con lo encontrado en este experimento.

Solórzano (1975) propone que una hectárea de yuca (*Manihot esculenta*), variedad Valencia extrajo un total de 138.2 kg/ha de calcio, lo cual es muy parecido a lo obtenido en este experimento, en donde se obtuvo que una Hectárea de yuca extrae 139 kg/ha de calcio.

Solórzano (1975) propone que la mayor absorción de potasio se da en los primeros cinco meses de crecimiento activo de la planta de yuca (150 DDS), debido a la exigencia de la planta en este periodo el cual corresponde al periodo de mayor crecimiento de la planta de yuca. Lo cual concuerda con lo mostrado en las figuras 30 y 32, en donde estos primeros 5 meses coinciden con las etapas de mayor crecimiento y por ende de mayor absorción.

El CIAT (1981) propone que la mayor parte del potasio absorbido se encuentra en las hojas, y que para el último mes lo acumula muy lentamente, y que en tallos y raíces disminuye su contenido de potasio en el último mes. Esto no coincide con lo mostrado en la figura 32, donde se muestra como es la raíz tuberosa es la que tiene la mayor absorción de potasio, sin embargo si coincide en que el tallo y las raíces disminuyen la absorción a los 240 DDS.

Solórzano (1975) encontró que una hectárea de yuca de la variedad Valencia extrae 245.9 Kg./ha de Potasio. En este experimento en cambio, se encontró que una hectárea de yuca de la misma variedad extrae 243.6 kg/ha de potasio. Siendo este dato muy similar a lo reportado por Solórzano (1975). El CIAT (1981) en cambio, reporta que la yuca extrae 126 kg/ha de potasio, con un rendimiento de 43 ton/ha de yuca, sin embargo, lo obtenido en este experimento fue 243.6 kg/ha con un rendimiento de 22.4 ton/ha de yuca. Como se puede apreciar el CIAT (1981) requiere menos cantidad de potasio para producir mayor cantidad de yuca. Sin embargo el rendimiento reportado en este trabajo es una proyección basados en los últimos datos de peso fresco obtenidos., ya que debido al buen precio que existía en el momento el productor cosechó antes de realizar el último muestreo

Un informe presentado por el CIAT en 1981 propone que la planta de yuca es ineficiente para absorber P, lo cual concuerda con lo mostrado en la figura 32, donde muestra que la absorción de fósforo es muy baja.

Solórzano (1975). reporta que el P se acumula lentamente en los dos primeros meses después de sembrada la yuca (60 DDS), para que luego haya una acumulación de un 40% mensual. Para cesar durante los 210 – 240 DDS. Lo que concuerda en parte a lo encontrado en este trabajo. Ya que se obtuvo que a los 60 DDS una planta de yuca absorbe el 2% de fósforo (Figura 33), lo cual concuerda con Solórzano, sin embargo Solórzano reporta que después de los 60 DDS la acumulación de P es de un 40% mensual. Lo cual difiere de lo encontrado en este trabajo, ya que después de los 60 DDS se acumuló un 16% promedio mensual habiendo meses en que se acumularon hasta un 34% max. Y un 4% como min. Además, a los 210 – 240 DDS es en donde se encontró que se absorbe un 34% del total, por lo que no concuerda con lo dicho por Solórzano.

Para el quinto mes el tallo acumula un 13% del total de P absorbido (Figura 33). Lo que no concuerda con lo propuesto por Solórzano, en donde presenta que a los 150 DDS el tallo deja de acumular fósforo. A los 240 DDS el tallo disminuye su acumulo de fósforo, no así la hoja, la cual contrariamente aumenta su acumulación. Siendo esto un poco contradictorio a lo propuesto por Solórzano (1975), donde propone que en el último mes el tallo y las hojas disminuyen su contenido de fósforo.

Solórzano (1975) propone que en a los 150 – 240 DDS el cultivo de yuca muestra una absorción reducida de fósforo, la cual concuerda con la fase de acumulación de carbohidratos de la planta. Esto no concuerda con lo encontrado en este trabajo, ya que se encontró que esta absorción reducida se da a los 210 – 240 DDS.

En este trabajo se encontró que para obtener 22.4 ton/ha de yuca se extrajeron 45.4 kg/ha de fósforo (P), sin embargo el CIAT (1981) reporta que para obtener 43 ton/ha de yuca se extrajeron 21 kg/ha de fósforo (P). Sin embargo Solórzano (1975) reporta extracciones de 39.5 Kg/ha de P. siendo aún así diferente a lo encontrado en este experimento.

Si se observa la tendencia general de la absorción de todos los nutrientes podemos ver como la mayor absorción se da entre los 120 y 210 DDS. Esto difiere de lo que Howeler y Cadavid (1983) dicen, ya que estos autores señalan que la mayor absorción se da entre los 60 – 120 DDS. Además, los resultados de este experimento demostraron que el período de mayor absorción se da en la etapa de desarrollo (120 a 150 DDS) (Figura 32). Sin embargo Howeler y Cadavid (1983) también reportan que es a partir de los 180 DDS cuando la absorción empieza a bajar, lo cual según nuestros datos es a partir de los 210 DDS cuando se reduce la tasa de absorción.

Cuadro 20. Absorciones totales de nutrientes para 1 tonelada de yuca propuestas por Bertsch (2003) y absorciones actuales encontradas en este estudio, para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta*). El Tanque de la Fortuna de San Carlos 2003-2004

Nutriente	Kg/ha	
	Bertsch (2003)	Datos actuales del estudio
N	5.1	40.1
P	0.6	2.0
K	5.2	10.9

Bertsch (2003) propone un promedio de absorción de N, P, K que tiene una planta de yuca para obtener 1 tonelada de yuca (cuadro 12), si comparamos las absorciones propuestas por Bertsch (2003) con las absorciones obtenidas en este trabajo, vemos que las absorciones totales para N, P, K son mucho mas altas que las reportadas por Bertsch (2003), la tendencia de estas absorciones tampoco son iguales, ya que en este estudio se determinó que el elemento de más absorción es el nitrógeno, seguido por el potasio y de último el fósforo, lo cual no concuerda con lo propuesto por Bertsch (2003) ya que propone que es el potasio el elemento de mas absorción, seguido por el nitrógeno y de último el fósforo (cuadro 20).

La raíz tuberosa tuvo una absorción de 5.3 de N, 0.2 de P y 1.3 de K, en Kg/ton, lo que es muy similar a lo obtenido por Bertsch (2003), ya que indica que la absorción de 1 tonelada de raíz tuberosa es de 1.4 de N, 0.4 de P y 2.0 de K en Kg/ton.

Estas absorciones nos demuestran que la diferencia de absorción radica en la parte aérea de la planta (datos con mayor variabilidad), por lo que indica que las plantas muestreadas tenían mas biomasa. Lo cual se puede explicar ya que los datos de absorción de Bertsch (2003) es el promedio de absorción de diferentes variedades, además, las condiciones agroquimatológicas como suelo, precipitación. Intensidad lumínica, etc... son diferentes a las de este estudio.

Asher *et al* (1980), consideran que el potasio es el macronutriente que se absorbe en mayor cantidad. Sin embargo, esta investigación revela que el elemento que más absorbió es el nitrógeno seguido por el potasio, calcio, azufre, fósforo y magnesio.

Asher *et al* (1980) proponen unas cantidades de macronutrientes que son requeridas para la producción de 30 ton de yuca, en donde el elemento de mayor absorción es el potasio, con 200 Kg seguido por el nitrógeno con una extracción de 164 kg/ha. Comparando esos datos con la absorción obtenida en este trabajo (aunque nuestro rendimiento sea de 22.4 ton de yuca/ha en peso fresco) se nota como la absorción es mayor a la citada por Asher *et al* (1980). ya que en nuestro estudio se obtuvieron absorciones de 899 Kg/ha de N y 243.6 Kg/ha de K.

