

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Extracción de nutrientes e identificación de épocas críticas en
cacao (*Theobroma cacao* L.) en Kimbiri, Cusco 2014**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Cristofer Yanasupo Bautista**

**ASESOR:
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma**

Ayacucho – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGROMOMÍA

TESIS

Extracción de nutrientes e identificación de épocas críticas en cacao
(*Theobroma cacao* L.) en Kimbiri, Cusco 2014

Expedido : 24 de diciembre de 2019

Sustentado : 24 de agosto de 2021

Calificación : Muy bueno

Jurados :



M.Sc. WALTER AUGUSTO MATEU MATEO
Presidente



M.Sc. ALEX LAZARO TINEO BERMÚDEZ
Miembro



Dr. JOSÉ ANTONIO QUISPE TENORIO
Miembro



Dr. RAÚL JOSÉ PALOMINO MARCATOMA
Asesor

A mi madre Martha Bautista López con mucho cariño y eterna gratitud, por su esfuerzo y abnegado sacrificio que realizó por la superación de sus hijos y que hizo posible la culminación de mi carrera profesional.

A mis hermanos: Macedonia, Maribel y Roind quienes en los momentos críticos me apoyaron e incitaron para seguir adelante en mis ideales.

En memoria a mi padre biológico: Luis Yanasupo Fernández, y padre político José Camasi Flores, quienes desde la gloria del Señor Jesucristo guían mi camino para seguir luchando en la vida.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a nuestra primera casa superior de estudios la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a los profesores de esta prestigiosa facultad por haberme formado e impartido sus conocimientos durante mi formación profesional.

A mi asesor Dr. Raúl Palomino Marcatoma, a la PhD. Marlheni Cerda Gómez y al M.Sc. Alex Tineo Bermúdez, docentes de la Escuela Profesional de Agronomía por haberme brindado el asesoramiento respectivo para la elaboración, ejecución y culminación de la tesis.

Al Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes "Multiservicios Agrolab" y la Municipalidad distrital de Kimbiri, que brindó las facilidades del caso para los respectivos análisis del trabajo de investigación.

Finalmente, a todas aquellas personas que desinteresadamente colaboraron en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	1
Introducción	2
 CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	4
1.1. Origen del cacao.....	4
1.2. Producción del cacao en el Perú, VRAEM y Kimbiri	4
1.3. Taxonomía y morfología del cacao.....	5
1.3.1. Taxonomía	5
1.3.2. Morfología	6
1.4. Condiciones ecológicas para el desarrollo del cacao	8
1.4.1. Factores ambientales	9
1.4.2. Factores edáficos.....	11
1.4.3. Extracción de nutrientes por el cacao	13
1.4.4. Fertilización del cacao	13
1.4.5. Rendimiento por hectárea	15
1.5. Valor nutritivo del cacao.....	16
1.6. Nutrición mineral de las plantas.....	17
1.6.1. El Nitrógeno.....	17
1.6.2. El Fósforo.....	19
1.6.3. El Potasio	21
1.6.4. El Calcio.....	24
1.6.5. El Magnesio	26
1.6.6. El Azufre	28
1.6.7. Oligoelementos	30
 CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	39
2.1. Lugar del experimento	39

2.2.	Clima.....	39
2.3.	Características generales del suelo.....	42
2.4.	Muestreo de suelos.....	43
2.5.	Análisis físico – químico de suelos e interpretación.....	44
2.6.	Muestreo y análisis de tejido vegetal	46
2.6.1.	Muestreo de tejido vegetal	46
2.6.2.	Colección y preparación de la muestra	48
2.6.3.	Digestión por vía húmeda	50
2.6.4.	Ataque por vía húmeda: Procedimiento.....	50
2.7.	Variables en evaluación	52
2.7.1.	Rendimiento de materia seca	52
2.7.2.	Absorción de N, P, K, S, Ca y Mg.....	52
2.7.3.	Absorción de Fe, Cu, Zn y Mn.....	52
2.8.	Análisis estadístico.....	53
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN		54
3.1.	Del contenido de materia seca	54
3.2.	De la absorción de N, P, K, S, Ca, Mg por la planta.....	56
3.2.1.	Absorción y ritmo de extracción de N	59
3.2.2.	Absorción y ritmo de extracción de P.....	62
3.2.3.	Absorción de K	64
3.2.4.	Absorción y ritmo de extracción de azufre	69
3.2.5.	Absorción y ritmo de extracción de calcio.....	71
3.2.6.	Absorción y ritmo de extracción de magnesio.....	73
3.2.7.	Absorción y ritmo de extracción de microelementos (Zinc, Cobre, Manganeso y Fierro).....	75
3.3.	Distribución de nutrientes en los órganos de la planta.....	81
3.4.	Equilibrio fisiológico de nutrientes.....	85
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		95
ANEXOS.....		99

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Interpretación de los análisis de suelos para el cultivo del cacao	14
Tabla 1.2. Guía de recomendaciones de fertilización para el cultivo del cacao con 800 plantas por ha ⁻¹	14
Tabla 1.3. Guía de recomendaciones de fertilización para el cultivo del cacao con 1400 plantas por ha ⁻¹	15
Tabla 1.4. Composición de grano de cacao comercial	16
Tabla 2.1. Temperaturas, precipitación, humedad relativa y balance hídrico de enero a diciembre de 2003 del distrito de Kimbiri, Cusco.....	40
Tabla 2.2. Resultados de Análisis de suelos del C.E Samaniato.....	45
Tabla 2.3. Cronograma de muestreo de plantas de cacao CCN-51 en Samaniato	49
Tabla 3.1. Ritmo de extracción de N (Kg.ha-1) en el cacao CCN 51	61
Tabla 3.2. Ritmo de extracción de P (kg ha ⁻¹) en el cacao CCN 51.....	64
Tabla 3.3. Ritmo de extracción de K (kg ha-1) en el cacao CCN 51.....	66
Tabla 3.4. Ritmo de extracción de S (Kg ha-1) en el cacao CCN 51.....	71
Tabla 3.5. Ritmo de extracción de Ca (Kg ha ⁻¹) en el cacao CCN 51.....	72
Tabla 3.6. Ritmo de extracción de Mg (Kg ha ⁻¹) en el cacao CCN 51	73
Tabla 3.7. Ritmo de extracción de Zinc (ppm) en el cacao CCN 51	76
Tabla 3.8. Ritmo de extracción de Cobre (ppm) en el cacao CCN 51	77
Tabla 3.9. Ritmo de extracción de Manganeseo (ppm) en el cacao CCN- 51	78
Tabla 3.10. Ritmo de extracción de Fierro (ppm) en el cacao CCN 51	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Deficiencia de Nitrógeno.....	18
Figura 1.2. Deficiencia de Fósforo.....	20
Figura 1.3. Deficiencia de Potasio	23
Figura 1.4. Deficiencia de Calcio.....	25
Figura 1.5. Deficiencia de Magnesio	27
Figura 1.6. Deficiencia de Azufre	29
Figura 1.7. Deficiencia de Hierro.....	30
Figura 1.8. Deficiencia de Manganeso.....	32
Figura 1.9. Deficiencia de Zinc.....	33
Figura 1.10. Deficiencia de Cobre	35
Figura 1.11. Deficiencia de Boro	37
Figura 2.1. Balance hídrico del año 2003 en el distrito de Kimbiri, Cusco	41
Figura 3.1. Contenido de materia seca (%) en los órganos de la planta	55
Figura 3.2. Ritmo de extracción de Nitrógeno (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM	60
Figura 3.3. Ritmo de extracción de Fosforo (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	62
Figura 3.4. Ritmo de extracción de potasio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	65
Figura 3.5. Tendencia de extracción de N, P y K en hojas durante cuatro etapas fenológicas.....	67
Figura 3.6. Ritmo de extracción de azufre (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	70
Figura 3.7. Ritmo de extracción de calcio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	72
Figura 3.8. Ritmo de extracción de magnesio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM	73
Figura 3.9. Ritmo de extracción de Zinc (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	76
Figura 3.10. Ritmo de extracción de cobre (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM.....	77

Figura 3.11. Ritmo de extracción de manganeso (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM	78
Figura 3.12. Ritmo de extracción de fierro (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM	79
Figura 3.13. Tendencia de la extracción de Zn, Cu, Mn, y Fe en hojas, durante 04 etapas fenológicas	80
Figura 3.14. Distribución del contenido de N-P-K (kg/ha) en cada órgano	81
Figura 3.15. Distribución del contenido de S-Ca-Mg en ppm en cada órgano	82
Figura 3.16. Distribución del contenido de Zn-Cu-Fe-Mn (kg/ha) en cada órgano	84
Figura 3.17. Distribución del contenido total (kg/ha) de N-P-K-S-Ca-Mg en frutos, hojas y flores	84
Figura 3.18. Distribución del contenido total (g/ha) de Zn-Cu-Fe y Mn en frutos, hojas y flores	85
Figura 3.19. Polígono de extracción de macronutrientes a 70 días después de la poda	86
Figura 3.20. Polígono de extracción de macronutrientes entre 71 - 154 días después de la poda	87
Figura 3.21. Polígono de extracción de macronutrientes entre 155 - 209 días después de la poda	88
Figura 3.22. Polígono de extracción de macronutrientes entre 210 - 243 días después de la poda	89
Figura 3.23. Polígono de extracción de micronutrientes a 70 días después de la poda	90
Figura 3.24. Polígono de extracción de micronutrientes entre 71 - 154 días después de la poda	90
Figura 3.25. Polígono de extracción de micronutrientes, entre 155 - 209 días después de la poda	91
Figura 3.26. Polígono de extracción de micronutrientes entre 210 - 243 días después de la poda	92

RESUMEN

El éxito de la producción cacaotera en el VRAEM requiere de la producción de plantas de alta calidad. A pesar de que uno de los factores más importantes es la nutrición, la información disponible aún es escasa, lo que sugiere que las características genéticas y fisiológicas de las plantas y el equilibrio nutricional de las condiciones locales deben ser considerados al hacer recomendaciones de fertilización. Además, su propósito de analizar la dinámica de nutrientes de las plantas de cacao (CCN - 57) en una plantación sobre terraza antigua de la localidad de Samaniato del distrito de Kimbiri, se establecieron muestreos periódicos después de la poda durante el ciclo fenológico del cultivo. Así, el análisis foliar se realizó en hojas, inflorescencias, pepinillos y llenado de granos del cacao durante 243 días. Se evaluó la composición de nutrientes y parámetros dinámicos de nutrientes de biomasa seca y macro y micro elementos de cada parte vegetativa de la planta, correlación entre nutrientes y el equilibrio nutritivo. El periodo crítico de absorción de nutrientes se presenta a los 185 días después de la poda (ddp) para el N, P, S, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn y Fe, el potasio aumenta su extracción hasta la maduración del fruto (243 ddp). Los ritmos de extracción de los macro nutrientes N, P, S, Ca y Mg tienden a incrementar hasta los 185 días después de la poda, con 63.97, 13.7, 11.23, 32.13 y 13.27 kg ha⁻¹, respectivamente, luego disminuyen debido al cuajado del fruto. En la mazorca (243 ddp) se reportan extracciones de 210.05 kg ha⁻¹ de N, 34.57 kg ha⁻¹ de P, 32.2 kg ha⁻¹ de S, 86.06 Kg ha⁻¹ de Ca y 35.7 kg ha⁻¹ de Mg. El K incrementa su extracción hasta los 243 ddp, con 237.92 Kg ha⁻¹. Los micro elementos Zn, Cu, Mn y Fe son extraídos con mayor intensidad hasta los 185 ddp y se ha cuantificado hasta los 243 ddp extracciones de 792.26, 246.06, 3683.82 y 1806.81 ppm, respectivamente. Las necesidades nutricionales para el rendimiento de una tonelada de grano de almendras son: 76.28 kg ha⁻¹ de N, 11.99 kg ha⁻¹ de P, 79.68 kg ha⁻¹ de K, 9.1 kg ha⁻¹ de S, 17.25 kg ha⁻¹ de Ca y 10.74 kg ha⁻¹ de Mg. Respecto a los micro elementos 233.96 ppm de Zn, 81.58 ppm de Cu, 426.21 ppm de Mn y 298.63 ppm de Fe. La secuencia de absorción de los macronutrientes en el cacao sigue el orden siguiente: K > N > Ca > P > Mg > S; en tanto los microelementos, sigue el orden siguiente: Mn > Fe > Zn > Cu.

INTRODUCCIÓN

Los granos de cacao representan una importante materia prima industrial que produce productos semielaborados para otras industrias, como la pasta de cacao, el polvo de cacao, la manteca de cacao utilizada en confitería, chocolatería, perfumería, farmacia, etc., o productos procesados para fines directos. Aquí. Se dirige a bienes de consumo como barras de chocolate, polvos y confeti.

De la misma manera, en el Perú y, específicamente en el VRAEM, el cacao es un cultivo con de larga tradición y extensión. Así el MINAG (2003), reporta que existen aproximadamente 57000 hectáreas de tierras aptas para sembrarlas en óptimas condiciones edafoclimáticas, de los que se aprovecha aproximadamente 20000 que están instaladas con plantaciones mayoritariamente antiguas, mayores de 20 años de edad cuyos rendimientos oscilan entre 400 a 600 kg por hectárea. A pesar de ser tradicionalmente una región productora de cacao con un producto de alta calidad, ha habido varios problemas desde la producción hasta las ventas, que han contribuido a la caída dramática de la producción en los últimos años. Por ello, conocer el cultivo y su productividad se traduce en la mejora desde el punto de vista del producto optimiza en gran medida su producción y manipulación. Así, respecto al manejo agronómico, la falta de información sobre la nutrición mineral, promueve a malas prácticas del abonamiento e inducen a disminuir el rendimiento y calidad del producto que trae como resultado la disminución de ingresos económicos a los productores.

En relación a la nutrición mineral del cacao, es importante conocer las extracciones de nutrientes para rendimientos específicos en el tiempo, útil al momento de programas de fertilización (Bertsch, 2005; Valle y Proaño, 2006). Además, las plantas absorben diferentes nutrientes del suelo en determinadas proporciones. Es importante mantener estas proporciones en equilibrio para facilitar su absorción. Los nutrientes se dividen en macro elementos según la intensidad de la demanda, los nutrientes se clasifican en

macro elementos: N, P y K; elementos secundarios: Ca, Mg y S; y micro elementos: Mn, Cu, Zn, Fe, Mo y B. No obstante, todos son igualmente importantes para el metabolismo y el desarrollo de las plantas. Por tanto, establecer los criterios de restitución de nutrientes en base a las extracciones e identificar las necesidades durante el ciclo fenológico, nos motivó a desarrollar los estudios investigativos con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Cuantificar la extracción de nutrientes e identificar las épocas críticas en cacao (*Theobroma cacao* L.) en Kimbiri, Cusco 2014.

Objetivos específicos

1. Identificar épocas críticas de necesidad de nutrientes en el cultivo de cacao.
2. Conocer la extracción de macronutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg) en el cultivo de cacao.
3. Conocer la extracción de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) en el cultivo de cacao.
4. Establecer las necesidades nutricionales promedio del cacao.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ORIGEN DEL CACAO

Lizano (1992) menciona que el cacao se originó en la parte alta de la cuenca del Amazonas en las Américas, donde se desarrolló y produjo bajo condiciones especiales de alta temperatura, humedad y sombra. Por otro lado, Enríquez (1985) argumentó que los ríos de la cuenca amazónica constituyen los principales centros de diversidad del cacao, donde se encuentran mayor variación de caracteres morfológicos y fisiológicos de la especie.

DEVIDA (2004) “Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida Sin Drogas” menciona que, según Pound Cheesman et al; el cacao es una especie nativa de los hábitats de bosques húmedos tropicales de América del Sur. Sin embargo, como los primeros pobladores del continente americano vivieron un estilo de vida nómada, es difícil determinar el origen exacto del cacao dentro del continente.

1.2. PRODUCCIÓN DEL CACAO EN EL PERÚ, VRAEM Y KIMBIRI

DEVIDA (2004), menciona que la Oficina de Información Estadística del Ministerio de Agricultura (2003) informa que la producción nacional de cacao es de aproximadamente 46.821 hectáreas y el promedio nacional es de 549 kg.ha⁻¹.

En Perú, la productividad de cacao en las diversas regiones productoras fueron bajos, entre 300 y 400 kg.ha⁻¹ para el año 2000, los promedios reportados actualmente son mayores a 1.000 kg.ha⁻¹, por ejemplo, 1.034 kg.ha⁻¹ en el sector de Tumbes 1.

Según el MINAG (2005), las plantaciones se realizan en aproximadamente 15.050 unidades productivas de agricultura familiar distribuidas en las 12 áreas que comprende la región. Además, el agricultor promedio maneja 1,25 hectáreas de cacao.

PDC (2013), “Plan de Desarrollo Concertado del distrito de Kimbiri”, refiere que el cultivo legal de cacao es de mayor importancia económica en el distrito de Kimbiri y en el VRAEM en su conjunto, después del cultivo de coca. Se estima que se producen 1.408 hectáreas de cacao. La producción promedio es de 480 kg/ha/año, lo que determina la producción de más de 675 toneladas de cacao en grano por año, la mayor parte se vende al mercado interno y solo una pequeña parte al mercado externo (10%). Las principales variedades son: la criolla representa el 58% del total de plantaciones existentes y la CCN-51 representa el 42%. Los primeros son casi en su totalidad plantaciones viejas de más de 30 años, mientras que los segundos corresponden a remodelaciones y/o áreas instaladas en los últimos 15 años con el apoyo de diversos programas y Municipalidad distrital.

Los productores de Cacao en el distrito de Kimbiri, destinan el 55% de sus tierras al cultivo del cacao. También, el promedio del área de cacao manejada por cada agricultor es de 3 hectáreas; las cuales el 70% se encuentran en producción y el 30 % no producen (98% son nuevas-menores de 4 años y el 2% plantaciones son mayores de 4 años.

De la misma forma, los bajos rendimientos de cacao en las plantaciones se deben en gran medida a los brotes de enfermedades que afectan a la moniliasis, la escoba de bruja y la podredumbre parda que atacan el fruto del cacao (el 90% de los agricultores no realiza labores fitosanitarias). Además, estas enfermedades prosperan y se propagan con ellas si no se controlan, con la ayuda de la alta humedad relativa del medio ambiente se propagan con facilidad ya que sus esporas son diseminadas por el aire y agua; a este problema se suma las malas prácticas de fertilidad de suelos (el 95% de los agricultores no fertiliza sus campos de cultivo) y el uso inadecuado de las herramientas agrícolas ocasionando pérdidas de más del 70 % de la producción, a lo que hay que sumar el deterioro de la calidad comercial del grano. En el ámbito del distrito de Kimbiri, no se cuenta con centros de transformación de cacao de ningún tipo, el cacao se vende en baba y en grano ya sea fermentado o sin fermentar principalmente a los intermediarios -acopiadores.

1.3. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL CACAO

1.3.1. Taxonomía

Benito (1991), indica que la clasificación del cacao es el siguiente:

Reino	: Vegetal
División	: Spermatophyta
Subdivisión	: Angiosperma
Clase	: Dicotiledónea
Orden	: Malvales
Familia	: Sterculàcea
Tribu	: Bitnerieas
Género	: Theobroma
Especie	: <i>Theobroma cacao</i> L.

1.3.2. Morfología

Benito (1991), menciona que pocas vegetales son las que exhiben polimorfismos tan prominentes como el cacao. Posteriormente de la germinación epígea, la planta crece y cuando está completamente desarrollada debe tener una altura de 6 a 8 m.

a) Raíz

En cuanto a, Lizano (1992) y Benito (1991), señalaron que la raíz pivotante es rotativa y profunda en el cacao propagado por semilla, alcanzando 40 cm a los 4 meses y 80 cm a los 5 años y comenzando a desarrollar raíces laterales. Desarrollo estable de la planta después de 10 años a profundidades de hasta 1,50 m, a veces 2 m. Además, las raíces laterales generalmente se desarrollan en la parte superior (los primeros 20 cm), y la longitud horizontal puede alcanzar de 5 a 6 m, estas raíces laterales son muy importantes para la nutrición de las plantas, al igual que las raíces que llegan a las profundidades siendo esencial para el soporte de plantas y abundante absorción de agua.

b) Tronco

Lizano (1992) informó que cuando aparecieron las primeras hojas en las plántulas, los brotes terminales continuaron su crecimiento ortogonal con hojas largas dispuestas en una filotaxia de 3 x 9, formando también una o más en la base (axilas) de las hojas.

Hernández (1991) señala que la altura del tronco al molinete debe estar entre 1,20 y 1,50 m; el molinete se forma inmediatamente, produciendo una nueva rama ortótropa debajo de él, que al igual que la primera rama se ha ido desarrollando hasta una segunda. En su extremo se forma corona o púa, por lo que se pueden formar 3 y 4 capas.

c) Hoja

Con relación a, Lizano (1992) observó que el color de las hojas varía según el cultivar, yendo de claro a rosa y violeta intenso, siendo las hojas de textura blanda y caída, a medida que maduran pierden su pigmentación y cuando son de color verde oscuro, cuando son rígidas y quebradizas, la el pecíolo varía de 7 a 9 cm en el eje ortótropo y de 2 a 3 cm en el eje oblicuo. Además, el limbo es entero, en forma de lanceta, de hasta 50 cm de longitud, y tiene una vida útil limitada, ya que entra en estado de senescencia después de una fase activa de 4 a 5 meses, aunque puede durar hasta un año, dependiendo de los factores particulares como la luz y la lluvia.

d) Inflorescencia

Con relación a, Barriga (1994) reportó que la inflorescencia se encuentra en la base de la hoja, alrededor de la cicatriz y yemas axilares que deja la hoja. El cauliflor de cacao, es decir, flores en partes viejas o tallos maduros. En general, es difícil encontrar genotipos que florezcan en ramas nuevas. Además, las flores aparecen en grupos, formando ligeras prominencias en el tronco y las ramas, y llevan el nombre de cojines de flores. También, el número de flores en cada grupo varía mucho entre genotipos y sistemas de cultivo.

e) Flores

En relación con, Benito (1991) afirma que las flores del cacao son hermafroditas (una flor tiene dos sexos). El órgano es pentámero porque tiene cinco sépalos blancos o pigmentación rosada soldados en la base, cinco pétalos blancos con pigmentación estriada de púrpura y una punta estrecha en la base y ancho en la corolla; También se alternan con sépalos. El ovario es súpero, por encima del receptáculo y por encima del resto de la flor, y consta de cinco cavidades con seis óvulos cada una situadas alrededor del eje central del ovario. El estilo es tubular y termina con cinco estigmas.

f) Fruto

Con respecto a, Lizano (1992) menciona que es una baya indehisciente, de unos 20 cm de largo y 8,0 cm de ancho, denominada mazorca, con pericarpio y endocarpio por pedúnculo leñoso que es el resultado del engrosamiento. La parte del tallo, cuya superficie es dura y tubulosa, pasa a través de 5 a 10 surcos amarillos longitudinales que contienen de 30 a 40 semillas de almendra. Según, Barriga (1994) afirma que la forma,

el tamaño y el color de la mazorca dependen del genotipo. Donde las formas vienen dadas por relaciones de longitud a diámetro y/o bordes, por lo que los tipos desde este punto de vista son angoleta, cundeamor, amelonado y calabacillo. Además, la forma también puede estar determinada por el número y la profundidad de los surcos, por la forma superficial de la corteza (rugosa, lisa o intermedia).

g) Semilla

En cuanto a, Braudeau (1970) menciona que las semillas se conocen como “haba”, “grano” o “almendra”, con una identificación de la claridad, las semillas que se han sometido a procesos de fermentación y secado se denominan "pepa", o “haba” las semillas frescas reciben el nombre de "grano" o "almendra". Además, los granos de cacao son semillas sin albumen de 2-3 cm de tamaño. Está cubierto de pulpa o mucílago de color blanco y sabor dulce. Debajo de esta pulpa hay una cáscara acanalada de color rosa muy fino y resistente, una cáscara de cereal, que cubre los cotiledones y está fuertemente adherido y conectado en la base 6-7 mm en la base. Viene con gémula rudimentaria.

1.4. CONDICIONES ECOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DEL CACAO

García (1993) manifiesta que el crecimiento, desarrollo y buena producción del cacao están íntimamente relacionados con las condiciones ambientales de su zona de cultivo. Es por esto que los factores climáticos afectan la producción de una plantación, por ello, las condiciones de temperatura y humedad del cultivo deben satisfacer las necesidades del cultivo, por ser perenne, y su período vegetativo, como la época de floración, germinación y la cosecha, se ve afectada por la regulación climática, la relación entre los procesos climáticos y el cambio climático durante el crecimiento de las plantas nos permite construir un calendario agroclimático.

Ling y Chiu (1990) manifiestan que las prácticas de cultivo bajo sombra tienen un impacto significativo en el microclima de la plantación, principalmente en términos de radiación, viento y humedad relativa, mientras que los factores del suelo como la nutrición mineral, el desarrollo de plagas y el desarrollo de enfermedades pueden afectar el crecimiento y el desarrollo que se debe considerar en forma integral.

El MINAG (2004) comprender las interacciones entre las plantas y el medio ambiente para mejorar el entorno en el que crece el cacao es difícil. Además, el cacao, es una planta tropical húmeda, se cultiva comercialmente entre las latitudes 15 ° N. y 15° S. del Ecuador. Especialmente, se encuentran en latitudes subtropicales de 23 y 25 grados de latitud sur. Al definir un clima adecuado para el cultivo del cacao, se hace referencia a la temperatura y la precipitación (lluvia), que comúnmente se consideran factores clave de crecimiento. De manera similar, el viento, la radiación solar y la humedad relativa influyen en muchos procesos fisiológicos de las plantas. Entre los factores más importantes en el cultivo, se destacan los siguientes:

1.4.1. Factores ambientales

a) Precipitación

Paredes (2004) dice que las plantas de cacao requiere suficiente agua para llevar a cabo los procesos metabólicos. En general, las precipitaciones son el factor climático más variable a lo largo del año. Además, su distribución varía según la región y es un factor que determina las diferencias en el manejo del cultivo. Por lo tanto, la pluviometría óptima para el cacao se sitúa entre 1.600 y 2.500 mm anuales. Las precipitaciones superiores a 2600 mm pueden afectar la cosecha de cacao.

Benito (1991) informó que el cacao se cultiva en muchos países, en zonas con precipitaciones superiores a los 1.200 mm, y en algunos casos a los 4.000 mm; pero más importante que la precipitación total es la buena distribución de la humedad a lo largo del año, ya que el cacao afecta la falta de humedad en el suelo es muy sensible.

b) Temperatura

Paredes (2004) afirma que la temperatura es un elemento muy importante que afecta el desarrollo, la floración y el fructificación de los cultivos de cacao. También, la temperatura media anual ronda los 25°C. Además, el efecto de la baja temperatura también se refleja en la tasa de crecimiento de la planta, la tasa de desarrollo de la fruta y la intensidad constante de la floración (intensidad reducida). También regula las actividades de las raíces y brotes de las plantas.

La temperatura para el cultivo de cacao debe estar entre los valores siguientes:

- Mínima de 23°C

- Máxima de 32°C
- Óptima de 25°C

Benito (1991), menciona la temperatura nos permite estar seguros de que el área elegida para cultivar cacao debe presentar las siguientes características:

- La temperatura media anual debe estar alrededor de 24°C y nunca exceder 30°C.
- La temperatura media diaria no debe ser inferior a 15°C.
- La oscilación diaria la temperatura entre el día y la noche no debe ser inferior a 9°C.

c) Sombra

Enríquez (1985) reporta que en su estado natural, el cacao está biológicamente asociado con otras especies como palmeras, árboles y pequeños arbustos; dado que se ha encontrado que el cacao crece debajo de otros árboles más grandes, y dado que tradicionalmente se ha cultivado a la sombra, se dice que suele ser un árbol de alcanfor o muy amante de la sombra.

d) Altitud

Benito (1991) afirma la altitud está relacionada con la temperatura, disminuyendo 2°C por cada 300m de aumento, lo que sugiere que el cacao se cultiva comercialmente a 600m, con excepciones como el Valle del Cauca en Colombia a 1000m y el Valle de Chama en Venezuela a 1250m, la diferencia en estos lugares es que la temperatura es ligeramente por encima de los 21°C, que es el rango del cacao.

e) Humedad

Lizano (1992) el ambiente preferido para el cacao es principalmente uno con alta humedad relativa, ya que reduce la evapotranspiración, la pérdida de agua de plantas en estado de vapor debido a la transpiración, cuando la humedad ambiental es alta.

f) Viento

Benito (1991) menciona que el aire es un factor de suma importancia porque determina la velocidad a la que el agua se evapora del suelo y las superficies de las plantas. Igualmente, las plantas expuestas al viento constante pierden rápidamente el agua de sus hojas, cierran sus estomas y, en general, ralentizan la fotosíntesis. Los fuertes vientos

dañan las ramas y provocan la caída de las flores y, en algunos casos, derriban a los mismos árboles.

1.4.2. Factores edáficos

a. Características físicas

Enríquez (1985) afirma que los mejores suelos para el cacao incluyen arcilla agregada a franco arenoso. Un elevado contenido de arcilla es conveniente porque implica buenas propiedades de retención de humedad, y sugiere que el estado de los nutrimentos es probablemente alto, pero es indeseable en cuanto afecta de adverso la aireación y la penetración de las raíces. Estos requisitos, deben considerarse simultáneamente al evaluar las características texturales. Las texturas intermedias, en la mayoría de los casos, lo mejor para el cacao es de arcilla a franco arenoso.

Igualmente, los mejores suelos para el cacao son los suelos aluviales, fértiles y profundos que son permeables. Los suelos arenosos no son recomendables porque no cubren las necesidades hídricas de la planta (INIA, 1992).

Cochrane y Sánchez (1982) manifiestan que los suelos negros suelen ser mejores porque se lixivian menos. Además, otra característica es que debe tener un subsuelo de suficiente profundidad que sea fácilmente penetrado por la raíz pivotante.

b. Características químicas

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (1982) indica que el cacao crece eficientemente cuando el pH está en el rango de 6,0 a 6,5; se permiten buenos rendimientos. No obstante, también se adapta al rango extremo de muy ácido a muy básico, con valores que van desde 4,5 a 8,5, con producción reducida o muy escasa. Se deben tomar acciones correctivas en estos suelos.

Hernández (1991) indica que se puede esperar rendimientos exitosos sin la adición de fertilizantes, siempre y cuando, el suelo de la plantación tenga las siguientes características químicas:

- 1) Capacidad de intercambio de bases de las capas superficiales, no menor de 12 meq/100g, y en el subsuelo no menor de 5 meq/100g.

- 2) No menos del 35% de saturación de bases en los horizontes superficiales.
- 3) En los 15 cm superficiales del suelo, deberán existir los siguientes contenidos de bases intercambiables: no menor de 8.0 meq/100g de calcio; un mínimo de 2 meq/100g de magnesio; y no menos de 0.24 meq /100g de potasio.
- 4) pH entre 6.0 a 7.5 hasta 1m de profundidad.
- 5) En los primeros 15cm superficiales el contenido de materia orgánico no debe ser menos del 3.0% (1.75% de carbono orgánico) que nos indicaría un buen reciclaje.

c. Características biológicas

Respecto a, Labrador (2008) enfatiza que el suelo no es solo una fuente de nutrientes para las plantas, sino también un hábitat para una amplia variedad de organismos, un servicio ecosistémico. Con base en lo anterior, se puede decir que la cantidad y tipo de organismos en el suelo varían dependiendo de las condiciones de uso y manejo del suelo, algunas propiedades físicas y químicas y las condiciones ambientales.

Por lo tanto, los organismos del suelo se convierten en los principales mediadores del ciclo de nutrientes, regulando el secuestro de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios dinámicos de la materia orgánica del suelo, cambiando su estructura material y el estado del agua, mejorando así la eficiencia del suministro biológico y la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Chamorro (1989) manifiesta que la biota del suelo está formada por todas las plantas y animales que viven allí. La mayoría de los organismos del suelo establecen una competencia perpetua por los nutrientes, el oxígeno, la humedad y el espacio. Los organismos que componen la meso y macrobiota de los suelos juegan un papel fundamental en la fragmentación, transformación y migración de la materia orgánica en los mismos, dando como resultado grandes cantidades de biomasa en el suelo.

En cuanto a, Silva et al. (1992) informaron que la materia orgánica del suelo constituye una fuente de alimento y energía para los microorganismos y la fauna, y es una fuente de N, P y S a través de la mineralización por los microorganismos del suelo.

1.4.3. Extracción de nutrientes por el cacao

Vera et al. (2000) manifiestan que la cantidad exacta de nutrientes eliminados por un cultivo en particular depende del estado nutricional del árbol. En promedio, se extraen 30 kg N, 8 kg P₂O₅, 40 kg K₂O, 13 kg CaO y 10 kg MgO de 1000 kg de granos de cacao. Además, los nutrientes también se eliminan con cáscaras de mazorca ricas en K. Por otro lado, los nutrientes también son necesarios para hacer el cuerpo de un árbol. Todos estos factores deben ser considerados al diseñar las recomendaciones de fertilizantes para las plantaciones de cacao.

Extracción. - BENITO (1991), HERNANDEZ (1991) y ENRIQUEZ (1985), señalan que una cosecha de cacao de 1000Kg. Extrae aproximadamente 44 Kg de Nitrógeno, 10Kg de fosforo y 77 Kg de potasio.

García (1993) afirmó que la eliminación de nutrientes por parte de los cultivos de cacao aumenta rápidamente en los primeros cinco años después de la siembra, luego se nivela y mantiene esta tasa de absorción durante el resto de la vida útil de la plantación. En general, el potasio (K) es el nutriente que más se absorbe en el cacao, seguido del nitrógeno (N), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg).

De la misma manera, las bases divalentes calcio y magnesio juegan un papel muy importante en la nutrición del cacao. Además, el potasio y el magnesio son antagónicos, y el exceso del primero afecta la absorción del segundo. También, el magnesio se pierde rápidamente a medida que aumenta la acidez del suelo, mientras que los niveles de potasio permanecen iguales, pero las pérdidas por lixiviación aumentan debido a la acción de la lluvia.

1.4.4. Fertilización del cacao

MINAG (2004) manifiesta que cuanto a sus requerimientos nutricionales, donde es recomendable un análisis de suelo. En ese caso se aplica fórmula fertilizante 60-90-60, roca fosfórica combinada con guano de compuesto 12-12-12 a razón de 50 a 60 gramos por planta en los hoyos donde se colocarán las plantones en el campo definitivo. Luego del primer año de producción de los plantones injertados, aumenta al rango de 80-100 gramos por planta. A partir del segundo año de producción, hasta el cuarto año de producción, la dosis anual y la tasa de aplicación de la formulación a los plantones

permanece constante. Luego aplique la fórmula 100-140-100 a razón de 180 a 200 gramos por planta cada año hasta que el árbol de cacao complete su ciclo de producción.