Los resultados concuerdan con en el orden de absorción de los nutrientes reportados por el CIAT (2002), ya que indican que es el nitrógeno el nutriente mas absorbido, seguido por el potasio y en tercer lugar está el calcio. A pesar de estar de acuerdo en el orden de absorción de los macronutrientes, las cantidades difieren, probablemente porque las extracciones que propone ese autor no son para la variedad Valencia.

El CIAT (1981) propone que para un rendimiento de raíces tuberosas de 43 ton/ha hubo una absorción de 174 y 126 kg/ha de N y K respectivamente. Asher *et al* citado por el CIAT (2002) proponen que para un rendimiento de 30 ton de yuca, se extraen 200 Kg/ha de potasio (K), seguido por el nitrógeno con una extracción de 164 Kg/ha. Comparando esos datos con la absorción obtenida (cuadro 21) en nuestro estudio (aunque nuestro rendimiento sea de 22.4 ton de yuca/ha) se ve como la absorción es mayor a la citada por el CIAT. ya que en nuestro estudio se obtuvieron absorciones de 899 Kg/ha de N y 243.6 Kg/ha de K.

Por otra parte, los resultados concuerdan con el orden de absorción de los nutrientes reportados por el CIAT (2002) y CIAT (1981), ya que indican que es el nitrógeno el nutriente más absorbido, seguido por el potasio y en tercer lugar está el calcio. A pesar de estar de acuerdo en el orden de absorción de los macronutrientes, las cantidades difieren, probablemente porque las extracciones que propone estos autores no son para la variedad Valencia.

En la figura 33 se observan las absorciones totales de los macronutrientes, en donde se puede observar como el nitrógeno es el elemento de mayor absorción por parte de la planta. Seguido por el potasio. También se observa como a medida de que la acumulación de biomasa aumenta, aumenta también la absorción.

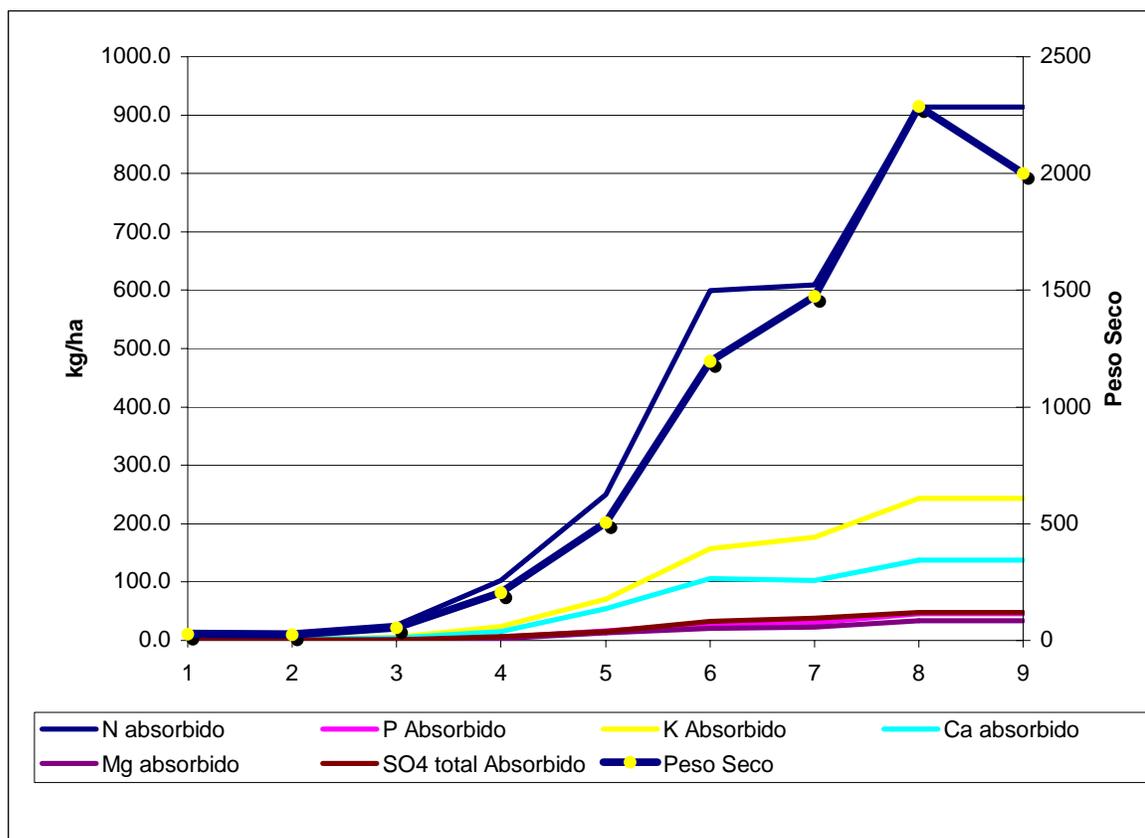


Figura 33. Absorción total de macroelementos (kg/ha) y acumulación de biomasa para una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