En cuanto a, la Tabla 1.1 presenta parámetros que sirven como guía para interpretar el estado de fertilidad del suelo para el cultivo de cacao. Donde la tablas 1.2 y 1.3 brindan recomendaciones para fertilizar el cacao cultivado con poca o sin sombra, teniendo en cuenta la densidad del suelo y el estado nutricional.

Tabla 1.1. Interpretación de los análisis de suelos para el cultivo del cacao

Nutriente	Interpretación		
	Alto	Medio	Bajo
pH	7.5 – 6.5	6.4 – 5.1	<5.1
P (ppm)	>14	8 - 14	<8
S (ppm)	>12	6 - 12	<6
K (cmol ₍₊₎ /kg ⁻¹)	>0.4	0.2 – 0.4	<0.2
Ca (cmol ₍₊₎ /kg ⁻¹)	>9	5 - 9	<5
Mg (cmol ₍₊₎ /kg ⁻¹)	>2.3	1.6 – 2.3	<1.6

Fuente: García (1993)

Tabla 1.2. Guía de recomendaciones de fertilización para el cultivo del cacao con 800 plantas por ha⁻¹

Edad años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
gr/planta					
Disponibilidad baja de nutrientes					
0 – 1	70	30	55	15	25
1 – 2	105	45	110	30	50
2 – 3	140	60	165	45	75
3 – 4	175	55	220	60	100
>4	210	90	270	75	125
Disponibilidad media de nutrientes					
0 – 1	40	15	25	8	12
1 – 2	70	20	50	16	24
2 – 3	100	30	75	24	36
3 – 4	125	40	100	32	48
>4	150	50	125	40	60
Disponibilidad alta de nutrientes					
0 – 1	20	12	25	11	12
1 – 2	40	12	40	11	12
2 – 3	60	18	55	15	15
3 – 4	80	24	70	18	30
>4	100	30	85	20	40

Fuente: García (1993)

Tabla 1.3. Guía de recomendaciones de fertilización para el cultivo del cacao con 1400 plantas por ha⁻¹

Edad años	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
gr/planta					
Disponibilidad baja de nutrientes					
0 – 1	40	17	31	9	14
1 – 2	60	26	62	17	29
2 – 3	80	34	94	26	43
3 – 4	100	43	126	34	57
>4	120	51	154	43	71
Disponibilidad media de nutrientes					
0 – 1	23	9	14	6	7
1 – 2	40	11	29	9	14
2 – 3	57	17	43	14	21
3 – 4	71	23	57	18	27
>4	86	29	71	23	34
Disponibilidad alta de nutrientes					
0 – 1	11	7	14	6	7
1 – 2	23	7	23	6	7
2 – 3	34	10	31	9	9
3 – 4	46	14	40	10	17
>4	57	17	49	11	23

Fuente: García (1993)

1.4.5. Rendimiento por hectárea

DEVIDA (2004) reporta que la producción promedio de las diversas regiones cacaoteras del Perú es baja, oscilando entre 300 y 400 kg.ha⁻¹ para el año 2000. En la actualidad existen promedios superiores de 1000 kg.ha⁻¹, como la provincia de Tumbes de 1034 kg.ha⁻¹.

MINAG (2003) reporta que en el Valle Río Apurímac y Ene el rendimiento del cacao no es uniforme en todas las parcelas. Depende principalmente del nivel tecnológico practicado; es así como el 75 % de las plantaciones obtienen un rendimiento que oscila entre los 400 y 600 kg, un 20 % obtiene un rendimiento mayor de 600 kg y el 5 % menor de 400 kg. Aplicando el paquete tecnológico de rehabilitación, renovación e instalación de áreas nuevas de cacao, se alcanzó a producir 2000 kg.ha⁻¹ al tercer año de plena producción.

Hernández (1991) menciona que se pueden obtener rendimientos de 2000 a 3000 kg.ha⁻¹.año utilizando variedades de alto rendimiento y métodos de cultivo mejorados o en lugares con suelos excepcionalmente fértiles.

Según García (2001), la escala para caracterizar la productividad de cacao a nivel de campo es la siguiente:

Excelente	: > 2000 kg.ha ⁻¹ .año.
Muy alto	: 1500 a 2000 kg.ha ⁻¹ .año.
Alto	: 1000 a 1500 kg.ha ⁻¹ .año.
Media	: 500 a 1000 kg.ha ⁻¹ .año.
Baja	: < 500 kg.ha ⁻¹ .año.

1.5. VALOR NUTRITIVO DEL CACAO

Nosti (1980) reporta que la riqueza en vitaminas de un producto directamente derivado de cacao, como es el polvo de cacao, en el que se ha reducido el contenido de grasa del grano al 22%, se señala a continuación, refiriéndonos a 100 g del producto:

- Vitamina A : 41.0 U.I
- Vitamina B1 (Tiamina) : 0.09 mg
- Vitamina B2 (riboflavina) : 0.25 mg
- Vitamina B3 (ácido nicotínico) : 0.09 mg

Igualmente, los propios granos de cacao contienen muchas otras vitaminas; especialmente la cutícula, muy rica en theobromina, contiene 28 a 35 U.I. de vitamina D (calciferol) en 1g. En cambio, no se han encontrado en el grano trazas de vitamina (ácido ascórbico). El grano de cacao, encierra un aceite con un contenido de Beta caroteno (provitamina A) del orden de los 800 a 1400 U.I. en 1g; también contiene este aceite una cantidad de calciferol.

Tabla 1.4. Composición de grano de cacao comercial

Elementos	Enríquez (%)	Hernández (%)	Nosti (%)
Agua	-	-	6.46 – 9.44
Manteca	29.25	31.30	43.20 – 49.00
Cafeína	0.11	0.80	-
Almidón	3.22	4.50	3.60 – 4.48
Glucosa	0.60	1.10	-
Theobromina	1.00	2.40	1.18 – 1.50
Taninos	-	-	6.40 – 7.10
Cenizas	-	-	3.32 – 5.13
Celulosa	-	-	4.00 – 4.90

Fuente: Enríquez, 1985; Hernández, 1991 y Nosti, 1980

1.6. NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS

1.6.1. El Nitrógeno

a) Importancia y funciones del nitrógeno

Davelouis (1991), afirma que la materia seca de las plantas contiene 2-4% de nitrógeno. Aunque el contenido de carbono es del 40%, el nitrógeno es un componente elemental esencial de muchos compuestos orgánicos importantes (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos). El contenido de proteína vegetal está directamente relacionado con la concentración de nitrógeno en el tejido vegetal ($\% \text{ proteína} = \% \text{ N} \times 6,25$). También, el nitrógeno forma parte de las moléculas de clorofila y de los ácidos nucleicos que forman los cromosomas.

Guerrero (1990), reporta como la importancia radica en que este elemento interviene en la formación de aminoácidos y proteínas, lo que a su vez interviene en el crecimiento de diversos órganos de la planta, aumenta la superficie foliar y el volumen plasmático, revelando así su eficacia y la parte activa de la planta crecimiento.

Benito (1991), afirma que el nitrógeno es de suma importancia para el cacao, así mismo como para fortalecer su capacidad de floración, fructificación y calidad de las mazorcas.

b) Deficiencias y excesos de nitrógeno

Zavala (2007) señala que la deficiencia o agotamiento de N se manifiesta como una reducción en la tasa de crecimiento de la planta, con plantas expuestas a condiciones de deficiencia que detienen el crecimiento en unas pocas semanas y pronto exhiben enanismo. Además, los requerimientos de nitrógeno están estrechamente relacionados con la intensidad de la luz en la que crecen las plantas. A medida que aumenta la intensidad de la luz, aumenta la intensidad de los síntomas. Con demasiada luz, se produce deficiencia de N y aparecen áreas de color amarillo pálido entre las nervaduras de las hojas. Asociado con una alta proporción de carbohidratos: N. Cuando no se transfiere suficiente N de las hojas viejas a las hojas nuevas, las hojas inferiores desarrollan un tinte uniforme de color verde pálido o amarillento. El verde claro también afecta las venas. La planta puede permanecer en este estado durante mucho tiempo.

Con respecto a, Villagarcia (1990), señaló que la deficiencia de nitrógeno puede conducir a una maduración acelerada de frutos pequeños con mala calidad de frutos, lo que puede conducir a bajos rendimientos, que se manifiestan por un desarrollo vegetativo reducido de las plantas, color verde amarillento y la caída prematura.

En relación con, Villagarcia (1990) informó que el exceso de nitrógeno en las plantas provoca una fuerte expansión aérea y las hojas adquieren un color verde muy oscuro, haciendo que las plantas sean más susceptibles a las inclemencias del tiempo (heladas, sequías) y al aumento de enfermedades. Las estancias prolongadas en tejidos blandos y jugosos tienen más probabilidades de ser atacadas por agentes patógenos. Las necesidades de nitrógeno alcanzan su nivel más alto durante la etapa de lluvias, cuando no solo se están desarrollando frutos, sino que se están formando nuevas ramas y hojas, por lo tanto, se debe asegurar que en este periodo haya suficiente nitrógeno asimilable. Es indispensable pues aplicar este elemento en la temporada de lluvias.



Figura 1.1. Deficiencia de Nitrógeno

c) Formas de incorporación

Yufera (1973) y Guerrero (1990), menciona que la planta toma el nitrógeno funciona mejor en forma de nitrato, mediante de las raíces del nitrato forma nitrato NO_3^- y el ion amonio amoniacal NH_4^+ ; es la primera etapa de su vida. Más rápido que el ácido nítrico utilizado en el proceso de síntesis de proteínas. En ambas formas, las plantas absorben nitrógeno a lo largo del ciclo de nutrientes y, en algunos casos, consumen más.

Fasbender (1986) señala que la forma predominante de absorción de nitrógeno (amoníaco o nitrato) depende de varios factores como la temperatura y el pH, favoreciendo la absorción de amoníaco el frío o el pH bajo.

Mayz y Figueroa (2004) informaron que el N tiene la capacidad de aumentar la fertilidad del suelo a través de la formación de humus. El humus almacena N y reduce las pérdidas de K, Ca y Mg mientras mantiene la humedad del suelo y mejora los procesos biológicos desarrollados en ella.

Vallejo (2008) menciona que las bacterias diazotróficas son de gran importancia agrícola como mediadoras en el proceso de fijación biológica del nitrógeno, reduciendo el nitrógeno atmosférico que las plantas no pueden asimilar a amonio, y contribuyendo al agotamiento de este equilibrio elemental en los cultivos.

1.6.2. El Fósforo

a) Importancia y funciones del fosforo

Loayza (1968), reporta que el fósforo se encuentra en tejidos jóvenes, frutos y semillas. Intervienen en la división celular, aceleran el crecimiento de las raíces, son necesarios para la conversión de carbohidratos y son esenciales para el equilibrio fisiológico de las plantas.

Villagracia (1990), menciona que cuando el nitrógeno está en exceso, ayuda a absorber el potasio necesario y contrarresta los efectos nocivos del nitrógeno.

b) Deficiencias y excesos del fosforo

Zavala (2007), Menciona que la deficiencia de fósforo (P) conduce a la falta de raíces absorbentes (pelos absorbentes), lo que da como resultado un crecimiento lento de las plantas y hojas subdesarrolladas, especialmente las más pequeñas. Las hojas maduras tienen bordes y puntas pálidas, las hojas jóvenes más pálidas que las nervaduras y los márgenes de las hojas posteriores se queman. Además, los nuevos brotes tienen entrenudos cortos y hojas en ángulo agudo con respecto a las ramas. También, las hojas maduras se vuelven de color verde muy oscuro. Las hojas maduras permanecen después de la caída de las hojas.

Fasbender (1986), afirma que los suelos minerales templados son relativamente bajos en fósforo, con fósforo total que varía entre 0,02% y 0,08%, con un promedio de alrededor de 0,05% (500 mg). Los climas templados y tropicales tienen mayor contenido de fósforo total debido a su textura más fina. Además, el fósforo está presente en el suelo casi exclusivamente en forma de ortofosfato, y casi todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico. Igualmente, los fosfatos del suelo se pueden dividir en dos grandes categorías: inorgánicos y orgánicos. En las sustancias inorgánicas, los iones de hidrógeno del ácido fosfórico se reemplazan por cationes para formar sales. En la materia orgánica, uno o más hidrógenos del ácido fosfórico crean enlaces estéricos y el resto puede ser reemplazado por cationes.

Igualmente, el fósforo a diferencia de nitrógeno es uno de los elementos relativamente estable en el suelo. El fósforo está fijado en compuestos asociados con el calcio, magnesio, hierro o aluminio. El fósforo disponible para la planta es baja y se halla en primera instancia relacionado con el pH, en pH sumamente bajos (2-5) el fósforo aplicado se precipita fuera de la solución del suelo en forma de complejos de aluminio y de hierro. A un pH alto (7 a 10), llega a quedar fijado en forma de complejo de calcio. Aun pH entre 5 a 7 se presenta bajo la forma de fosfatos mono o dicalcicos y constituye la forma más utilizable por la planta.



Figura 1.2. Deficiencia de Fósforo

c) Formas de incorporación

Villagaray (1980), menciona que la planta absorbe principalmente el fósforo monocalcico $CaHPO_4$, que se encuentra en la solución del suelo, y en forma fosfato

dicálcico CaH_2PO_4 , Encontrado en soluciones del suelo, en forma de fosfato dicálcico, el fósforo tricálcico ya no es absorbido por las plantas. En suelos alcalinos, las plantas absorben el fosfato como fosfato dicálcico, mientras que a pH bajo lo absorben como $H_2PO_4^-$.

Benito (1991), afirma que el cacao en producción responde significativamente a las aplicaciones de fosforo, porque posee un sistema radicular bien desarrollado, que permite absorber del suelo la cantidad de fosforo necesaria con más fertilidad, mientras un cacao adulto necesita de fosforo fundamentalmente para la buena formación y maduración del fruto.

1.6.3. El Potasio

a) Importancia y funciones del potasio

Gross y Domínguez (1986), manifiestan que el potasio es un mineral importante en las plantas y está presente en estado catiónico en los tejidos vegetales, especialmente en los fluidos celulares. También señala que las funciones de la potasa en las plantas son diversas, pero aún se desconocen algunos aspectos. Desempeña un papel importante como regulador de las funciones de las plantas que participa positivamente. Esto explica su alta concentración en tejidos jóvenes, completamente desarrollados, mientras que los órganos más viejos son menos ricos en potasio. Además, en plantas vivas, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. Aunque no pertenece a los compuestos orgánicos permanentes de tejidos como la ceniza, se dice que la ceniza vegetal contiene un gran porcentaje de potasa.

Davelouis (1991), afirma que las funciones en que intervienen el potasio en la planta son:

- Favorece una mayor área fotosintética y el desarrollo de células de almacenamiento.
- Aumenta el potencial de acumulación de carbohidratos, así como la formación, la ruptura y translocación del almidón.
- En el metabolismo del nitrógeno y síntesis de las proteínas.
- En el control y regulación de las actividades de varios elementos esenciales.
- Como catalizador de más de 60 enzimas.
- En el desarrollo del tejido meristemático.

- En la regulación de la apertura de los estomas, influenciado en las relaciones hídricas.
- Por medio de la K-Taza genera el potencial electrónico a través de las membranas celulares.

b) Deficiencias y excesos del potasio

Zavala (2007), manifiesta que los síntomas de la deficiencia de K aparecen primero en las hojas más viejas y aumentan con el desarrollo de los brotes como resultado de la transferencia de nutrientes a los tejidos más jóvenes. La naturaleza de la transición es tal que para cuando los brotes jóvenes estén completamente desarrollados, las hojas más viejas se caerán. A medida que la deficiencia empeora, los brotes y brotes tienen hojas más pequeñas. Los síntomas en las hojas maduras comienzan como manchas de color amarillo verdoso pálido cerca de los márgenes de las hojas, especialmente en las mitades distales. Estas manchas se vuelven necróticas y permanecen en pequeñas áreas aisladas durante algún tiempo antes de fusionarse en un área continua en el borde de la hoja.

Guerrero (1990), señala que el potasio un elemento de gran movilidad, las diferencias se notan primero en las hojas basales (hojas adultas) con necrosis en los bordes de las hojas y progresivamente afectan a toda la planta, generalmente muy frágiles y susceptibles a plagas y enfermedades.

Benito (1991) y Enríquez (1985), manifiestan que las plantas de cacao que no disponen de potasio en cantidades necesarias presentan una clorosis que se inicia por el ápice de las hojas más viejas y se extiende hacia los contornos de la misma. La necrosis continúa progresando en la hoja entre nervaduras, con una zona de tejido amarillento que avanza delante de la región necrótica. En otros casos, la falta de potasio produce hojas deformadas y muy lobuladas, síntoma no siempre típico.

Según Voisin (1979), existen efectos antagónicos del potasio frente a los macro elementos Mg^{+2} , Ca^{+2} y Na^{+} y son conocidos desde hace decenios, sin que conozcamos las causas reales. Para apoyarnos sobre nuestra tecnología, diremos que el aporte del abono potasio causa en el suelo la desaparición de los macro elementos Mg^{+2} , Ca^{+2} y Na^{+} . El potasio puede desaparecer no solo lo macro elementos. Por ejemplo, el

antagonismo del abono potásico frente al boro puede ser con frecuencia notable. El aporte de abono potásico tiende a hacer desaparecer el boro asimilable, resultando que, cuando se aumenta los aportes de abonos plásticos, el tanto del ciento de boro en las hojas disminuye en la materia seca.



Figura 1.3. Deficiencia de Potasio

c) Formas de incorporación

Barber (1995), señala que el potasio en el suelo generalmente existe en cuatro formas: 1) Potasio estructural: existe en forma de estructura cristalina de feldespato, arcilla y mica en el suelo. 2) Potasio intercambiable: la porción disponible de potasio en el suelo que las plantas pueden extraer fácilmente. 3) Potasio fijado: atrapado dentro de la arcilla. 4) Potasio en soluciones del suelo: esta forma está fácilmente disponible para las plantas. Sin embargo, la cantidad presente en la solución del suelo es muy pequeña.

Las raíces toman el K^+ de esta solución que lo hace llegar por capilaridad y por difusión, o bien lo extraen por contacto directo con las partículas de arcillas.

El potasio intercambiable se encuentra débilmente ligado al complejo de cambio del suelo, pudiendo ser reemplazados por otros iones. Ese potasio es fácilmente utilizado por las plantas y se consume durante el desarrollo de los cultivos. Existen un equilibrio entre el potasio disuelto y el fijado en las posiciones de intercambio que se desplaza en un sentido o en otro. Las observaciones en distintos suelos indican que el potasio insoluble no intercambiable existe en dos formas. Una que puede extraerse por las cosechas en un plazo de pocos años y otra que se va cediendo lentamente; la velocidad

de liberación depende del tipo de suelo de las condiciones de humedad, temperatura y cultivos y de las circunstancias en que se fijó el K.

Yufera (1973), menciona que el potasio puede encontrarse en el suelo en formas fácilmente soluble o en formas insolubles, ligado a los minerales primarios (feldespatos y micas) o parcialmente.

1.6.4. El Calcio

a) Importancia y funciones del calcio

Gross y Domínguez (1986), menciona que el calcio juega un papel importante en varias etapas de la vida de las plantas. La presencia de calcio en la savia celular es fundamental para el desarrollo de la planta desde la germinación hasta la madurez del grano. El calcio también proporciona una mayor tolerancia al tejido vegetal.

De otro lado cumple la función de síntesis del pectato de calcio necesario para la formación de la lamela central de las células; participa en la formación e incremento proteico meristemático y alargamiento celular; se enlaza a las proteínas, especialmente a la calmodulina, que juega un rol en la regulación celular Davelouis (1991).

b) Deficiencias y excesos del calcio

Zavala (2007), manifiesta que los síntomas de deficiencia de calcio (Ca) aparecen en las hojas más jóvenes, mostrando parches necróticos que comienzan como manchas blancas en las áreas cercanas a los bordes. Posteriormente, estas manchas pueden fusionarse en áreas marginales más extensas de necrosis en las hojas más viejas. La deficiencia severa conduce a la caída prematura de las hojas y la muerte de brotes y yemas. En hojas más viejas, la quema apical y marginal progresa rápidamente, dejando áreas sanas dentro de la zona de necrosis. La deficiencia de Ca reduce el crecimiento de las raíces de Ca.

Igualmente, los síntomas de deficiencia de Ca se pueden confundir con la deficiencia de Mg, sin embargo, existen diferencias significativas. Las hojas nuevas son deficientes en calcio y las hojas viejas son deficientes en magnesio. Cuando la clorosis se desarrolla desde el margen hasta la nervadura central causada por la deficiencia de calcio, ocurre lo contrario con el magnesio.

Por otro lado, la falta de plantas se manifiesta en la germinación, dificultando el transporte de sustancias producidas por la planta, dando como resultado clorosis; desarrollo foliar. Detener el desarrollo de raíces. Debido a su inercia, su distribución en las plantas es opuesta a la del N, P, K, por lo que las plántulas o sumidades presentan clorosis.

Davelouis (1991), Indica que frecuentemente, la concentración del calcio en la solución del suelo es 10 veces mayor que la del potasio; la proporción en la toma del calcio, sin embargo, es usualmente es más bajo que la del potasio; este bajo potencial de absorción del calcio es debido a que este elemento solo puede ser absorbido por las puntas de las raíces jóvenes (pelos radiculares), donde la pared celular de la capa endotelial aún no se ha suberizada.



Figura 1.4. Deficiencia de Calcio

Así mismo Davelouis (1991), indica que el calcio absorbido por las plantas antes de la fructificación, no es disponible para el desarrollo de la fruta, hay evidencias de la inmovilización del calcio en el floema. Los resultados de investigación también indican que el análisis foliar para el calcio no es confiable para poder predecir la deficiencia de calcio en las frutas. Vitorino (1989), reporta que en la planta joven el calcio se encuentra en el protoplasma y en las membranas celulares y en las viejas en las vacuolas formando oxalatos.

c) Formas de incorporación

Devlin (1970), indica que el calcio es el principal catión de intercambio que se encuentra en los suelos fértiles. Aunque, la mayor parte del calcio en los suelos se encuentra en una forma irreemplazable, químicamente unido a minerales primarios como la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) y este calcio cambia a formas utilizables como resultado de la meteorización.

Barber (1995), indica que el calcio, es un elemento que forma compuestos insolubles con otros elementos en el suelo, cuya cantidad depende de las materias primas, el uso de aditivos y el grado de meteorización.

Por otro lado Havlin et al. (1999), reportan que las concentraciones en el suelo a menudo exceden las requeridas para el crecimiento adecuado de las plantas, aunque su absorción está controlada genéticamente, la cual es absorbida como catión divalente Ca^{+2} .

1.6.5. El Magnesio

a) Importancia y funciones del magnesio

Davelouis (1991) y Rodríguez (1982), indican que el rol más conocido del Mg es su presencia en el centro de la molécula de la clorofila, representando el 2.7% de ella, es el cofactor de casi todas las enzimas del proceso de la activación de la fosforilación; además, interviene en la síntesis de aceite en varios cultivos como: palma aceitera y cocotero.

b) Deficiencias y excesos del magnesio.

Zavala (2007), manifiesta que los síntomas es una deficiencia típica de magnesio, que comienza en el área cerca de la nervadura central de las hojas más viejas, luego de un tiempo los síntomas se extienden entre las nervaduras hasta los bordes de las hojas.

En la medida en que avanza la enfermedad, los márgenes entre las nervaduras de las hojas se vuelven blancos y comienza la necrosis debido a la fusión del área afectada. En casos severos, aparecen áreas necróticas aisladas, generalmente mostrando un área amarilla bien definida. Las áreas necróticas suelen ser más brillantes que en los casos de deficiencia de potasio.

Vitorino (1989), informa dado que el magnesio es un elemento móvil dentro de las plantas, la deficiencia de magnesio es el resultado de:

- Ocurre en suelos ácidos permeables ligeros y en años lluviosos por lavado intenso.
- La deficiencia se produce por la fijación de magnesio en la red cristalina (arcilla montmorillonita).
- La cal y los fertilizantes potásicos fuertes a menudo conducen a una deficiencia de magnesio (antagonismo iónico).



Figura 1.5. Deficiencia de Magnesio

c) Formas de incorporación

Davelouis (1991), el magnesio se encuentra en la naturaleza mayormente como silicatos, cloruros y sulfatos mas no en forma elemental o catiónica, la cual es absorbido por las plantas en forma iónica divalente como Mg^{++} ; las raíces son capaces de tomar el magnesio de la solución del suelo, como también es absorbido al complejo coloidal.

Davelouis (1991), manifiesta que el magnesio es tomado por la planta en menor cantidad que el calcio o potasio; el contenido de este elemento en los tejidos, frecuentemente es 0.5% de la materia seca. Este mismo autor, explica que existe una competencia entre el Mg^{++} con el K^+ , NH_4^+ y Mn^{++} para ser tomados por las plantas es así que cuando la relación K/Mg aumenta mucho, la planta puede sufrir la deficiencia de magnesio, aunque la solución nutritiva contenga dicho elemento al estado cambiante. Por otro lado, parece que el magnesio está asociado con la absorción y el transporte de fosforo, porque las semillas de oleaginosas y de frutas son ricas en fosforo; pero contiene más Magnesio que Calcio.

En cuanto a, Barber (1995), afirma que el magnesio existe en el suelo en tres formas:

- 1) Cationes intercambiables en el complejo de intercambio: Esta forma es la más importante porque determina el magnesio disponible.
- 2) Constituyente mineral: Entre ellos, el magnesio es la principal composición mineral del suelo, dado que el proceso de descomposición de los minerales es muy lento, las plantas no pueden obtener esta forma de magnesio.
- 3) En solución del suelo: De esta forma, está en equilibrio con el magnesio intercambiable, por lo que está disponible para las plantas. Como se mencionó anteriormente, no se tiene en cuenta la pequeña cantidad de magnesio que se encuentra en la fracción orgánica.

1.6.6. El Azufre

a) Importancia y funciones del azufre

El azufre es un componente de muchas proteínas (aminoácidos azufre: cistina, metionina y lisina), es componente de las enzimas Gross (1986). Al respecto Victorino (1989), indica que el azufre es componente de éteres, ácidos sulfo – ciánicos, esencias aromáticas; es el elemento imprescindible de la coenzima A que es la base de la formación de los triterpenos, ergostero, lanosterol, cinosterol, etc por esta razón muchas plantas aleginosas y aromáticas (geranio) y las plantas de latex (caucho) prefieren abonos sulfurados que a los cloruros.

b) Deficiencias y excesos del azufre

Zavala (2007), menciona que los síntomas de la deficiencia de azufre a menudo se confunden con los de la deficiencia de N, por lo que a menudo son difíciles de distinguir. No hay una disminución notable en color amarillento brillante pero las nuevas son de un amarillo brillante e incluyen las nervaduras. Una característica que marca la diferencia en la deficiencia de N. los síntomas se presentan en todas las hojas y también se presenta necrosis apical, que se enrollan y finalmente las hojas caen.

Davelouis (1991), señala que la formación de cloroplastos se ve afectada y aparecen signos de cloroplastos en las hojas jóvenes. Porque es un elemento menos móvil, el crecimiento de las plantas con bajo contenido de azufre se ve afectado y los tallos se ven más afectados que las raíces, el análisis de foliar es una herramienta muy valiosa en este caso.



Figura 1.6. Deficiencia de Azufre

c) Formas de incorporación

Rennenberg (1984), indican que en muchas plantas, la mayor parte del azufre que las plantas absorben del suelo se encuentra en forma de SO_4^{-2} que se incorpora al aminoácido cisteína en los tejidos fotosintéticos. Ocurre en plantas, cloroplastos y tiene una absorción mínima de dióxido de azufre (SO_2) de la atmósfera, pero también es un importante aporte de azufre.

Del mismo modo, la absorción de sulfato por las raíces en su mayor medida es un proceso metabólico mediado por proteínas acarreadoras y su actividad se controla negativamente al monitorear las concentraciones intracelulares de metabolitos de sulfato y azufre. Aunque, estos mecanismos reguladores no parecen prevenir la presencia de SO_4^{-2} intracelular en exceso por Rennenberg (1984). Así, las plantas exhiben mecanismos reguladores alternativos, como los descritos en el modelo de Rennenberg (1984) en forma de ciclo de azufre intracelular, que, según los autores, regulará la cantidad de cisteína libre en la célula.

Devlin (1970) y Davelouis (1991), indican que el azufre en el suelo se encuentra principalmente en las fracciones orgánicas, pero puede encontrarse también en minerales como la pirita, cobaltita, el yeso y la epsomita, así mismo manifiesta que el contenido total de azufre en los tejidos de la planta es de 0.2 a 0.5% en la materia seca.

1.6.7. Oligoelementos

Estos desempeñan muchas funciones en las plantas, excepto el boro y el cloro, que son difíciles de entender sin comprender la química. Además, los oligoelementos son metales que forman moléculas órgano - metálicas especiales llamadas enzimas que controlan reacciones biológicas importantes en las plantas en los sistemas de vidas, estas enzimas son clave para activar las reacciones biológicas en los sistemas vivos.

a) El hierro

- **Importancia y funciones del hierro**

El hierro es parte de muchas enzimas necesarias para formar diversas sustancias químicas, especialmente la clorofila en las plantas.

- **Deficiencias y excesos del hierro**

Zavala (2007), manifiesta que cuenta que los síntomas de la deficiencia de hierro (Fe) aparecen primero en las hojas jóvenes, y mientras observamos una clorosis pronunciada entre las nervaduras, las nervaduras permanecen claramente verdes. Cuando estas hojas maduran, son más delgadas de lo normal y tienen una consistencia de papel. Con inanición severa, las hojas se vuelven de color blanco amarillento en la lámina de la hoja y las nervaduras se vuelven de color verde pálido. Si avanza, se desarrolla necrosis, lo que lleva a la deformación de la lámina que consiste en una quemadura marcada de las puntas y a veces, el desarrollo de picaduras profundas. Sí, dejando la aparición de bordes dentados. Generalmente, este tipo de efecto ocurre cuando hay deficiencia de Fe, Mg o Ca. En otros casos, las hojas pueden ser ligeramente asimétricas.



Figura 1.7. Deficiencia de Hierro

Cueva (2013), señaló que el cacao es muy sensible a la deficiencia de hierro, (Fe) aparecen en las hojas jóvenes, especialmente cuando la aireación del suelo es deficiente en combinación con valores de pH superiores a 6,8. . Inicialmente, se observa una clorosis pronunciada entre las venas, pero las venas permanecen claramente verdes. A medida que estas hojas maduran, se vuelven más delgadas de lo normal y tienen una consistencia similar al papel. El cacao es muy sensible a la deficiencia de hierro, especialmente en suelos con poca aireación combinados con niveles superiores a 7,5 y altos niveles de carbonato de calcio.

- **Formas de incorporación**

Gines et al (1991), Afirma que el hierro es absorbido por las plantas a través de su sistema radicular como Fe^{2+} . La forma de Fe^{3+} es de mayor importancia, debido a la pequeña solubilidad de los componentes férricos en la mayoría de los suelos, para que la planta pueda utilizar el Fe^{3+} los suelos presentes en la mayoría de los suelos en condiciones aeróbicas se ven obligados a reducirlo, proceso llevado a cabo por las enzimas reductasas ubicadas en la membrana plasmática del suelo con célula vegetal de la raíz. Este enzima tiene una actividad máxima a pH 4.5 y temperatura de 25°C.

Tendencia del hierro a formar quelatos complejos (por ejemplo, con ácidos orgánicos y fosfatos) y su aptitud para cambiar su valencia: $Fe^{2+} \longleftrightarrow Fe^{3+} + e^{-}$, son las dos características más importantes en las que se basan sus numerosos efectos fisiológicos.

b) El manganeso

- **Importancia y funciones del manganeso**

El manganeso trabaja con el hierro para formar clorofila; también aumenta la velocidad a la que germinan las semillas, maduran las cosechas y ayuda a las plantas a capturar otros nutrientes.

Gines et al (1991), manifiesta que la investigación realizada para esclarecer en qué parte del proceso fotosintético interviene el manganeso, afirma que se encuentra en una etapa correspondiente a la fotólisis del agua, en la que interviene el elemento. Esta parte del proceso de fotosíntesis corresponde a la conversión de la energía luminosa absorbida por el sistema de la clorofila, induciendo así la conversión del flujo de electrones en energía química. Las últimas formas de esta energía química son ATP y NADPH.

Igualmente, este nutriente está involucrado en la síntesis de clorofila, asimilación de nitrato, síntesis de vitaminas (riboflavina, ácido ascórbico, carotina), síntesis de aminoácidos, síntesis de ATP, síntesis de lignina, activación hormonal y división celular. También juega un papel fundamental en la fotosíntesis, respiración, fotólisis del agua, asimilación de dióxido de carbono (CO_2), reacciones redox, activación enzimática, metabolismo de lípidos, asimilación y transporte de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. También es muy importante para la germinación y madurez fisiológica de los granos, para lo cual es fundamental que los granos contengan suficiente cantidad de este elemento.

- **Deficiencias y excesos del manganeso**

Zavaleta (1992), indica que el manganeso es menos disponible a pH mayores que 6.5 y la deficiencia puede ser sobre pH 7.0 ambos manganeso y fierro están no disponibles debido a su alto grado de oxidación el manganeso mangánico y fierro férrico no son realmente usados por las plantas.

- **Formas de incorporación del manganeso**

Las plantas absorben activamente el manganeso en forma de Mn^{++} a través de las raíces, aunque también puede absorberse como quelato. Se transporta dentro de la planta a través del xilema como Mn^{++} , que tiene poca movilidad y se almacena como óxido de manganeso. El manganeso deben aplicarse pulverizados en las hojas; que de ser aplicados en el suelo se oxidan rápidamente a formas no disponibles.



Figura 1.8. Deficiencia de Manganeso

c) El Zinc

- **Importancia y funciones del Zinc**

El zinc es un elemento muy móvil dentro de las plantas, pero tiene muchas funciones clave, por lo que durante la maduración y la producción de semillas, el zinc es beneficioso para la formación de polen y la fertilidad, por lo que la deficiencia de zinc tiene un mayor impacto en el rendimiento del grano que en el desarrollo vegetativo.

Por ello, la estructura y función de muchas enzimas depende de la presencia de zinc en las plantas. Alrededor de 2800 proteínas dependen del zinc para poder sintetizarse y funcionar, y también se requiere para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y la conversión de azúcares en almidón. También regula los niveles de auxinas a través de la síntesis el aminoácido triptófano, que participa en el metabolismo hormonal.