5.4.1.3. Momentos críticos de absorción

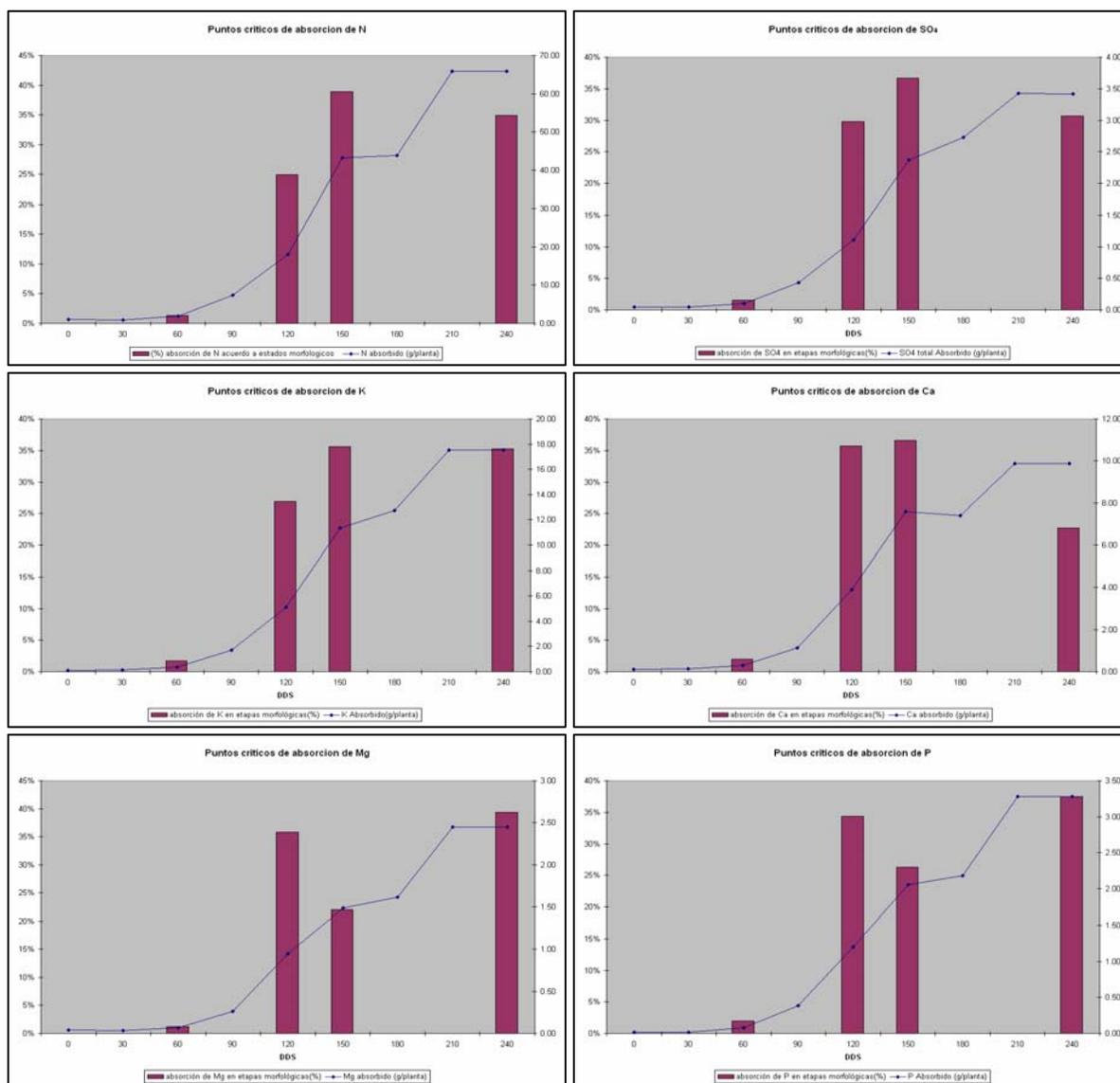


Figura 34. Momentos críticos de la absorción de macroelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En la figura 33 se señalan los momentos críticos de absorción de los macronutrientes. Esta figura pone en evidencia que la mayor parte (aproximadamente un 70%) de los macronutrientes se absorben en la etapa de desarrollo (Figura 30).

También se puede observar como el fósforo y el magnesio tienen la misma tendencia, la cual es un poco diferente a la de los otros macronutrientes. Al final de la etapa de desarrollo (150 DDS), el porcentaje de absorción de fósforo y magnesio tiende a disminuir, no así en los otros macronutrientes.

La absorción de N, SO_4 , y Ca en los momentos críticos es muy parecida, ya que al principio de la etapa de desarrollo (90 – 150 DDS) el porcentaje de absorción o la cantidad de nutrientes van de un 20 a un 35% y al final de esta etapa de desarrollo (150 DDS) aumentan. 180 – 240 DDS el porcentaje de absorción tiende a disminuir. Esta disminución concuerda con la etapa de engrosamiento (Figura 30).

El potasio sufre un comportamiento similar al N, SO_4 , y Ca . La diferencia del potasio radica en que en 180 – 240 DDS (etapa de engrosamiento) el porcentaje de absorción no disminuye tanto como estos nutrientes.

El magnesio y fósforo mantienen una tendencia igual. Siendo en la etapa de engrosamiento (180 DDS) cuando se da la mayor absorción.

5.4.2. Microelementos

5.4.2.1. Concentración

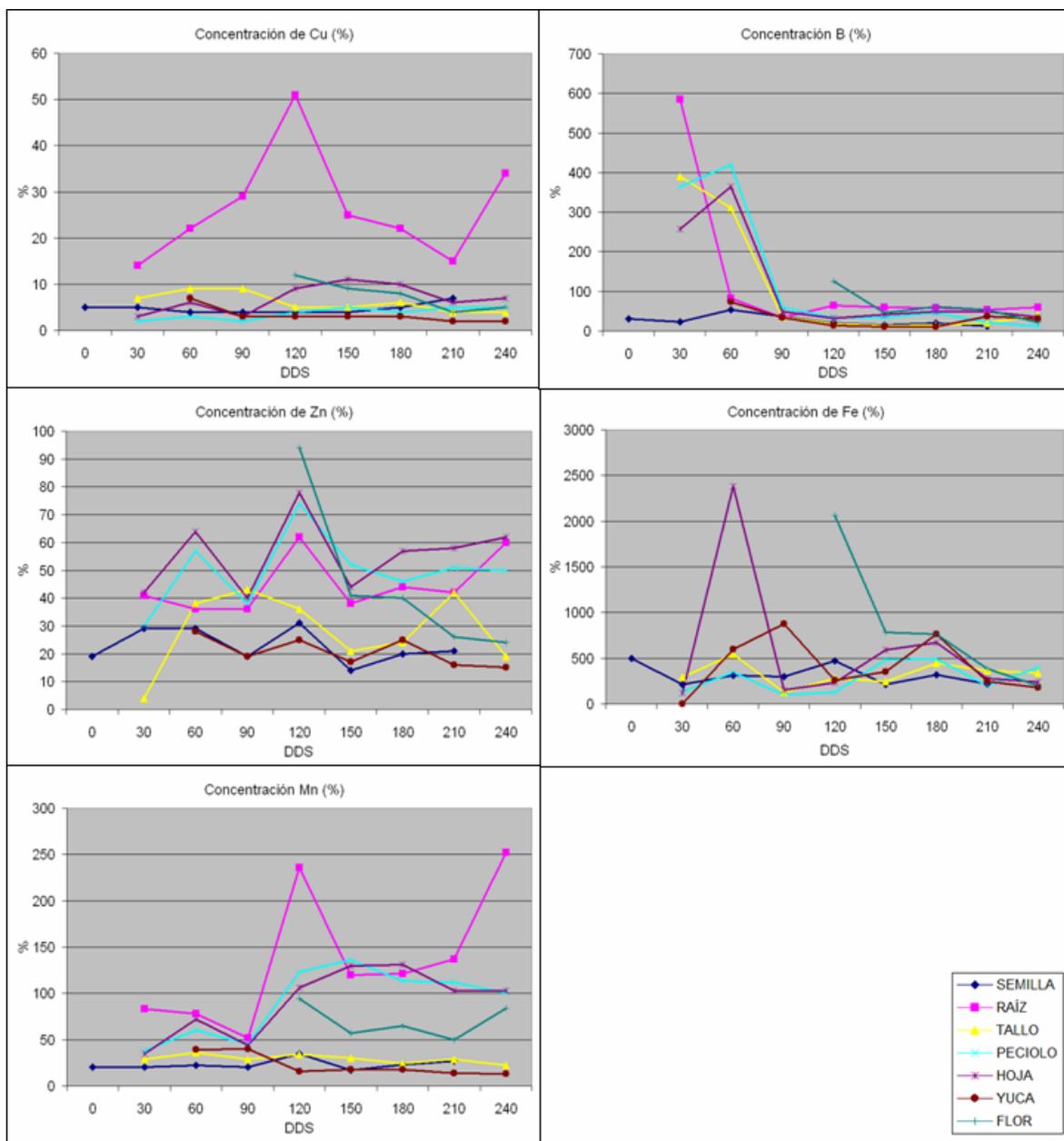


Figura 35. Concentración de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En el caso de los microelementos (Figura 34) se puede apreciar que a diferencia de los macronutrientes hay un poco mas de variabilidad. Sobre todo en la concentración de Zn. la cual, es variable a lo largo de todo el ciclo, principalmente en las hojas.

En la figura 34 las concentraciones de boro y al hierro son elevadas. En cuanto a estos micronutrientes puede darse contaminación de las muestras a la hora de realizar las determinaciones. En el caso del hierro, las yucas y raíces podrían haberse contaminado con residuos de suelo, a pesar de haberse lavado cuidadosamente.

En el caso específico del hierro en la figura 34 se nota como al principio la concentración de hierro aumenta, específicamente entre los 30 – 60 DDS. Después de los 90 DDS la tendencia en la concentración de hierro se mantiene casi constante a lo largo del ciclo de la planta. Lo mismo le sucede al boro. Después de los 60 DDS el boro baja su concentración hasta los 90 DDS. De los 90 DDS en adelante se mantiene prácticamente constante hasta el final del ciclo del cultivo.

El cobre se mantiene constante a lo largo de todo el ciclo del cultivo, en las hojas en donde se puede apreciar que el cobre varía. Esta variación se podría deber a que el cobre está presente en los cloroplastos, participa en la fotosíntesis, y como la fotosíntesis ocurre en las hojas es en esta estructura la que tendrá mayor concentración de este cobre. El manganeso varía un poco la concentración a lo largo del ciclo de la planta.

5.4.2.2. Absorción

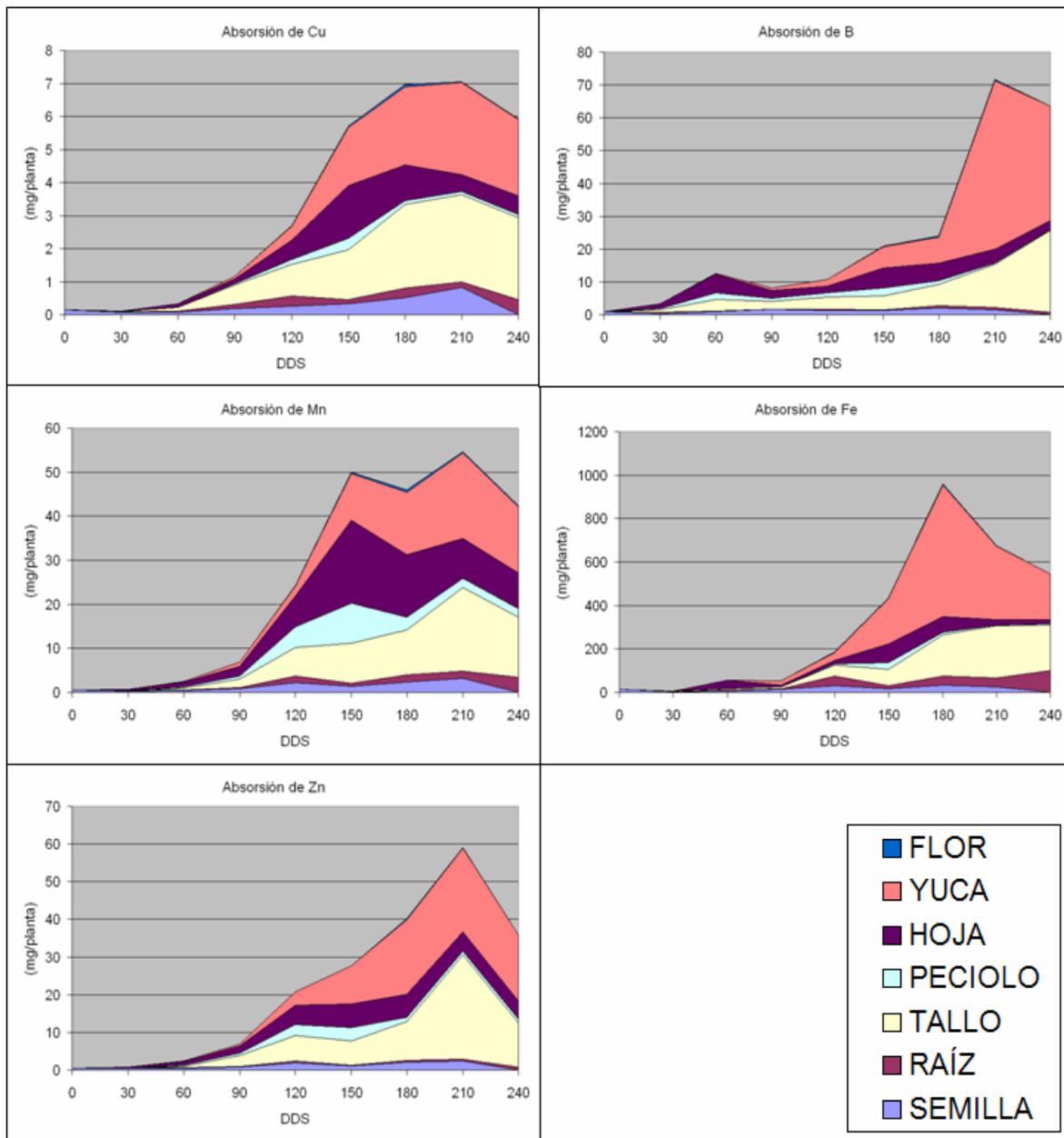


Figura 36. Absorción de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Debido a que la absorción está dada por el crecimiento de la planta y la concentración, la tendencia general de la absorción en la (Figura 35) es muy parecida a la tendencia que tiene el crecimiento de la planta. (Figura 30).

El manganeso tiene una tendencia diferente a la de los otros micronutrientes. Debido a que las concentraciones de este micronutriente son un poco variables (Figura 34). La absorción de manganeso en las hojas, tallo y yuca es muy parecida. El comportamiento de manganeso difiere al de la acumulación de biomasa porque las concentraciones son muy variables.

En los otros microelementos la absorción concuerda con el gráfico de acumulación de biomasa, o sea crecimiento.(Figura 30)

La baja absorción de micronutrientes obtenidas en este estudio concuerdan con lo dicho por Asher *et al* (1980), quien expone que la yuca absorbe una muy pequeña cantidad de micronutrientes, los cuales sin embargo no dejan de ser importantes. La diferencia de los micronutrientes y los macronutrientes es que los micros se pueden suplir mediante aplicaciones foliares mas fácilmente. Además los micronutrientes están formados por metales que forman parte de insecticidas y fungicidas, por lo que mediante aplicación de estos productos se pueden suplir o con la concentración de estos en la solución del suelo. Si la plantación presentara un síntoma de deficiencias de estos elementos (como lo dice Howeler) pueden ser restituidos mediante aplicaciones de un foliar multimeneral y ayudarnos con la aplicación de productos como fungicidas o insecticidas si fuera el caso.