- **Deficiencias y excesos del Zinc**

Cueva (2013), señala que los síntomas de zinc (Zn) se pueden observar en las hojas en las primeras etapas de su desarrollo y consisten principalmente en la deformación de las hojas, cuya severidad aumenta con los brotes sucesivos. Además, los síntomas de diagnóstico visual más útiles son nervaduras prominentes en hojas muy jóvenes, ancho de hoja reducido, espirales, clorosis en las nervaduras principales. También, los síntomas de la deficiencia de zinc (Zn) se pueden observar en las hojas durante las primeras etapas de su desarrollo y consisten principalmente en la deformación de la hoja, cuya gravedad aumenta con el lavado sucesivo.



Figura 1.9. Deficiencia de Zinc

En cuanto a, los síntomas más útiles para el diagnóstico visual son venas prominentes en hojas muy jóvenes, ancho de hoja reducido, espirales y clorosis en hojas principales. En ausencia de estas deformaciones, los síntomas son más difíciles de identificar. A veces se ve un patrón de costillas claramente visible sobre un fondo descolorido.

Zavaleta (1992), toma en cuenta que con una deficiencia moderada, la relación entre el largo y el ancho de la hoja es anormal y puede haber distintas áreas amarillentas a ambos lados de la nervadura central. También puede distribuirse asimétricamente, lo que da como resultado hojas en forma de hoz con áreas amarillentas características. En casos más severos, las pequeñas nervaduras de las hojas jóvenes están mucho más distorsionadas hacia la base de la hoja, y las áreas entre las nervaduras se vuelven más claras. La hoja puede volverse cónica, los bordes ondulados y toda la hoja en espiral.

- **Formas de incorporación del Zinc**

Cueva (2013), manifiesta que el catión de zinc se meteoriza fuera de los minerales del suelo (donde puede ser adsorbido en su forma iónica), forma un quelato o forma compuestos de zinc ligeramente solubles.

d) El cobre

- **Importancia y funciones del cobre**

El cobre es parte de varias enzimas importantes, especialmente para la formación de clorofila, y su deficiencia afecta la resistencia de las plantas a las enfermedades y el control de la humedad.

- **Deficiencias y excesos del cobre**

Gines et al. (1991), reportan que la deficiencia de cobre, la enzima fenol oxidasa se vuelve inactiva, los compuestos fenólicos se acumulan y la síntesis de lignina disminuye, los tejidos se debilitan y esta pérdida de rigidez tiende a hacer que los órganos de la planta se doblen. Afecta el crecimiento reproductivo (formación de granos, semillas y frutos) más que crecimiento vegetativo.

Igualmente, en las flores de plantas bien suplementadas con cobre, las anteras (que contienen polen) y los ovarios tienen altos niveles y demandas de este nutriente, de igual forma el polen de plantas deficientes en cobre no es viable.

De la misma manera, el exceso de cobre en el suelo puede afectar el desarrollo de las raíces. Esto quema sus puntas y provoca un crecimiento lateral excesivo. En las plantas, los altos niveles de cobre pueden competir con la absorción de hierro y posiblemente molibdeno y zinc.

En cuanto a, las plantas nuevas, pueden estar más verdes de lo normal al principio, lo que indica síntomas de deficiencia de hierro u otros micronutrientes. Si no se corrige, el riesgo de toxicidad por cobre puede reducir la ramificación y, en última instancia, conducir a la pudrición de la planta.



Figura 1.10. Deficiencia de Cobre

- **Formas de incorporación del cobre**

Gines et al. (1991), señalaron que el cobre es totalmente suministrado por la mayoría de los fertilizantes hidrosolubles de liberación lenta, estos deben aplicarse en las cantidades recomendadas, pudiendo utilizarse fertilizantes complejos que contengan micronutrientes, evitando excesos de este elemento y consecuentemente deficiencias de otros micronutrientes.

Igualmente, se puede hacer una sola aplicación de sulfato de cobre o sus formas quelatadas, pero la línea entre la deficiencia y el exceso es muy fina, por lo que se debe tener cuidado. Aplicar al sustrato (drench). No rocíe las hojas.

Algunos fungicidas contienen cobre como ingrediente activo, por lo que parte de él es absorbido por las hojas. De manera similar, el agua de riego a menudo proporciona una pequeña cantidad de cobre, rara vez en exceso.

e) El boro

• Importancia y funciones del boro

Cueva (2013) afirma que el boro es esencial para la floración normal, y las plantas deficientes presentan anomalías como una floración profusa en el tronco y las ramas, y en ocasiones hinchazón del cojín floral.

Del mismo modo, el boro se usa junto con el calcio en la síntesis de la pared celular y es esencial para la división celular (creación de nuevas células vegetales). El requerimiento de boro para el crecimiento reproductivo es mucho mayor, lo que ayuda con la polinización y el desarrollo de frutos y semillas, la regulación, el transporte de potasio a los estomas (que ayuda a regular el equilibrio hídrico en el cuerpo), etc. El boro ayuda en el transporte de azúcares, por lo que una deficiencia reduce los azúcares y los exudados de las raíces de las plantas, lo que reduce la atracción y la colonización por hongos micorrícicos.

Por lo tanto, la deficiencia de boro afecta la viabilidad del polen y el crecimiento del tubo polínico, lo que afecta la formación de semillas y da como resultado frutos partenocárpicos o distorsionados con puntos necróticos.

• Deficiencias y excesos del boro

Zavaleta (1992), indica que algunas deficiencias de manganeso, zinc, cobre y boro frecuentemente observadas en suelos muy ácidos son debido a extremos lavajes de formas solubles y a la formación de ciertos compuestos ácidos insolubles.

Por ello, la deficiencia de boro afecta el punto de crecimiento activo de las plantas. Debido a esto, los síntomas característicos aparecen en los tejidos más jóvenes, mientras que los tejidos de las hojas maduras parecen sanos. Uno de los primeros síntomas es la reducción del tamaño del entrenudo. Hojas se doblan hacia afuera, formando chupones con puntas rizadas y hojas con volantes. Estas hojas no adquieren la tenacidad del cuero, pero son duras y espesas al tacto. Estas hojas son casi del color verde habitual, pero también puedes encontrar un amarillo verdoso pálido con tonos más oscuros hacia las nervaduras centrales y los márgenes ondulados.

A medida que avanza la deficiencia, las hojas de los brotes se desvanecen o se vuelven casi completamente blancas, se vuelven más pequeñas, se vuelven de forma anormal y tienen áreas onduladas que se tuercen en espiral hacia la punta. Las hojas continúan diferenciándose, pero estas se caen rápidamente y las que logran madurar se vuelven ásperas y quebradizas. Estas hojas desarrollan entonces bandas necróticas a lo largo de sus márgenes, a veces localizadas en los espacios intermedios, pudiendo presentarse en forma de islas. Las puntas de las hojas están necróticas y el resto pálidas.

De igual forma, la deficiencia de boro (B) afecta el punto de crecimiento vigoroso de las plantas. Esta es la razón por la que el tejido de la hoja madura parece saludable mientras que los síntomas característicos aparecen en el tejido más joven. Además, el boro es esencial para la floración normal, y las plantas deficientes tienen anomalías tales como una floración abundante en el tallo principal y las ramas y macizos de flores hinchados en las cojines florales, la deficiencia de boro afecta la viabilidad del polen y el crecimiento de los tubos polínicos, lo que afecta la formación de semillas, lo que da como resultado frutos partenocárpicos o deformados con manchas necróticas.

Los síntomas de toxicidad por boro incluyen clorosis de meristemo y necrosis que avanza hacia el centro de la hoja, seguido de caída de hoja e incluso muerte de la planta.



Figura 1.11. Deficiencia de Boro

- **Formas de incorporación del boro**

El boro, al contrario que los oligoelementos explicados anteriormente se libera por la meteorización y se introduce en la solución del suelo como ácido bórico H_3BO_3 , el

ácido bórico es capturado por las plantas y se amontona en la materia orgánica cerca de la superficie del suelo. La fijación en un pH alto y la lixiviación limitan la cantidad de boro que las plantas puedan usar.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. LUGAR DEL EXPERIMENTO

El experimento se llevó a cabo en el centro poblado de Samaniato, ubicado en el distrito de Kimbiri, provincia de La Convención, departamento del Cusco, cuyas coordenadas UTM son X = 0639904, Y = 8600485 a una altitud de 633 m.s.n.m.

La evaluación de la fase de campo, se realizó en la parcela del centro experimental de Samaniato, donde se encuentra instalado el jardín clonal de cacao con clones como CCN – 51 de una hectárea de extensión.

2.2. CLIMA

El clima del Valle del Río Apurímac, Ene y Mantaro, es cálido y húmedo con precipitaciones pluviales abundantes; no obstante, es posible notar la existencia de dos épocas condicionadas por la mayor y menor presencia de lluvias y variaciones de temperatura. Entre los meses de mayo y noviembre, la precipitación es escasa y entre los meses de diciembre y abril abundante. Los datos meteorológicos correspondientes a la campaña agrícola del cultivo de cacao del año 2003 se presentan en la tabla 2.1, los cuales se obtuvieron de la Estación del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del distrito de Kimbiri.

Tabla 2.1. Temperaturas, precipitación, humedad relativa y balance hídrico de enero a diciembre de 2003 del distrito de Kimbiri, Cusco

MESES	CAMPAÑA AGRÍCOLA DEL CULTIVO DE CACAO 2003											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC
T° MAX(°C)	29.72	27.63	27.35	27.45	30.23	30.55	30.94	32.51	32.49	32.60	34.54	33.09
T° MIN(°C)	20.51	19.09	18.80	18.37	19.36	19.75	18.91	19.80	20.08	20.35	21.84	20.91
T° MEDIA (°C)	25.12	23.36	23.08	22.91	24.80	25.15	24.93	26.16	26.29	26.48	28.19	27.00
FACTOR	4.96	4.64	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96
ETP (mm)	124.57	108.39	114.45	109.97	122.98	120.72	123.63	129.73	126.17	131.32	135.31	133.92
pp (mm)	271.00	238.80	210.50	197.00	59.00	89.80	19.40	86.70	163.30	227.00	72.00	138.50
%HR	103.58	100.30	98.25	88.65	87.26	69.42	108.36	91.57	90.21	89.15	96.35	105.32
H Suelo (mm)	146.43	130.41	96.05	87.03	-63.98	-30.92	-104.23	-43.03	37.13	95.68	63.31	4.58
Déficit (mm)					-63.98	-30.92	-104.23	-43.03				
Exceso (mm)	146.43	130.41	96.05	87.03					37.13	95.68	63.31	4.58

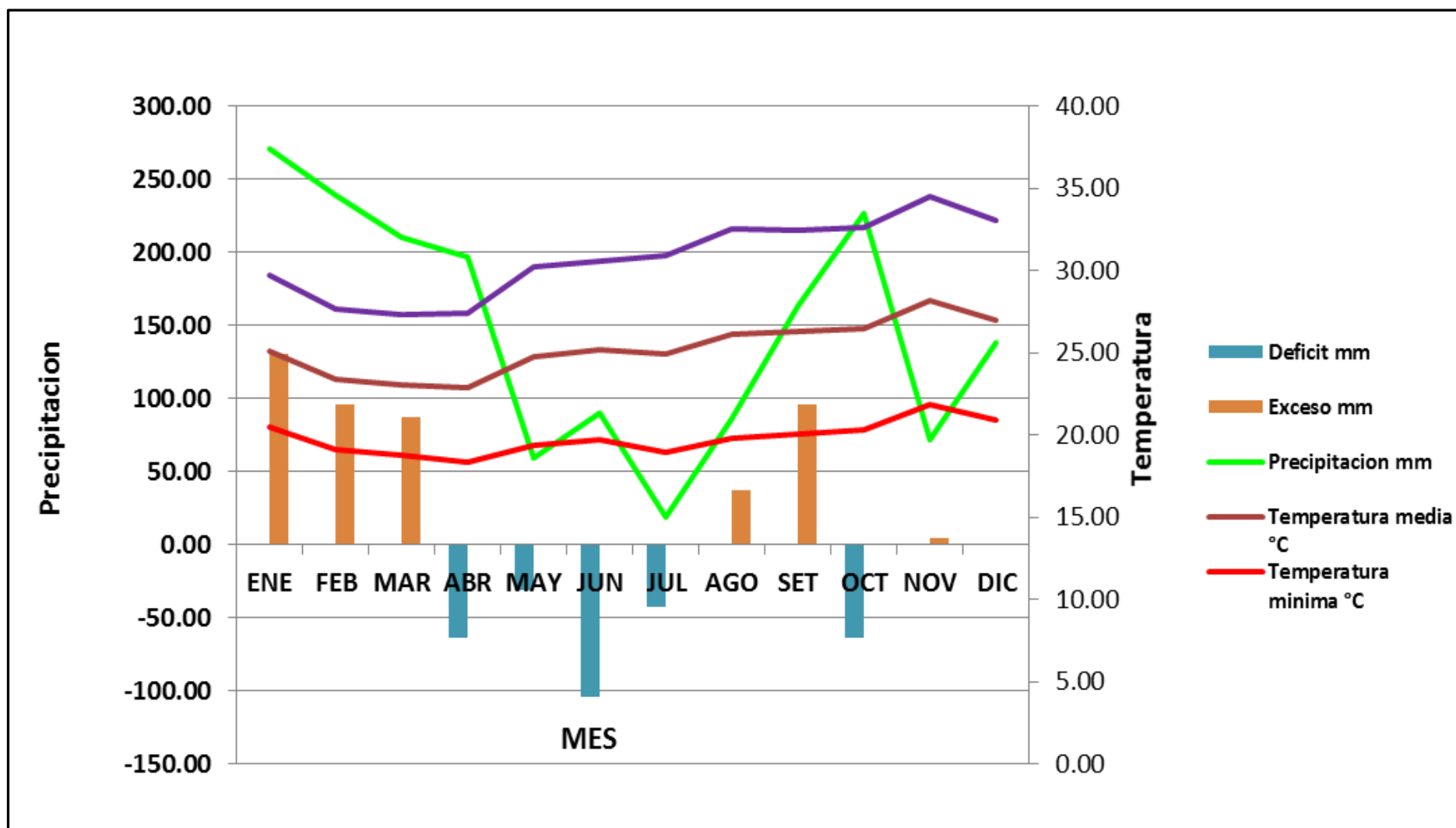


Figura 2.1. Balance hídrico del año 2003 en el distrito de Kimbiri, Cusco

Con relación a, la temperatura promedio anual es de 25.06 °C, presentando valores extremos de 18.37°C en el mes de abril y 34.54°C en noviembre. La precipitación pluvial acumulada durante la campaña agrícola del cultivo de cacao fue de 2100 mm siendo los meses con mayor presencia de lluvias de enero a marzo, mientras que los de menos intensidad son junio y julio. La humedad relativa durante las evaluaciones presentó valores mayores de diciembre a febrero, mientras que los más bajos de abril a junio.

El balance hídrico mostrado en el figura 2.2 revela que el déficit de humedad en el suelo se reporta en los meses de abril a julio. Por su parte, el superávit de humedad se verifica de septiembre a marzo. La campaña agrícola del cacao inicia en septiembre con la presencia de mayor precipitación y temperatura y es el inicio de las evaluaciones de campo respecto al estado nutricional del suelo y los muestreos de los diferentes estados fenológicos del cultivo.

2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO

La investigación tuvo lugar en el distrito de Kimbiri, provincia de La Convención, departamento y Región del Cusco. La zona de vida corresponde al Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (Holdridge 1979). Donde la temperatura promedio es de 25,3 °C, la precipitación anual es de 1.773 mm y la humedad relativa es del 94%. El suelo es mayoritariamente aluvial con una alta proporción de arena superficial y textura pedregosa regular. Se encuentra en terrazas aluviales, formaciones planas formadas por acumulación de ríos recientes y semi-recientes, ubicadas en elevaciones bajas sobre los cauces de ríos estacionales y en elevaciones alejadas de las inundaciones de los ríos, excluyendo las precipitaciones. Estos niveles escalonados implican rasgos edáficos específicos y por lo tanto, provocan variabilidad en las características fisonómicas (altura, cobertura, vigor, sotobosque) y variabilidad en la composición de la flora, por lo que la característica del bosque depende del nivel escalonado en el que se encuentra el bosque.

El terreno utilizado en el experimento presenta suelos relativamente profundos con presencia de estratos de sedimentos con presencia de fragmentos gruesos (grava, y arena gruesa) y menor proporción de limos y arcilla. En superficie presenta un color oscuro debido a la acumulación de componentes orgánicos y de clase textural franco arenosa.

2.4. MUESTREO DE SUELOS

Se ha seleccionado 5 hectáreas de cacao y dentro de él, 1 ha con plantas de la variedad CCN 51 cuyo sistema de manejo es incipiente en referencia a actividades culturales como la intensidad de podas, regeneración, control sanitario y fertilización. La pendiente del terreno es ligeramente plana con leves ondulaciones. La edad de la plantación es menor a 5 años. Se trabajó en una parcela de investigación previamente seleccionada considerando que represente a las chacras de productores del VRAEM. Se utilizaron los siguientes criterios de selección de las parcelas:

- Sistema de manejo (tradicional sin el uso de tecnología de producción)
- Especies predominantes de sombra (tipo, edad, forma de la copa, estratos, densidad, altura)
- Pendiente del terreno (ligeramente plana)
- Ubicación
- Edad de la plantación (menor de 10 años)

Como la fertilidad del suelo varía espacial y temporalmente, es necesario realizar una serie de observaciones y recopilar la información necesaria sobre los sitios de interés antes de muestrear, analizar y aplicar un programa de investigación a un país en particular.