5.4.2.3. Momentos críticos de absorción

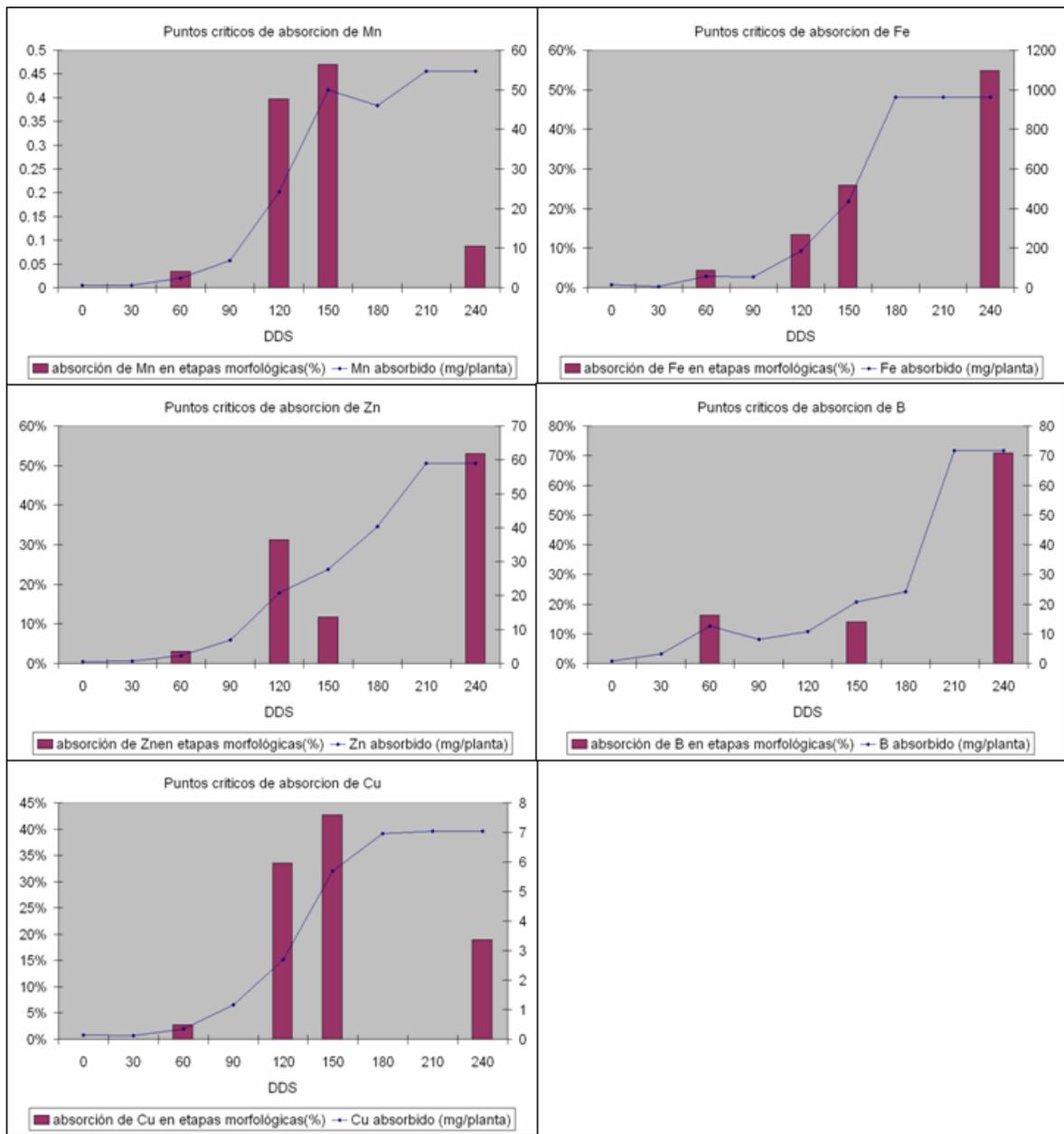


Figura 37. Momentos críticos de la absorción de microelementos en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

En la figura 36 se aprecia los momentos críticos de absorción de los micro elementos. Se observa como el Cu y el Mn tienen un comportamiento similar, donde aproximadamente el 80% del total absorbido de estos micronutrientes se da en dos momentos crítico, uno a los 120 DDS y el mayor a los 150 DDS. Lo que concuerda con el final de la etapa de desarrollo. El primer momento crítico es el más pequeño. A los 240 DDS el porcentaje de absorción disminuye. Estos gráficos dejan en evidencia que la mayor cantidad de absorción se da a partir de la etapa de desarrollo y no al principio del ciclo.

La absorción del hierro, zinc y boro no se comporta igual a la de los otros micronutrientes. El mayor porcentaje de absorción de estos micronutrientes ocurre al final del ciclo del cultivo. Como la absorción depende del crecimiento y el crecimiento es el mismo, se supone que este cambio se debe a que en este momento hay mayor concentración de estos nutrientes en la planta.

5.5. Plan de fertilización.

El plan de fertilización se encuentra basado en las siguientes consideraciones:

- Absorción total: Es la absorción máxima mostrada por las plantas en el pico máximo de absorción (7° mes después de sembrado). Se podría considerar como la necesidad de nutrientes que tiene la yuca.
- Exportación de nutrientes del sistema (el cual comprende 13888.89 plantas/ha): Tomando en cuenta que la yuca es extraída del sistema, la exportación de nutrientes es la cantidad de nutrientes extraídos del sistema en las yucas.
- Retorno o reintegración: En el cultivo de la yuca los que se aprovecha es la raíz productiva, y que no todo el tallo es aprovechado para semilla. El retorno es la cantidad de nutrientes que se devuelven al sistema mediante las hojas, tallos, pecíolos, yuca no comercial y flor que se quedan en el sistema una vez que se cosecha.

- Eficiencia: Es la efectividad que va a tener un determinado fertilizante, tomando en cuenta factores como tipo de suelo y condiciones climáticas que van a afectar de una u otra forma la aplicación.

Cuadro 21. Generalidades que se toman en cuenta para realizar una recomendación de fertilización.

	N	P	K	Ca	Mg	SO ₄
Absorción Total (kg/ha)	899	45,4	243,67	139,98	34,03	47,50
reintegración al Sistema (Kg/ha)	473,5	2,43	11,16	8,11	24,86	2,53
Exportación del Sistema (Kg/ha)	339	11,56	88,72	27,28	9,17	12,31
Eficiencia	60%	30%	70%	99%	99%	99%
Demanda de Fertilizante Kg/Ha (N, P ₂ O ₅ ...)	564,55	88,27	152,10	38,58	15,38	12,44

Cuadro 22. Porcentaje de absorción de nutrientes de acuerdo a cada una de las etapas del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*). El Tanque de La Fortuna de San Carlos 2003-2004

% de absorción en las etapas de crecimientos						
	N	P	K	Ca	Mg	SO ₄
Brotación	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Establecimiento	1%	2%	2%	2%	1%	2%
Desarrollo 1	25%	34%	27%	36%	36%	30%
Desarrollo 2	39%	26%	36%	37%	22%	37%
Engrosamiento	35%	37%	35%	23%	39%	31%

En el cuadro 21 se observa la absorción total de cada elemento que tuvo la planta de yuca en el estudio.

Por tanto, al final de todo el ciclo del cultivo, se tendría que suplir nada mas la exportación que se hizo de nutrientes, tanto en forma de yuca como la semilla. Por consiguiente las necesidades del cultivo de yuca en este estudio y en estas condiciones se pueden apreciar en el cuadro 21

En cuanto a la eficiencia, la cual se puede observar en el cuadro 21, se indica que para el caso del nitrógeno se toma una eficiencia del 60% debido a que la zona es de alta precipitación por lo que se puede lixiviar. Para el caso del fósforo, se tomó una eficiencia de 30% debido a que la probabilidad de fijación es alta por ser suelos volcánicos, en el potasio tomamos una eficiencia de 70%, ya que este elemento se lixivia en suelos ácidos, y cuando hay presencia de fertilizantes amoniacales porque compiten con el K por la posición de fijación.

En el cuadro 21 también se puede apreciar las unidades de fertilizante Kg/ha, en donde se hace referencia a la forma en que se mezclan los fertilizantes (N, P₂O₅, K₂O...)", tomando en cuenta la eficiencia de la aplicación para poder suplir las necesidades de cada nutriente, o en este caso la cantidad del elemento puro extraemos del sistema.

En el cuadro 22 se aprecian los porcentajes de absorción de cada nutriente en las diferentes etapas de crecimiento que tiene la yuca.

A partir de esta tendencia en la demanda se proponen 3 posibilidades de manejo de la nutrición:

1.) Desde el punto de vista agronómico y para las condiciones en que se elaboró este estudio, se debería fraccionar la fertilización en 4 partes, de acuerdo al porcentaje de absorción de cada nutriente en las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de yuca (Figura 30). Por lo tanto se debe aplicar lo siguiente:

- A los 30 días después de sembrado aplicando 14 Kg/ha de 22.5-5.3-8-0.6-0-2.3 (CaO)-0.6 (S).
- A los 90 días después de sembrado aplicando 239 Kg/ha de 27-5.8-7.9-1.1-0-2.6 (CaO)-0.7 (S)
- Entre 120-150 días después de sembrado aplicar 328 Kg/ha de 31-3.2-7.6-0.5-0-2 (CaO)-0.6 (S)
- Entre 180 y 200 días después de sembrado aplicar 324 Kg/ha de 28-4.7-7.6-0.9-0-1.2 (CaO)-0.5 (S)
- Y como las necesidades de los elementos menores o micro elementos es muy baja el suelo lo puede suplir, sin embargo si realizáramos un análisis de suelo y mostrara que hay deficiencia de estos elementos se podrían suplir mediante la aplicación de un fertilizante foliar.