De la misma manera, para conocer las propiedades físicas y químicas del suelo, es un aspecto fundamental que la muestra sea representativa del área que se desea analizar. Esto se debe a que la precisión (similitud de los valores obtenidos con valores reales) y la precisión (reproducibilidad son importantes) Los resultados obtenidos del análisis dependen en gran medida de la homogeneidad y representatividad de las muestras analizadas. Para ello, se llevó al laboratorio una cantidad de suelo entre 1000g y 1500g, equivalente a más de una hectárea de terreno. Una buena muestra de suelo es fundamental para el diagnóstico y se llevó a cabo en abril mediante un muestreo aleatorio, con muestras que constaban de 20 puntos aleatorios entre 0 y 20 cm de profundidad. La textura, la estructura, el color y la profundidad del efecto se determinaron directamente en el campo de cada muestra. Se realizó un análisis químico completo en el laboratorio de suelos de Agrolab para determinar pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, elementos intercambiables, arena, limo y arcilla,

incluidos. Además, los métodos y técnicas utilizadas son las que están indicadas en el Reglamento de Levantamiento de Suelos aprobado mediante DS 017-2009.

2.5. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE SUELOS E INTERPRETACIÓN

Previamente la muestra fue sometida a las diversas etapas de preparación: secado al aire y a la estufa, molienda en mortero de porcelana, tamizado en malla de 2 mm de diámetro, almacenado en recipiente hermético y etiquetado. El análisis de caracterización se realizó en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes “AGROLAB” ubicado en la ciudad de Ayacucho, cuyos protocolos y resultados se muestran en la tabla 2.2.

De los resultados del análisis de caracterización que se muestran en la tabla 2.2 se tiene que el pH del suelo es muy ácido a pesar de ser una terraza media y perteneciente a la unidad fisiográfica aluvial. Sin embargo, es necesario referir que dada la antigüedad de esta terraza, el suelo ha estado sujeto a una intensa lixiviación de bases cambiables lo cual ha condicionado la preponderancia de iones ácidos tales como el H y el Al. La conductividad eléctrica es baja debido a que el suelo no contiene sales provenientes de la meteorización de rocas y minerales o por la aportación de fertilizantes. Los agricultores de la zona no usan fertilizantes en el suelo para nutrir al cacao; por esta razón, su contenido de sales es bajo. El contenido de materia orgánica y nitrógeno total es bajo lo cual contrasta con la hojarasca presente sobre la superficie del suelo. Al ser el suelo franco arenoso, el movimiento del humus pudo ser arrastrado hacia las capas más profundas por las intensas aguas de lluvia que en la época correspondiente supera los 1700 mm anuales.

Respecto al P y K disponibles, el tenor es medio. El primero está condicionado al contenido de materia orgánica y a la reacción del suelo. Podría asumirse que el P proveniente de la mineralización de los componentes orgánicos del suelo, haya sido fijado por el Fe y esto denota su presencia al nivel indicado. En cambio el K, es concordante con la clase textural donde predominan arenas silíceas a partir del cual por meteorización, han surgido formas de K disponible en el suelo. La CIC del suelo es baja debido al tenor bajo de materia orgánica y arcilla que son factores que determinan el intercambio iónico en el suelo.

Tabla 2.2. Resultados de Análisis de suelos del C.E Samaniato

Variables	Valor	Método	Interpretación
pH (1:2.5)	5.53	Potenciometría. Solvente agua, usando la relación suelo : agua de 1: 2.5	Fuertemente Acido
Nitrógeno Total %(Nt)	0.06	Semimicro Kjeldhal.	Bajo
Materia Orgánica (%)	1.36	Oxido reducción según Walkley – Black	Bajo
Fosforo Disponible (ppm)	8.0	Método de OLSEN modificado	Medio
El potasio disponible (ppm)	123	Espectrofotometría de Absorción Atómica	Medio
Clase textural	Arena	75%	Método de Hidrómetro de Bouyoucos
	Limo	9%	Método de Hidrómetro de Bouyoucos
	Arcilla	16%	Método de Hidrómetro de Bouyoucos
CIC	11.4	Acetato de Amonio	Bajo
Ca^{++} cambiabile	9.41	Espectrofotometría de Absorción Atómica	
Mg^{++} cambiabile	0.48	Espectrofotometría de Absorción Atómica	Desbalance catiónico
K^{+} cambiabile	0.22	Espectrofotometría de Absorción Atómica	

Existe un marcado desbalance en las relaciones catiónicas Ca/Mg y Ca/K por la supremacía marcada del Ca lo cual genera una desproporción y, por tanto, antagonismos de nutrientes. Sólo se ha verificado equilibrio en la relación Mg/K. En suma, es necesario restablecer el equilibrio iónico del suelo para tener una mejor relación cantidad y proporción de nutrientes en el suelo.

2.6. MUESTREO Y ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

Los factores que mayor impacto tiene en el rendimiento y calidad de la planta es su estado nutricional. Esta determinación requiere un análisis muy preciso, ya que el estado nutricional es una característica "oculta", con síntomas evidentes que aparecen cuando el equilibrio entre los nutrientes ya es deficiente. Además, el análisis de tejidos de hojas y plantas es un complemento esencial para el análisis de suelos. Ambos son necesarios para un diagnóstico adecuado. El análisis de los tejidos vegetales es cada vez más importante debido a su potencial para suministrar nutrientes a través de los sistemas de riego. A medida que avanza el conocimiento de la nutrición de las plantas y sus necesidades de nutrientes en varias etapas de crecimiento, el análisis de hojas se ha convertido en una herramienta muy útil para lograr altos rendimientos.

2.6.1. Muestreo de tejido vegetal

Las instrucciones seguidas en el muestreo son muy específicas para la parte y etapa de crecimiento de la planta, porque para interpretar correctamente los resultados de la prueba es necesario compararlos con rangos de valores normales o "estándar"... Estos rangos clave son desarrollados a través de la investigación y la investigación sobre el cultivo del cacao definido. Como no existen o existen instrucciones precisas para el muestreo, la regla general a seguir es seleccionar hojas que hayan alcanzado la madurez fisiológica más reciente. Se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Preferiblemente muestras de plantas en plena etapa de producción.
2. El muestreo se realizó considerando el estado fenológico del cultivo, ya no sujeto a posibles influencias climáticas.
3. Las hojas muestreadas se tomaron de la zona media de la rama en ese año. Esta rama, que es un retoño, debe ser de mediana fuerza, flechas e inesperados. Además, el brote no debe ser un brote succionadora y su forma no debe ser caída. También, los conductos de donde se toman las muestras deben estar en diferentes direcciones. Los mismos árboles deben ser muestreados cada año.

4. Las hojas recolectadas tenían un promedio de 1,5 a 2,5 metros de altura y se tomaron del exterior del árbol. Las hojas estudiadas tenían pecíolos, y tenían que estar verdes, sin daños e intactos si se iba a investigar un problema identificado.
5. La muestra debe tener un total de 50-100 hojas y un peso seco de aproximadamente 100 gramos.
6. El muestreo de flores se realizó en la etapa fenológica de plena floración.
7. El muestreo de frutos en pepinillo del cacao se realizó cuando el 50% más uno de los árboles se encontraban en esta etapa fenológica.
8. Los frutos fueron muestreados al inicio de la fructificación, con 50% más 1 árbol en esta etapa fenológica.
9. Cuando las mazorcas se encontraban en pleno llenado de granos, se muestreó cuando el 50% más uno de los árboles se encontraban en esta etapa fenológica.

En cuanto a, la Tabla 2.3 muestra el momento del muestreo, el número de plantas muestreadas y el método utilizado. Diversos estudios han demostrado que el número de plantas recolectadas y el número de hojas individuales afectan directamente la variabilidad de los resultados. Observamos cómo esta variación está más fuertemente influenciada por el número de árboles muestreados que por el número de hojas muestreadas por árbol. A menudo es preferible seleccionar y muestrear un mayor número de plantas que recolectar muchos tejidos de unas pocas plantas. Los cinco muestreos realizados son:

a) Primer muestreo (09 de diciembre de 2013)

Se realizó el muestreo de hojas tiernas y/o jóvenes recolectando entre 25 a 30 hojas por planta de cacao y con 7 repeticiones. Esta actividad se realizó después de haber realizado la poda de mantenimiento de plantaciones de cacao del clon CCN-51.

b) Segundo muestreo (03 de abril de 2014)

Se colectó hojas entre 25 a 30 hojas y flores de 07 plantaciones de cacao. Esta actividad se realizó en la etapa de floración de cacao del clon CCN-51.

c) Tercer muestreo (26 de abril de 2014)

En el muestreo de hojas se colectó una cantidad de 25 a 30 hojas y mazorcas en pepinillo en siete plantas. Esta actividad se realizó en la etapa de pepinillo de plantaciones de cacao del clon CCN-51.

d) Cuarto muestreo (31 de mayo de 2014)

El muestreo de hojas se hizo colectando entre 25 a 30 hojas y mazorcas en cuajado de frutos. El muestreo corresponde a la etapa de cuajado de frutos de las plantaciones de cacao del clon CCN-51.

e) Quinto muestreo (31 de junio de 2014)

La colecta de hojas se hizo en una cantidad que oscila entre 25 a 30 hojas y también de mazorcas en llenado de frutos. Las plantas de cacao se encuentran en el ciclo fenológico que corresponde al llenado de frutos.

2.6.2. Colección y preparación de la muestra

Normalmente, de 150–200 gramos de material vegetal empacado en bolsas de papel absorbente bien ventiladas fue suficiente para el análisis de hojas. Para pecíolos, de 50 a 100 gramos son suficientes. Como las muestras estaban contaminadas con polvo, suelo, fertilizante o residuos de aspersión, se limpiaron ligeramente de la siguiente manera: unas gotas de un detergente libre de fosfatos luego se agitó suavemente en 10 segundos.

Tabla 2.3. Cronograma de muestreo de plantas de cacao CCN-51 en Samaniato

Descripcion	Frecuencia de muestreo (Semanas)	Etapas Fenologicas							
		Despues de la poda	Plena floracion		Mazorcas en pepinillo		Mazorcas en Cuajado de frutos		Mazorcas en llenado de granos
Plantacion 01	0-8	Analisis foliar de 07 plantaciones de cacao							
Plantacion 02									
Plantacion 03									
Plantacion 04									
Plantacion 05									
Plantacion 06									
Plantacion 07									
Plantacion 01	08-16		Analisis foliar de 07 plantaciones de cacao	Analisis foliar de las 07 plantaciones de cacao.					
Plantacion 02									
Plantacion 03									
Plantacion 04									
Plantacion 05									
Plantacion 06									
Plantacion 07									
Plantacion 01	08-16				Analisis foliar de 07 plantaciones de cacao	Analisis de mazorcas en estado de pepinillo de las 07 plantaciones de cacao.			
Plantacion 02									
Plantacion 03									
Plantacion 04									
Plantacion 05									
Plantacion 06									
Plantacion 07									
Plantacion 01	08-16						Analisis foliar de 07 plantaciones de cacao	Analisis de mazorcas en estado de cuajado de frutos de las 07 plantaciones	Analisis de mazorcas en estado de llenado de granos de las 07 plantaciones
Plantacion 02									
Plantacion 03									
Plantacion 04									
Plantacion 05									
Plantacion 06									
Plantacion 07									

Se tuvo cuidado de no prolongar el lavado ya que puede dañar el tejido de la planta y eliminar algunos componentes solubles. Además, se retiró la malla y se enjuagó rápidamente la muestra con un chorro de agua limpia. Igualmente, se procedió a secar con una toalla de papel limpia. Las muestras se secan al aire libre (temperatura inferior a 50 °C) durante 1 día antes de enviarlas al laboratorio en bolsas de papel debidamente etiquetadas y perforadas. Estas bolsas están hechas de papel ligeramente absorbente que permite la circulación del aire y un cierto secado durante el tránsito.

2.6.3. Digestión por vía húmeda

Luego del secado, las muestras fueron molidas para reducir el tamaño de partícula y obtener muestras listas para análisis de laboratorio. Se tuvo cuidado en el caso particular del análisis de Fe, ya que puede ocurrir una contaminación significativa si la muestra entra en contacto con piezas de acero durante el molino. Para evitar esta contaminación, trituramos las muestras con un mortero de porcelana. Después de secar y pulverizar las muestras, se almacenaron indefinidamente en un ambiente oscuro, seco y frío (4°C).

La base de la determinación de minerales es un ataque húmedo por etapas en el que las muestras de tejido vegetal se exponen a agentes oxidantes fuertes (HNO_3 y HClO_4), para obtener un extracto después de que todos los constituyentes se hayan oxidado. El HClO_4 es un agente oxidante altamente reactivo cuando se calienta y puede causar una explosión al entrar en contacto con compuestos fácilmente oxidables. Por lo general, la muestra primero se digiere con HNO_3 y se agrega HClO_4 después de que se completa la digestión inicial y la muestra se enfría.

2.6.4. Ataque por vía húmeda: Procedimiento

- Se pesó de 2 gramos de muestra previamente triturada en mortero de laboratorio, se colocó en un balón Kjeldahl de 250 ml limpio y seco, evitando en lo posible, que la muestra no se adhiriera en las paredes del balón.
- Se agregó 20 ml de HNO_3 concentrado al 70% (siendo 10 ml por cada gramo de muestra), girar lentamente el balón, a fin de humedecer toda la muestra sólida.
- Se digiere por espacio de 45 minutos, a una temperatura baja, de más o menos 150°C, hasta observar que toda la muestra sólida se encuentre en solución y hasta que el volumen del ácido se haya reducido por lo menos $\frac{3}{4}$ de su volumen inicial, retirar el balón de la fuente de calor.

- Se agregó 10 ml de HClO_4 concentrado 70% (siendo 5 ml por cada gramo de muestra), lentamente por las paredes del balón.
- Digerir nuevamente por espacio de una hora, al inicio con temperatura baja y posteriormente elevarlo hasta observar que la solución inicial se aclare, asimismo, que el volumen de ácido se haya volatilizado; en este momento se retiró el balón de la fuente calorífica y se enfría.
- Se agregó 30 ml de HCl 6N (siendo 15 ml por cada gramo de muestra), este agregado se hace, por lo general, para la determinación de azufre, por el método azul de metileno.
- Se digiere nuevamente por espacio de 90 minutos, a una temperatura intensa, hasta observar que la solución se aclare, como también que el volumen del ácido se haya reducido al máximo, es decir, hasta unos 10 ml. Se retiró el balón de la fuente calorífica y se enfrió completamente.
- Finalmente, en un equipo de filtración previamente instalado, se filtró cuantitativamente la solución digerida, agregando unos 50 ml de agua destilada.
- Se conserva el extracto en un recipiente con tapa, con su respectiva etiqueta.

Observaciones

- En las diferentes etapas de todo el proceso de la digestión, se agitó siempre el balón cada 10 o 15 minutos.
- Se evitó en lo posible, la abundante formación de espumas al inicio de la digestión con el HNO_3 , retirando momentáneamente el balón del digestor.
- Se controló y evitó que no se evapore hasta casi sequedad el ácido lo que ocasionaría la carbonización de la muestra; así mismo, se trató en lo posible no respirar los gases que emanan durante el primer ataque con HNO_3 , donde los gases nitrosos son muy tóxicos. Para ello se usó gafas, máscara y una campana de extracción.

Después de haber obtenido el licor (extracto), producto de la digestión, se procede a la determinación de los siguientes elementos:

- Nitrógeno: por digestión de la muestra vegetal seca y molida con H_2SO_4 y catalizadores y destilación semi micro Kjeldhal. La concentración de N se expresa en % con dos decimales

- Fósforo: se determina la concentración de P por colorimetría del complejo fosfovanadomolibdato. Se informa la concentración de P en la muestra de tejido vegetal en % con dos decimales.
- Azufre: se determina la concentración de S-SO₄ por turbidimetría del sulfato de bario. Se informa la concentración de S en la muestra en % con dos decimales.
- Calcio, Magnesio y Potasio: Por espectrofotometría de absorción atómica con lámpara de Ca, Mg y K. La concentración se expresa en % con dos decimales.
- Hierro, Cobre, Zinc y Manganeseo por espectrofotometría de absorción atómica con lámparas de Fe, Cu, Zn y Mn. Las concentraciones se expresan en mg/kg sin decimales

2.7. VARIABLES EN EVALUACIÓN

2.7.1. Rendimiento de materia seca

Las muestras colectadas (hojas, flores, pepinillo y mazorcas maduras) hasta el quinto muestreo fueron previamente lavadas con agua corriente, agua acidulada con HCl 0.03 N y abundante agua desionizada. Se dejaron secar al aire por espacio de 2 horas y luego depositadas en bolsas de papel para completar el secado en una estufa con circulación de aire caliente por espacio de 48 horas. Se dejó enfriar y se pesó en una balanza analítica expresando los resultados en gramos.

2.7.2. Absorción de N, P, K, S, Ca y Mg

La absorción de nutrientes por la planta de cacao, se determinó a partir de los contenidos porcentuales y reporte analítico de nutrientes en las muestras de hojas, flores, frutos al estado de pepinillo, cuajado y llenado de granos obtenidos mediante muestreos realizados durante las fases fenológicas del cultivo.

Para la confección del hexágono de absorción se usó el Microsoft Excel usando los porcentajes de los seis nutrientes. El radio del círculo representa la absorción promedio de los seis elementos mencionados; luego, se comparan éstos con los obtenidos en las muestras correspondientes a cada muestreo.

2.7.3. Absorción de Fe, Cu, Zn y Mn

La absorción de micronutrientes por la planta de cacao, se determinó a partir de los contenidos expresados en ppm y reporte analítico de nutrientes en las muestras de hojas,

flores, frutos al estado de pepinillo, cuajado y llenado de granos obtenidas mediante muestreos realizados durante las fases fenológicas del cultivo.