Cuadro 23. Necesidades a suplir en unidades de fertilizante en Kg/ha, de acuerdo a las dos etapas de mayor absorción para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta*), El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Etapa	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4
I (60-75 dds)	359,97	53,46	95,11	27,90	8,89	8,27
II (180 dds)	197	33	54	9	6	4

2.) Observando el cuadro 23 y tomando en cuenta que:

- En la etapa de establecimiento el porcentaje de absorción es bajo (Cuadro 22), lo que indica que la absorción o demanda de nutrientes en estas es muy poca o casi nada, podemos omitir esta etapa.
- La aplicación de fertilizante en cuatro etapas implicaría mayor mano de obra, por ende los costos de fertilización aumentarían.
- Las etapas de desarrollo y engrosamiento, las cuales son las de mayor demanda de nutrientes, se pueden tomar como una sola etapa y así poder aplicar una sola vez fertilizante en esta etapa.

Se recomienda fraccionar la fertilización en dos aplicaciones de fórmula ideal, para las condiciones específicas donde se realizó el estudio, además para que los costos de fertilización se disminuyan. Igualmente se recomienda aplicarla en las etapas de mayor demanda de nutrientes (desarrollo y engrosamiento), lo cual ayudará a bajar los costos relacionados con mano de obra, por lo tanto, el programa de fertilización con la fórmula ideal quedaría de la siguiente manera:

1. Aplicar entre 60-75 dds 558 kg/ha de 29-4.7-8-1-0-1.5 (CaO)-1(S) como fórmula ideal
2. Aplicar a lo 180 días después de sembrado 324 Kg/ha de 29-4.7-8-1-0-1.5 (CaO)-1(S)

Esto para suplir las necesidades que se expresan en el cuadro 23.

- 3.)** Dejando de lado las recomendaciones técnicas de fertilización y considerando las prácticas culturales o tradicionales de fertilización de la mayoría de los productores de yuca de la zona (la cual consiste en una única aplicación de fertilizante al suelo) se propone la aplicación de:
- 6 sacos de 50 kg de 10-30-10 + 150 Kg. de Urea a los 60 dds.
 - 16 sacos de 50 kg de 30-0-15 + 150 kg de Urea a los 100 dds.

6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este estudio se llega a las siguientes conclusiones

1. La yuca (*Manihot esculenta*) presenta 5 fases a lo largo de su ciclo productivo:
 - Brotación: 0-30 días después de la siembra (dds).
 - Establecimiento: 30-90 dds.
 - Desarrollo: 90-180 dds.
 - Engrosamiento: 180-210 dds.
 - Senescencia: 210-240 dds.
2. El producto comercial de la planta representa el 60% del total de la biomasa.
3. El Índice de Área Foliar (IAF) alcanza su máximo (2.75 m/m) a los 150 dds. y desciende a partir de la floración.
4. La Razón de Área Foliar (RAF) alcanza su máximo (43.5 cm²/g) a los 60 dds. y decae a medida que aumenta la biomasa de las demás estructuras.
5. La Razón de Peso Foliar (RPF) alcanza su máximo (0.37 g/g) a los 60 dds. y decae a medida que aumenta la biomasa de las demás estructuras.
6. El Área Foliar Específica (AFE) aumenta de forma abrupta en los primeros meses debido a la necesidad de la planta de generar suficiente area foliar para logra sustentar sus demandas a lo largo de su ciclo. Y decae de forma lenta hasta los 240 dds.

7. En las primeras etapas del cultivo (brotación – establecimiento) las hojas son más grandes y más pesadas en relación a la biomasa total de la planta que en las etapas subsiguientes.
8. Las plantas aunque reducen el área y el peso de las hojas a partir de la etapa de desarrollo, mantiene la producción de hojas.
9. La Razón de Peso Comercial (RPC) (K) alcanza su máximo (0.60 g/g) a los 210 dds., indicando que la fecha optima de cosecha se ubica entre los 210 y los 240 dds.
10. La Relación Raíces Hojas (RRH) tiene un valor de 1 para el periodo de los 60 a los 90 dds., a partir de ahí la biomasa de las raíces incrementa de tal forma que la relación alcanza su máximo (12 g/g) a los 210 dds.
11. La Relación Raíces Parte Aérea (RRPA) alcanza un valor de 1 en el periodo de los 120 a los 150 dds. y alcanzando su máximo valor (1.8 g/g) a los 210 dds.
12. La planta de yuca (*Manihot esculenta*) incrementa su biomasa durante todo el ciclo vegetativo.
13. El crecimiento absoluto de esta planta es continuo hasta la floración, punto a partir del cual atenúa su ganancia de biomasa hasta la senescencia.
14. Su crecimiento relativo es acelerado al inicio del ciclo (0-90 dds.) luego desciende paulatinamente hasta llegar a la senescencia.

15. La alta eficiencia de la planta de yuca y la gran capacidad de absorber nutrimentos de la solución del suelo hace que esta planta sea un cultivo altamente desgastante del suelo, por lo que la producción continua en una finca obliga a reintegrar los elementos extraídos por el cultivo para evitar una disminución en el rendimiento.
16. El cultivo de yuca es un gran extractor de nitrógeno del suelo, con una absorción total de 889 kg/ha, del cual un 55% es absorbido por las raíces tuberosas y el tallo.
17. La planta de yuca absorbe de un 1 a 2% de los nutrientes durante el periodo de 0 a los 60 dds..
18. El orden de absorción total (de mayor a menor) del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) es N, K, Ca, S, P y Mg.
19. En la etapa de desarrollo del cultivo, es donde se absorbe más del 50% de los nutrientes.
20. La planta de yuca (*Manihot esculenta*) tiene tres momentos críticos de absorción de nutrientes, a los 60 dds.; 120 dds y a los 150 dds..
21. La concentración de nutrientes en las diferentes estructuras de la planta de yuca (*Manihot esculenta*), se puede dividir en dos etapas, antes de la poda y después de la poda.

7. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta la información generada en este estudio se expresan las siguientes recomendaciones:

1. Implementar la rotación con cultivos que aporten nitrógeno como las leguminosas o cultivos que por su manejo intensivo en fertilización aporten nutrientes.
2. Realizar un estudio sobre la valoración del efecto de la poda de tallos secundarios y la época de realización de la misma, para lograr optimizar la producción de biomasa.
3. Valorar diferentes cantidades de fertilizantes para determinar la dosis que encuentre el punto de equilibrio entre costo/beneficio.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, E. 1999. Guía del Cultivo de yuca (*Manihot esculenta*). San José, CR, M.A.G. s.p

Angulo, M. (2001), Épocas críticas de control de malezas en yuca (*Manihot esculenta*) en la Región Atlántica de Costa Rica. Tesis Bach. Ing. Agr. IICA. 42 p.

Asher, CJ; Edwards, DG; Howeler, RH. 1980. Desordenes nutricionales de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Cali, CO, CIAT. 48 p.

Barceló, J. et al. 2001. Fisiología vegetal. Madrid, ES, Ediciones Pirámide. 566p.

Belloit, A; Schoonhoven, A. 1978. Plagas de la yuca y su control. Cali, CO, CIAT. 73 p.

Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157p.

_____. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307p.

Cadavid, LF. 2002. Fertilización del cultivo de yuca. Cali, CO, CIAT. *In*. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, CO, CIAT. p. 76-103

Ceballos, H. 2002. La Yuca en Colombia y el mundo: Nuevas perspectivas para un cultivo milenario. Cali, CO, CIAT. *In*. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, CO, CIAT. p. 1-13

CIAT (Centro de Investigación de Agricultura Tropical, CO). 1981. Informe programa de yuca. Cali, CO. 268p.

_____. 2001. Yuca mejorada (en línea) Cali, CO. Consultado 15 jun. 2005 Disponible en http://www.ciat.cgiar.org/improved_germplasm/germoplasma/yuca.htm

Dempsey, AH. et al. 1972. A literature Review and Research Recommendation on Cassava (*Manihot esculenta*). US, University of Georgia Team. 325 p.

Descripción de las enfermedades de la yuca: Guía de estudio. 1980. Cali, CO, CIAT. 35 p.

Domínguez, C. 1981. Morfología de la planta de yuca: Guía de estudio. Cali, CO, CIAT. 44 p.

Enciclopedia práctica de la Agricultura y la Ganadería. 1999. Madrid, ES, OCEANO. 1032 p.

Quirós Redondo, E. 2003. Fenología y Absorción de nutrientes en tres variedades y un híbrido de cebolla (*Allium Cepa*) en la Región Norte de Cartago. Tesis Lic. Ing. Agr. Santa Clara, CR, ITCR. 94 p.

FAO (Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT); FIDA (Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, IT). 2000. La Economía Mundial de la Yuca. Roma, IT, s.e. 59 p.

Hidalgo, E; Somarribas, T; Leitón, M. 1997. Análisis del Estado Actual del “Cuero de Sapo” (complejo viral) y la Tecnología Empleada por los Productores de Yuca en la Región Huetar Norte de Costa Rica. Seminario de Tesis Lic. Ing. Agr. Santa Clara, CR, ITCR. 103 p.

Howeler, RH. 1981. Nutrición Mineral y Fertilización de la Yuca. Cali, CO, CIAT. 55 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 1999. Redacción de referencias bibliográficas: Normas técnicas del IICA y el CATIE. 4 ed. Turrialba, CR. 40 p.

IITA (International Institute of Tropical Agriculture, ZA) s.f. The cassava plant. (en línea). Sub-Saharan, ZA. Consultada 15 jun. 2005. Disponible en http://www.iita.org/info/trn_mat/irg55/irg551.html

Infoagro.com, CR. c2006. Servicios de Información de Mercados (en línea). San José, CR. Consultado 25 jun. 2006. Disponible en <http://www.mercanet.cnp.go.cr/PHP/Ferias/Ferias2.php>

López, J. 2002. Semilla vegetativa de la yuca. Cali, CO, CIAT. *In*. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, CO, CIAT. p. 49-75

Lozano, JC. 1977. Producción de materiales de siembra de yuca. Cali, CO, CIAT. 28 p.

_____. 1983. Problemas en el cultivo de yuca. Cali, CO, CIAT. 205 p.

Mejía de Tafur, MS. 2002. fisiología de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) . Cali, CO, CIAT. *In*. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, CO, CIAT. p. 34-45

- Montaldo, A. 1972. Cultivo de Raíces y de Tubérculos Tropicales. Lima, PE, IICA. 284 p.
- Navarro, F. 1983. La yuca. San José, CR, MINAE. 30 p.
- Ospina, F; García, ML; Alcalde, CA. 2002. Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de la yuca. Cali, CO, CIAT. *In*. La Yuca en el Tercer Milenio: Sistemas Modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Cali, CO, CIAT. p. 326-339.
- Rodríguez, W. 1994. Las Raíces y Tubérculos Tropicales como Alternativa de Producción en Costa Rica. Estación Experimental Fabio Baudrit M. (Boletín Técnico) 27 (1): 67-79.
- Sancho, H. 1999. Curvas de Absorción de Nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización. p. 11-13 (Informaciones agronómicas no. 36)
- Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. 1999. Diccionario de Ciencias Hortícolas. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 605 p.
- Solórzano, VN. 1975. Efectos del cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) sobre los nutrientes del suelo. s.n.t. 87 p.
- Toro, JC; Atlee, C. 1981. Prácticas Agronómicas para la producción de yuca. Cali, CO, CIAT. 149 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Peso seco promedio de las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Peso seco de las muestra								
Muestreo	Raíz	Raíz Productiva	Semilla	Tallo	Peciolo	Hojas	Flor	Peso Seco Total
1	0,00	0,00	28,60	0,00	0,00	0,00	0,00	28,60
2	0,76	0,00	15,15	1,78	0,94	5,63	0,00	24,25
3	1,73	2,21	18,54	11,19	4,68	15,92	0,00	54,25
4	4,33	24,30	44,45	67,03	14,30	49,53	0,00	203,93
5	5,96	138,93	64,28	190,54	38,16	66,41	1,16	505,44
6	5,13	589,70	82,55	302,20	67,15	145,23	3,50	1195,45
7	13,08	790,58	103,13	423,83	26,55	107,58	8,40	1473,13
8	11,75	1386,85	116,78	658,15	18,35	88,25	5,75	2285,88
9	13,73	1162,93	104,80	619,45	18,40	78,88	1,95	2000,13

Anexo 2. Concentración total de nitrógeno obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Concentración de N-Total/planta (%)								
Fecha Muestreo	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	Total
Oct-03	3,64							3,64
Nov-03	3,66	3,67	4,42	3,61	4,06			19,42
Dic-03	3,59	3,921	3,66	3,63	3,04	3,63		21,471
Ene-04	3,65	3,59	3,59	3,95	3,59	3,57		21,94
Feb-04	3,58	3,58	3,54	3,63	3,51	3,58	3,65	25,07
Mar-04	3,75	3,66	4,01	3,4	3,49	3,44	3,52	25,27
Abr-04	3,47	3,53	3,35	2,64	3,63	2,63	2,63	21,88
May-04	2,62	2,66	2,72	2,7	3,66	2,93	2,68	19,97
Jun-04		2,66	2,82	2,77	2,65	2,65	2,67	16,22

Anexo 3. Absorción total de nitrógeno (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Absorción de nitrógeno /planta (gr)

FECHA	MUESTREO	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	N absorbido (g/planta)	Absorción real (gr/planta)
21-oct	1	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0
20-nov	2	0,55	0,03	0,08	0,03	0,23	0,00	0,00	0,92	-0,12
21-dic	3	0,67	0,07	0,41	0,17	0,48	0,08	0,00	1,88	0,95
21-ene	4	1,62	0,16	2,41	0,56	1,78	0,87	0,00	7,39	5,52
23-feb	5	2,30	0,21	6,75	1,39	2,33	4,97	0,04	17,99	10,60
22-mar	6	3,10	0,19	12,12	2,28	5,07	20,29	0,12	43,16	25,17
21-abr	7	3,58	0,46	14,20	0,70	3,90	20,79	0,22	43,86	0,70
24-may	8	3,06	0,31	17,90	0,50	3,23	40,63	0,15	65,79	21,93
22-jun	9	3,66	0,37	17,47	0,51	2,09	30,82	0,05	65,79	0,00

Anexo 4. Absorción total de nitrógeno (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Etapas de crecimiento	Absorción real de N (g/planta)	(%) absorción de N acuerdo a estados morfológicos
Brotación	0,00	0,00
Formación Radicular	0,84	1%
Desarrollo 1	16,12	25%
Desarrollo 2	25,17	39%
Engrosamiento	22,63	35%

Anexo 5. Totales de nitrógeno absorbidos y exportación de nitrógeno que sufre una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Total de N (g/planta)	64,75
Total de N (Kg/ha)	899,29
Exportación de nutrientes (g/planta)	24.39
Exportación de nutrientes (kg/ha)	339
Exportación de nutrientes (%)	38%