Para la confección del cuadrado de absorción se usó el Microsoft Excel usando los porcentajes de los cuatro nutrientes. El radio del cuadrángulo representa la absorción promedio de los cuatro elementos mencionados; luego, se comparan éstos con los obtenidos en las muestras correspondientes a cada muestreo.

2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La información de la extracción de nutrientes fue sometida al análisis de tendencia mediante el estudio de regresión y correlación para lo cual se probaron los siguientes modelos matemáticos:

- Lineal : $Y = a + bX$
- Logarítmico : $Y = a + b\ln X$
- Polinómico
 - Cuadrático : $Y = a + bX + cX^2$
 - Cúbico : $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$
- Exponencial : $Y = a e^{bX}$
- Potencial : $Y = a X^b$

La elección del mejor modelo fue de acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) más alto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DEL CONTENIDO DE MATERIA SECA

El contenido de materia seca que se observa en la figura 3.1, muestra que las hojas conforme van aumentando en edad y tamaño, variaron los contenidos de materia seca. Se diferenciaron en hojas tiernas (HT), hojas semi tiernas (HST) y finalmente hojas maduras (HM) en la que los contenidos de materia seca fluctuaron entre 8.15 % (HT), 13.57% (HST) y 49.82%, respectivamente. Las flores tuvieron un contenido menor (7.07%) y los frutos maduros aumentaron desde el denominado fruto pepinillo con un contenido menor de materia seca (12.72%), en tanto que en los frutos cuajados y llenos, sin mayor variación y diferenciándose grandemente cuando alcanzan el estado de grano seco, con un contenido de 92%.

Según Marschner (2012), menciona que el crecimiento como medida del incremento en tamaño de las células se relaciona con el incremento de la materia seca contenida en el vegetal y refiere que el peso seco es una variable para determinar varios índices fisiológicos. En tal sentido tanto las hojas como los frutos en la medida en que empiezan a crecer, los contenidos de materia seca van en aumento siendo mayor por ejemplo en la hoja adulta que empieza a perder agua para entrar en la madurez fisiológica. Este estado se produce durante un periodo luego de la poda. Los frutos o mazorcas que desarrollan lentamente se inician como pepinillos con un elevado contenido de agua (87.18%), para luego ir acumulando materia seca, hasta alcanzar el 92%, que es cuando ya los frutos se encuentran muy bien formados y los granos de cacao, se encuentran en plena madurez fisiológica. Sin embargo no se ha determinado la proporción de fruto o grano propiamente dicho y la cantidad de cáscara.

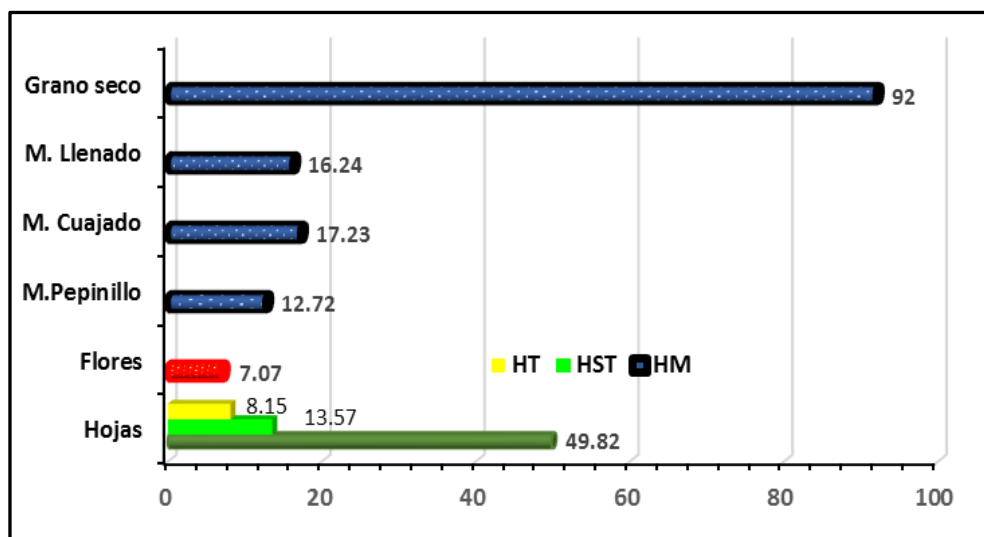


Figura 3.1. Contenido de materia seca (%) en los órganos de la planta

En cuanto a, el crecimiento se refiere al aumento irreversible en materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma y/o número, en función del genotipo y complejos ambientales, que resultan en cambios cuantitativos en el tamaño y peso de la planta. Además, el desarrollo es un conjunto de eventos que provocan cambios cualitativos en la morfología y función de las plantas y, a su vez, en la formación de productos. Dada la estrecha relación entre el crecimiento y la diferenciación que surge durante el desarrollo de la planta, los dos no pueden separarse, ya que están respaldados por interacciones con factores extrínsecos y extrínsecos. En este contexto, la asimilación de la materia seca y su distribución dentro de la planta son procesos importantes que determinan la productividad de la planta. Estudiar los patrones de distribución de materia seca entre las diferentes partes de la planta, la variabilidad de estos patrones entre cultivares y los efectos de las condiciones ambientales en los procesos puede ayudar a maximizar la productividad y seleccionar cultivares o clones para propósitos específicos. El cacao CCN 51 es un clon tolerante a la moniliasis y escoba de brujas, principales problemas fitosanitarios en el VRAEM, por lo que el establecimiento de plantaciones con esta y otros cultivos genéticamente resistentes a enfermedades, el establecimiento de plantaciones con fertilización reduce la necesidad de aplicar fungicidas sintéticos. Esto hace que la cosecha sea ecológica y atractiva para los agricultores.

Marschner (2012), Taiz y Zeiger (1998), expresan que los nutrientes minerales participan en el metabolismo vegetal cumpliendo funcionalidades concretas y

fundamentales como constituyentes de estructura orgánicas, activadores de actitudes enzimáticas, portadores de carga y osmoreguladores. Además, la tasa de unión de nutrientes es dependiente de las concentraciones en el medio y de la demanda de la planta, esta última definida por su tasa de aumento y por la concentración en los tejidos, de nutrientes como el Nitrógeno. Con una alta concentración interna, se muestra una disminución en la tasa del proceso de unión de nutrientes, lo que podría implicar la eliminación de genes que codifican enzimas relacionadas en este proceso. Pese a este mecanismo de regulación por “feedback” (retroalimentación), las plantas tienen la posibilidad de demostrar consumo de lujo de nutrientes específicos (absorción a una tasa mayor de la solicitada para mantener el crecimiento), lo que conduce a la acumulación de nutrientes. Lambers et al (2008).

Respecto a la diferenciación del contenido de materia seca según el estado de las hojas, flores y frutos, Marschner (2012) indica que los nutrientes asociados con el metabolismo se hallan en mayor concentración en los estados iniciales de la formación de una hoja u otro órgano. Enseguida se muestra una disminución en el contenido, gracias a efectos de dilución de la concentración por incrementos en el material del muro celular a lo largo de la extensión de la hoja y por reabsorción de nutrientes a lo largo de la senescencia. Lambers et al. (2008) y Taiz y Zeiger (1998).

3.2. DE LA ABSORCIÓN DE N, P, K, S, Ca, Mg POR LA PLANTA

Es este caso la nutrición vegetal es el proceso que le posibilita a las plantas interceptar y aspirar los minerales que necesita para su incremento y desarrollo. El funcionamiento de la nutrición, posibilita potenciar las ocupaciones metabólicas de la planta y convertirla en una máquina provechosa natural optimizando la utilización de los nutrientes para conseguir la máxima productividad viable bajo las condiciones dadas. No obstante, para el logro de este objetivo, hace falta conocer los requerimientos y la conducta de las plantas al aumentar la disponibilidad de nutrientes, decidir las necesidades para cada fase y los demás puntos que tienen la posibilidad de perjudicar la nutrición, como el nivel hídrico.

De igual forma, en el sistema beneficioso el funcionamiento nutricional se hace adicionando al suelo fuentes de minerales, en las dosis determinadas y en las épocas apropiadas para su aprovechamiento. Para que sea efectivo en términos agronómicos, se

debería integrar la apariencia hídrica; de tal forma que manejar la nutrición incluye la administración integral de todos los recursos productivos. Asimismo, las plantas absorben del suelo un número de recursos nutritivos en cantidades concretas y es fundamental que estas cantidades se mantengan balanceadas para facilitar su absorción. Según la magnitud de la demanda, los nutrientes se catalogan en macro recursos: N, P y K; recursos secundarios: Ca, Miligramo y S; y micro recursos: Mn, Cu, Zn, Fe, Mo y B. No obstante, todos son por igual elemental para el metabolismo y desarrollo de las plantas.

En cuanto a, la producción del cultivo, 3 componentes primordiales influyen sobre el rendimiento, el clima, el suelo y los requerimientos el cultivo, recursos necesarios para conceptualizar las estrategias de desempeño del sistema productivo. Acorde como indica Costa et al. (2001), para mejorar la producción de cacao se debería tener en cuenta los componentes del medio ambiente y sus relaciones; sin embargo, el efecto sobre aumento y productividad es dependiente de la genética, que establece las propiedades fisiológicas y morfológicas. Entre los componentes climáticos, la temperatura es crítica para el aumento; el sistema pluviométrico, pese a su trascendencia, podría ser suplementado con riego; la radiación solar y la humedad relativa interfieren en los mecanismos fisiológicos de la planta; aun de esta forma, no son restricciones ecológicas gracias a la probabilidad de mantener el control de, dichos componentes, por medio del funcionamiento del sombrero.

De igual forma, el cacao a pleno sol, con abasto conveniente de agua y nutrientes, salvaguardado del aire, genera más que cultivado bajo sombra. Debido al crecimiento de la fotosíntesis, las plantas necesitan más grandes porciones de nutrientes; por consiguiente, se debería intentar aporte conforme a sus necesidades (frecuencia y cantidad); pues la capacidad fotosintética está correlacionada con la concentración de nitrógeno en las hojas y, en plantas bastante sombreadas, dosis altas de nitrógeno reducen la tasa fotosintética. (Costa et al., 2001).

Igualmente, los suelos minerales tienen dentro entre 90 y 99% de materia mineral y 1 a 10% de materia orgánica, como fuentes primarias de nutrientes. No obstante, las fuentes se debilitan con el pasar del tiempo, debilitamiento que depende del tipo de suelo y la

magnitud de su uso por la agricultura. Si tal cosa pasa, nace la necesidad de costear para añadir los nutrientes que se hallan en insuficiencia. Porta et al (1994).

También, la producción de cacao, en el mundo generalmente, se hace bajo sistemas clásicos, los rendimientos son bajos, excepto en varias condiciones bastante particulares, aproximadamente en el planeta se genera 550 kg ha^{-1} , en Ecuador con CCN 51 alcanzan 2 t.ha^{-1} , en Indonesia logran hasta 3 t.ha^{-1} . Además, la primordial estrategia para obtener dichos rendimientos es localizar el cultivo en óptimas condiciones agroecológicas y utilizar fertilización. Asimismo, la baja productividad en los cultivos de cacao en el VRAEM se debería, primordialmente, a la carencia de tecnificación, que se traduce en ausencia de tareas culturales como por ejemplo podas, fertilización, riego, drenaje y siembras (renovaciones), en un 99% de las tierras.

En cuanto a, el Ministerio de Agricultura y Riego (2016) informó que se introdujo al Perú la diversidad provechosa CCN-51, para traer mayor productividad económica en el campo de los cultivos de la hoja de coca, apoyar programas de sustitución de la coca en estos y otros tipos de cultivos. Otra selección de variedades aromáticas “Cacao de Oro” busca preservar las cualidades sensoriales y los principios genéticos del cacao peruano. Se trata de dos intentos encaminados a un cultivo singular que no está sujeto a las costumbres campesinas ni a los campos.

Es importante mencionar que San Martín es la región con mayor área sembrada de cacao: 28.984 hectáreas (34% del área total). De estos, el 90% son plantaciones de cacao de la variedad CCN-51 (26.086 ha) y el 8% son de las variedades Criollo y Nativo (2.139 ha). La región Cusco cubre 21.740 ha (25,6% del área total), seguida por 60% de cacao criollo nativo (13.044 ha) y 8.261 ha de cacao CCN-51 (38%). Asimismo, la región Junín, con 9.356 hectáreas (11% del área total) de cacao, cuenta con el 65% de las plantaciones de las variedades Criollo y Nativo (6.081 ha) y el 33% de la variedad CCN-51 (3.087 ha). Además, de otras regiones con importantes plantaciones de cacao en Criollo y Nativo son Ayacucho (6.149 ha) y Amazonas (4.459 hectáreas respectivamente).

Del mismo modo, las variedades Trinitario, Forastero y CCN-51 son (moderadamente) resistentes a las patologías como la escoba de bruja, moniliasis, pudrición parda y tienen

un mayor rendimiento promedio. Por su lado, la variedad Criolla y la Nativa son sensibles a las patologías señaladas antes, muestran un menor rendimiento, aunque son compensadas con su buena calidad.

Igualmente, la absorción de nutrientes por la planta de cacao, se determinó a partir de los contenidos porcentuales y reporte analítico de nutrientes en las muestras de hojas, flores, frutos al estado de pepinillo, cuajado y llenado obtenidas mediante muestreos realizados durante diferentes periodos de evaluación o fases fenológicas del cultivo. Los reportes dan una idea de las necesidades nutricionales de la planta de cacao, en cada estado. Cabe destacar que estos resultados acompañados de los pesos secos de las muestras y la densidad de plantas en la parcela experimental, son la base a partir de la cual se elaboran las figuras de ritmo de extracción, contenidos porcentuales, equilibrio fisiológico y polígono de extracción.

Guerrero (2012) menciona que uno de los componentes que más perjudica el rendimiento y la calidad de los cultivos es su estado nutricional. Además, esta decisión necesita estudio bastante exacto, debido a que el estado nutricional es una característica "oculta" cuyos indicios visibles aparecen una vez que existe ya un balance inadecuado entre los nutrientes. También, los análisis foliares o de tejidos vegetales son el complemento imprescindible a los estudios de suelo. Los dos son necesarios para poder hacer un óptimo diagnóstico. En la actualidad, con la probabilidad de proporcionar nutrientes por medio de sistemas de irrigación, los estudios de tejidos vegetales vinieron adquiriendo una trascendencia cada vez mayor. Acorde avanzan los conocimientos sobre nutrición de la planta y sus requisitos nutrimentales en las distintas fases de aumento, la exploración foliar se convirtió en un instrumento bastante eficaz para poder hacer elevados rendimientos.

3.2.1. Absorción y ritmo de extracción de N

El nitrógeno es un nutriente que es imprescindible para las plantas a partir de los principios de su formación. De la misma forma que sostiene Marschner (2012), es constituyente de todos los aminoácidos, o sea, presente en cada proteína. Además es parte de la molécula de clorofila y de los ácidos nucleicos. Además, el nitrógeno estimula el aumento de tallos y hojas; además, estimula la producción de proteínas en frutas y granos y ayuda a que la planta use otros nutrientes como fósforo y potasio. Por

su lado Zavala (2007), refiere que el nitrógeno está contenido en todos los ácidos nucleídos, proteínas y a lo largo del protoplasma. De esta forma, un crecimiento en el aporte de nitrógeno, además se incrementa la interacción que existe entre la proporción de proteína y el muro celular. También, la formación de proteínas origina el aumento de las hojas y el incremento de la expansión de su área verde, incrementándose de esta manera la fotosíntesis y estimulándose el ulterior crecimiento y desarrollo, por lo tanto, la superficie foliar total es proporcional al aporte de nitrógeno. Lo mencionado correlaciona con la extracción de N en las hojas. Se verifica que a partir de los 70 DDP, aumenta la extracción hasta los 209 DDP para luego descender ligeramente. La figura 3.1 nos permite reafirmar lo mencionado en la literatura citada, porque el cacao desde inicios de formación de hojas (luego de la poda), necesita o extrae nitrógeno de forma permanente. Así, muestra que extrae 7.12 kg.ha^{-1} a los 70 días después de la poda (DDP), duplica el requerimiento a los 154 DDP y alcanza su máxima necesidad de 14.34 kg.ha^{-1} a los 209 días y, posteriormente, mantenerse así por el resto del periodo vegetativo del cultivo (tabla 3.1).