Anexo 6. Concentración total de fósforo obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Concentración de P/planta (%)								
Fecha Muestreo	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	Total
oct-03	0,06							0,06
nov-03	0,03	0,09	0,14	0,09	0,16			0,51
dic-03	0,05	0,17	0,19	0,23	0,21	0,13		0,98
ene-04	0,07	0,16	0,3	0,21	0,18	0,1		1,02
feb-04	0,15	0,25	0,24	0,42	0,39	0,15	0,43	2,03
mar-04	0,13	0,25	0,15	0,2	0,31	0,15	0,46	1,65
abr-04	0,12	0,26	0,12	0,17	0,31	0,14	0,34	1,46
may-04	0,14	0,27	0,15	0,18	0,29	0,13	0,16	1,32
jun-04		0,27	0,13	0,23	0,34	0,13	0,13	1,23

Anexo 7. Absorción total de fósforo (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Absorción de fósforo /planta (gr)									
FECHA	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	P Absorbido (g/planta)	Absorción real (gr/planta)
Oct-03	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0
Nov-03	0,005	0,001	0,002	0,001	0,009	0,000	0,000	0,018	0,000
Dic-03	0,009	0,003	0,021	0,011	0,033	0,003	0,000	0,081	0,063
Ene-04	0,031	0,007	0,201	0,030	0,089	0,024	0,000	0,383	0,302
Feb-04	0,096	0,015	0,457	0,160	0,259	0,208	0,005	1,201	0,819
Mar-04	0,107	0,013	0,453	0,134	0,450	0,885	0,016	2,059	0,857
Abr-04	0,124	0,034	0,509	0,045	0,333	1,107	0,029	2,180	0,122
may-04	0,163	0,032	0,987	0,033	0,256	1,803	0,009	3,283	1,103
Jun-04	0,098	0,037	0,805	0,042	0,268	1,512	0,003	3,283	0,000

Anexo 8. Absorción total de fósforo (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Etapas de crecimiento	Absorción real de P de acuerdo a estado morfológico (g/planta)	absorción de P en etapas morfológicas(%)
Brotación	0	0%
Formación Radicular	0,06	2%
Desarrollo 1	1,12	34%
Desarrollo 2	0,86	26%
Engrosamiento	1,22	37%

Anexo 9. Totales de fósforo absorbidos y exportación de fósforo que sufre una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Total absorbido (g/planta)	3,266
Total absorbido (g/ha)	45358,9
Total absorbido de P (Kg//ha)	45.4
Exportación de Nutrientes (g/planta)	0,83
Exportación de nutrientes (kg/ha)	11,56
Exportación de nutrientes (%)	25%

Anexo 10. Concentración total de potasio obtenidas mediante el análisis foliar de las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*). El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Concentración de K /planta (%)								
Fecha Muestreo	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	Total
Oct-03	0,28							0,28
Nov-03	0,26	1,4	1,85	2,06	0,82			6,39
Dic-03	0,32	0,74	1	1,44	0,72	0,56		4,78
Ene-04	0,45	0,65	1,38	1,07	0,58	0,53		4,66
Feb-04	0,71	1,13	0,86	1,58	1,23	1,07	3,11	9,69
Mar-04	0,71	0,85	0,68	1,29	1,22	1,01	2	7,76
Abr-04	0,57	1,05	0,66	1,79	1,31	0,91	1,58	7,87
may-04	0,55	0,96	0,58	1,52	0,96	0,85	1	6,42
Jun-04		1,16	0,654	2,45	1,42	0,92	0,12	6,724

Anexo 11. Absorción total de potasio (g/planta) en las diferentes estructuras de una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Absorción de potasio /planta (gr)									
FECHA	SEMILLA	RAÍZ	TALLO	PECIOLO	HOJA	YUCA	FLOR	K Absorbido(g/planta)	Absorción real de K (gr/planta)
Oct-03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00
Nov-03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.05	0.00	0.00	0.15	0.15
Dic-03	0.06	0.01	0.11	0.07	0.11	0.01	0.00	0.38	0.23
Ene-04	0.20	0.03	0.92	0.15	0.29	0.13	0.00	1.72	1.34
Feb-04	0.46	0.07	1.64	0.60	0.82	1.49	0.04	5.10	3.38
Mar-04	0.59	0.04	2.05	0.87	1.77	5.96	0.07	11.35	6.24
Abr-04	0.59	0.14	2.80	0.48	1.41	7.19	0.13	12.73	1.39
may-04	0.64	0.11	3.82	0.28	0.85	11.79	0.06	17.54	4.81
Jun-04	0.00	0.04	0.81	0.04	0.27	1.51	0.00	17.54	0.00

Anexo 12. Absorción total de potasio (g/planta) de acuerdo a las diferentes etapas de crecimiento de la planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Etapas de crecimiento	Absorción real de K de acuerdo a estado morfológico (g/planta)	absorción de K en etapas morfológicas(%)
Brotación	0	0%
Formación Radicular	0.3	2%
Desarrollo 1	4.73	27%
Desarrollo 2	6.24	36%
Engrosamiento	6.19	35%

Anexo 13. Totales de potasio absorbidos y exportación de potasio que sufre una planta de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Total absorbido (g/planta)	17.54
Total absorbido (g/ha)	243669.13
Total absorbido de K (Kg//ha)	243.67
Exportación de Nutrientes (g/planta)	6.39
Exportación de nutrientes (kg/ha)	88.72
Exportación de nutrientes (%)	36%

Anexo 14. Absorción total de N, P, K para un rendimiento de 22.4 toneladas de yuca (*Manihot esculenta*) El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Rendimiento Ton/ha	Absorción Total en Kg/ton		
	N	P	K
22.40	899	45.4	243.7
1	40.1	2.0	10.9

Anexo 15. Absorción por tonelada de yuca (*Manihot esculenta*) cosechada El Tanque de La Fortuna de San Carlos. 2003-2004.

Rendimiento Ton/ha	Absorción por tonelada de Yuca Cosechada(Kg/ton)		
	N	P	K
22.4	118	4.03	28.1
1	5.3	0.2	1.3

Anexo 16. Precipitación promedio Humedad relativa y temperatura promedio por mes Zona de San Carlos 2003 – 2004 para el periodo del estudio.

MES	Precipitac.	HRmed	Tmed
	(mm)	(%)	(°C)
OCT	496.70	91.31	25.48
NOV	483.98	90.83	25.27
DIC	516.90	94.60	24.19
ENE	108.40	87.74	24.34
FEB	163.20	82.71	25.01
MAR	146.60	89.66	25.70
ABR	215.00	91.08	25.72
MAY	702.40	97.81	25.70
JUN	223.90	97.18	26.27
JUL	415.10	97.52	25.35
AGO	293.10	98.29	25.56
SET	413.50	96.15	25.37
OCT	468.90	97.79	25.53
NOV	291.40	97.63	25.03
DIC	557.10	97.29	23.64

Anexo 17. Promedios de análisis de suelos realizados en El Tanque La Fortuna de San Carlos (2001).

El Tanque	ph	cmol(+)/L				mg/L					CICE	% Sat. Al	Bases	Mg/K	Ca/K	Ca/Mg	Ca+Mg/K
		acidez	Ca	Mg	K	P	Fe	Cu	Zn	Mn							
promedio	5,7	0.21	10	2.3	1	17.1	151.5	8.9	4.9	50.2	13.5	1.8	13.3	3.4	14.5	4.5	17.9
Nivel critico	5,5	0.5	4	1	0.2	10	10	2	3	5	5	10	5	2.5	5	2	10
	6,5		20	5	0.8	40	100	20	15	50	25	30	25	15	25	5	40
Porcentaje bajo	32	96	0	0	0	60	0	0	20	0	0	100	0	52	8	0	28
Porcentaje alto	0	4	0	0	44	20	88	0	0	32	0	0	0	0	12	36	8
Dato max.	6,2	0.6	18.3	4.5	2.4	88.1	228	16	8.7	253							
Dato min.	5,1	0.01	6.4	1.1	0.2	1.2	13	4.1	2.1	7.7							

Numero de muestras

25

Fuente: Furcal, 2006.