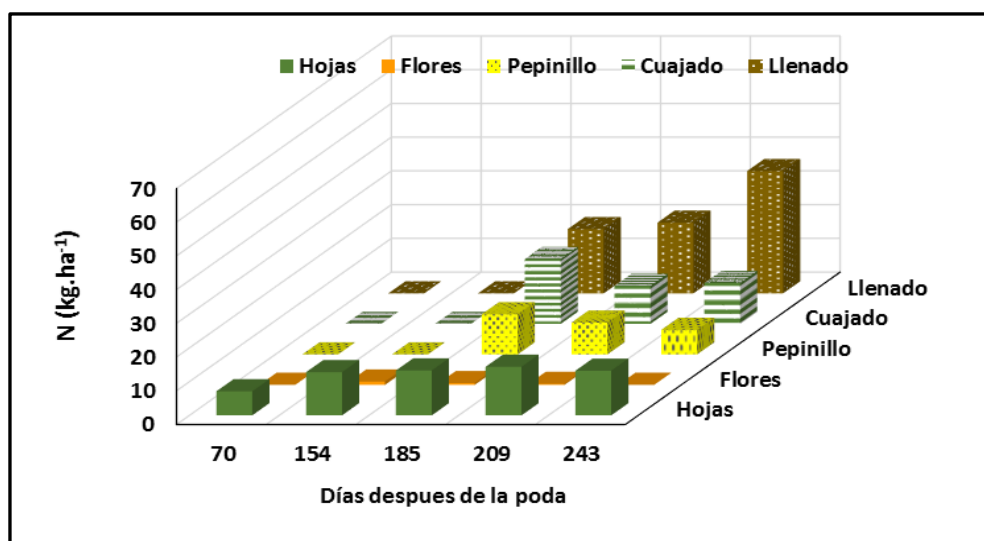


Figura 3.2. Ritmo de extracción de Nitrógeno (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

La tabla 3.1 muestra que el contenido de nitrógeno en las flores, es muy pequeña, alcanzando un total de 1.78 kg.ha^{-1} durante el periodo comprendido entre 154 a 209 días después de la poda. Las mazorcas de cacao, desde los denominados pepinillos, que es el estado inicial de formación de fruto o mazorca desarrollados luego de la floración, requieren cantidades variables de nitrógeno de acuerdo al número de frutos en el árbol,

de manera que a los 185 DDP las necesidades totales fueron de 11.90 kg.ha⁻¹ para luego disminuir hasta 7.27 kg.ha⁻¹, en razón a que ellos fueron incrementando su tamaño y fueron considerados con otra denominación, como frutos cuajados y llenos, evaluando la extracción en los periodos comprendidos de 209 a 243 DDP. De este modo, durante la evaluación entre los 185 y 243 días después de la poda, se obtiene una extracción total de 28.59 kg.ha⁻¹. La acción del nitrógeno en los frutos de la planta se manifiesta en el alargamiento y engrosamiento (Simpson, 1991). De manera similar, cuando los frutos están cuajados, la cantidad total extraída es de 42.56 kg.ha⁻¹ y finalmente cuando las mazorcas están llenas, la cantidad de nitrógeno extraído es de 76.28 kg.ha⁻¹, tal como se aprecia en la figura.

Tabla 3.1. Ritmo de extracción de N (Kg.ha-1) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	7.12	12.81	13.29	14.39	13.23	60.84
Flores	0	0.96	0.53	0.29	0	1.78
Pepinillo	0	0	11.9	9.42	7.27	28.59
Cuajado	0	0	19.2	11.24	12.12	42.56
Llenado	0	0	19.05	20.96	36.27	76.28
Total	7.12	13.77	63.97	56.3	68.89	210.05

El ritmo de extracción en esta última etapa es creciente desde 19.05 hasta 36.27 kg.ha⁻¹ y es la etapa en la que aumenta el número de frutos llenos con un contenido de nitrógeno acumulado considerablemente mayor, en razón a las funciones que éste elemento desarrolla en cada una de las células del fruto o lo que es lo mismo, en los granos y los tejidos protectores de éstos o cáscaras. Las extracciones totales en nuestro caso, tanto en semillas como en la cáscara resultan diferentes a los obtenidos por Puentes-Páramo et al (2014), quienes para el mismo clon CCN-51 encontraron 21.88 kg.ha⁻¹ de N, solo en los granos. Del mismo modo Furcal y Beriguete (2017), encontraron que los clones ICS-95, CATIE-R4 y CATIE-R6, extraen 24.2, 24.1 y 23.9 kg.ha⁻¹ de N en los granos y 13.4, 12.3 y 13.8 kg.ha⁻¹ en el resto de las mazorcas, respectivamente. Es decir, si obtenemos la suma de la extracción total estaríamos frente a valores totales de 37.6, 36.4 y 37.7 kg.ha⁻¹ en cada uno de los clones evaluados. Los valores obtenidos son similares a los reportados por los mencionados investigadores.

3.2.2. Absorción y ritmo de extracción de P

El fósforo es un macroelemento esencial para el crecimiento de las plantas. Igualmente, el fósforo está involucrado en procesos metabólicos como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación y descomposición de carbohidratos. También, el fósforo como constituyente de la célula, está presente en todos los órganos de la planta en diversas concentraciones, pero como se observa en la figura 3.3 la mayor cantidad de fósforo se encuentra durante el periodo de cuajado y llenado de los frutos. Este nutriente tiene un papel definitivamente imprescindible para la planta, por conformar el núcleo de las células; es indispensable en la separación celular y de aquí que sea más que nada fundamental a nivel de los puntos de vista de aumento o tejido de los meristemos, tanto en las hojas como en las raíces. De igual modo, la concentración de fósforo en las células que se encuentran en separación podría ser hasta mil veces mayor a la que existe en células maduras (Marschner, 2012). La misma figura muestra que a los 185 días, la absorción es mayor en el proceso fenológico de cuajado y llenado de frutos.

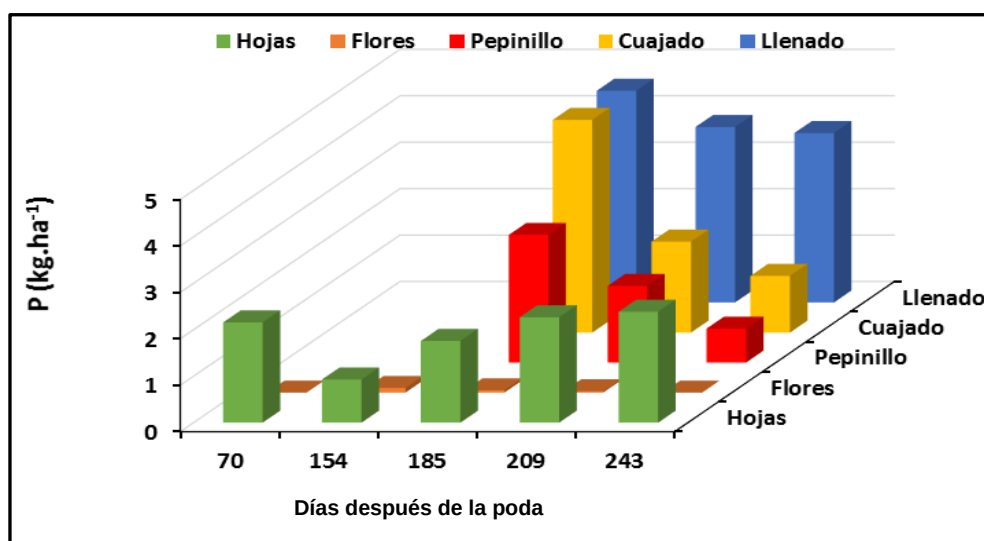


Figura 3.3. Ritmo de extracción de Fosforo (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Por ello, la raíz como primer órgano de absorción en sus primeras etapas fenológicas, absorbe el fósforo que está en el suelo tanto en forma orgánica y forma inorgánica siendo su solubilidad baja. Existe un equilibrio entre el fósforo en la etapa sólida del suelo y el fósforo en la solución del suelo. Además, las plantas tienen la posibilidad de adsorber sólo el fósforo disuelto en la solución del suelo, y pues la mayoría del fósforo

en el suelo existe en compuestos químicos estables, únicamente una pequeña proporción de fósforo está disponible para la planta en cualquier instante dado.

Dado que el fósforo de la solución del suelo por las raíces, parte del fósforo adsorbido en la fase sólida del suelo se libera en la solución del suelo, manteniendo un equilibrio químico. Además, los tipos de compuestos de fósforo presentes en el suelo están determinados principalmente por el pH del suelo y el tipo y la cantidad de minerales en el suelo. En cuanto al lugar donde se realizó la encuesta, para la localidad donde se llevó a cabo la investigación, la reacción del suelo es ácida que pudo limitar su absorción coadyuvado por la baja concentración de fósforo disponible en el suelo (el reporte del análisis de caracterización reporta 9 ppm de P). En general, los compuestos minerales que forman el fósforo son compuestos de aluminio, hierro, manganeso y calcio. En suelos ácidos, el fósforo tiende a reaccionar con el aluminio, el hierro y el manganeso, mientras que en suelos alcalinos la principal fijación es el calcio. El rango de pH óptimo para la máxima utilización del fósforo es de 6,0 a 7,0. En muchos suelos, la descomposición de materia orgánica y residuos de cultivos contribuye al fósforo disponible. Sin embargo, la acidez del suelo, condiciona la mineralización con el consecuente bajo tenor del nutriente en el suelo. A partir de los 185 hasta los 243, el contenido de P en las hojas tiende a aumentar, mientras que en los pepinillos y al cuajado de los frutos la propensión de absorción disminuye. Lo contrario ocurre con el llenado que tiene una tendencia al incremento hacia el final del proceso productivo. Además, las plantas absorben del suelo un número de recursos nutritivos en cantidades concretas y es fundamental que estas cantidades se mantengan balanceadas para facilitar su absorción. Una vez que hay deficiencia de fósforo, las plantas crecen poco a poco y las hojas se quedan pequeñas y desarrollan un color pálido en las orillas y en las puntas. Además, las hojas adolescentes se vuelven más pálidas que las venas y luego se queman las orillas de las hojas. También, el incremento nuevo tiene internudos cortos y las hojas se colocan en ángulo con interacción a la rama; las hojas maduras se vuelven de color verde bastante oscuro.

La tabla 3.2 muestra las extracciones de P por los diferentes órganos de la planta. Se ha encontrado que en las hojas existe una tendencia ascendente alcanzando 2.39 kg ha^{-1} a los 243 DDP; en las flores, la extracción es muy reducida con sólo 0.18 kg ha^{-1} ; en el estado de pepinillo y cuajado del fruto, las extracciones inician a los 185 DDP para ir

disminuyendo a 0.73 y 1.22 kg ha⁻¹, respectivamente a los 243 DDP. El mismo comportamiento se muestra para el llenado del fruto; sin embargo, los valores de extracción son mayores a partir de los 185 a 243 DDP alcanzando un valor de 3.65 kg ha⁻¹.

Tabla 3.2. Ritmo de extracción de P (kg ha⁻¹) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	2.16	0.93	1.76	2.27	2.39	9.51
Flores	0	0.1	0.05	0.03	0	0.18
Pepinillo	0	0	2.75	1.65	0.73	5.13
Cuajado	0	0	4.58	1.96	1.22	7.76
Llenado	0	0	4.56	3.78	3.65	11.99
Total	2.16	1.03	13.7	9.69	7.99	34.57

Controlar la fertilidad del suelo de cacao requiere lograr un equilibrio óptimo de entradas y salidas de nutrientes. En las plantaciones de cacao, el aporte de nutrientes proviene de la descomposición de las rocas, la descomposición de la hojarasca y los residuos vegetales, los nutrientes que traen la lluvia de la atmósfera y el levantamiento del área. En la misma plantación de cacao, los nutrientes se liberan a través de la producción de flores, granos, mazorcas, cáscaras, ramas y hojas, el arrastre de nutrientes y las corrientes de agua. También, un suelo que tiene más nutrientes que ingresan a la parcela de los que consumen las plantas crea un balance positivo. Es un suelo bastante fértil. Con menos degradación de las rocas, el suelo se desequilibra, se vuelve cada vez más ácido y deficiente en nutrientes. Los suelos en los que se estudió el cacao contenían reacciones ácidas, bajos niveles de materia orgánica y fósforo disponible, lo que significaba que la absorción era limitada.

3.2.3. Absorción de K

El potasio (K) es un macro nutriente importante solicitado en grandes cantidades para el común aumento y desarrollo de los cultivos. Varias de las primordiales funciones de las plantas donde el K está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas Maathuis y Sanders, (1996) , Marschner, (2012). Además, cantidades idóneas de potasio son relevantes contribuyentes en la habituación de los

cultivos al stress provocado por componentes bióticos y abióticos, como por ejemplo sequías, salinidad, heladas, ataques de insectos o patologías Kafkafi, (1990, 1997). El potasio está comúnmente en un rango entre 1 a 4 % de la materia seca (MS), logrando conseguir más del 8 % en algunas ocasiones. Raven et al., (1976), Leigh y Wyn-Jones. (1984). La mayor parte de los cultivos anuales de grano, como es el cacao, necesitan K en los primeros estadios del aumento y la máxima absorción se verifica a lo largo de la fase vegetativa Lawton y Cook (1954), Kafkafi y Xu, (1999). Su concentración cambia extensamente, no solo entre especies diferentes sino además entre los múltiples órganos de la planta. Cuando las hojas más antiguas de la planta han alcanzado sus concentraciones concretas de K, el flujo neto de K a partir de las raíces sacia solo las porciones correctas para el desarrollo y aumento de novedosas raíces. Por consiguiente, el flujo de K a partir de las raíces está definido en parte importante por la tasa de incremento de la planta Pitman, (1972). También, los requerimientos de K varían con el progreso de los periodos fisiológicas del cultivo y según sean cultivos anuales, perennes o árboles frutales. Para poder hacer una óptima producción debería saberse en qué momento la demanda de nutrientes por la planta es mayor o menor. Por consiguiente, se necesita conocer en detalle la absorción, el movimiento, y el reparto del potasio en la planta a lo largo del periodo fundamental del cultivo.

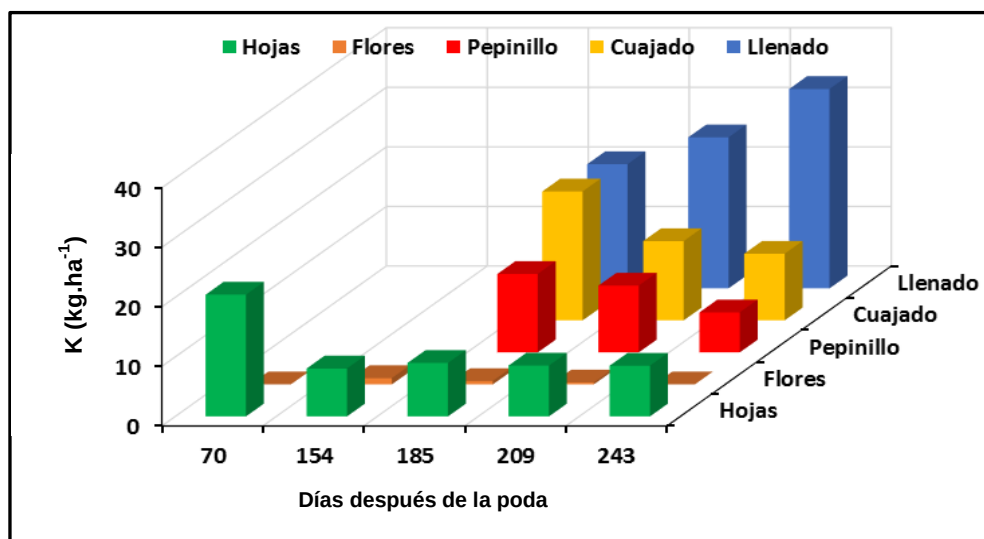


Figura 3.4. Ritmo de extracción de potasio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Por lo mencionado, la figura muestra que la mayor necesidad por este elemento y, consecuentemente, su extracción aumenta en el llenado de la baya de cacao. Además, en

los cultivos anuales industriales, el lapso se caracteriza por conseguir la máxima acumulación de materia seca. Este lapso se caracteriza además por la progresiva acumulación de recursos inorgánicos en porciones relevantes, en especial de potasio. También, la removilización de nutrientes minerales a partir de las hojas maduras a los nuevos tejidos en incremento es de trascendencia clave para la finalización del periodo de vida en las plantas anuales de grano. Igualmente, con el crecimiento de la síntesis de materiales orgánicos, la concentración del potasio expresada en porcentaje de la materia seca reduce, aunque la porción total de potasio en costo absoluto se incrementa. Además, el consumo de potasio a lo largo de este lapso es seguido principalmente por la translocación de K en las etapas posteriores del incremento a partir de los tejidos más maduros a las semillas novedosas en formación y otra vez a las raíces.

Tabla 3.3. Ritmo de extracción de K (kg ha⁻¹) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	20.44	8.04	8.97	8.53	8.5	54.48
Flores	0	1.05	0.57	0.32	0	1.94
Pepinillo	0	0	13.17	21.65	20.85	55.67
Cuajado	0	0	21.65	13.31	11.19	46.15
Llenado	0	0	20.85	25.35	33.48	79.68
Total	20.44	9.09	65.21	69.16	74.02	237.92

Los órganos que extraen mayor cantidad de este nutriente son en el estado de pepinillo, en la etapa de cuajado y llenado del fruto (tabla 3.3). La época crítica de extracción podría aproximarse a los 185 días. Este nutriente, no forma parte de las proteínas, carbohidratos u otros componentes principales de las plantas. Además, el potasio se retiene principalmente en los fluidos celulares, lo que interviene en la regulación osmótica y mantiene las plantas llenas de volumen. Marchador (2012).

El llenado de frutos alcanza su máxima extracción los 243 DDP que es el último muestreo con 33.48 kg ha⁻¹, cuya tendencia a diferencia de las otras etapas no coincide con la época crítica de los demás órganos de la planta, si no que se da en las fases finales de su desarrollo. El potasio interviene en los procesos importantes de la fotosíntesis y de la respiración, así como en el transporte de los hidratos de carbono a partir e una parte a otra en la misma planta, actualmente se conoce con certeza que el

potasio es un catalizador de las reacciones enzimáticas primordiales que intervienen en la síntesis de proteína.

Al realizar el análisis de tendencia (figura 3.5) para los tres macronutrientes (N, P y K) en las hojas, se ratifica las funciones del N que es un nutriente importante para los seres vivos, debido a que pertenece a los constituyentes primordiales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como además de los muros celulares y clorofila en las vegetales. Es, también, el nutriente que generalmente más influye en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria. Por ello después de la poda, aumenta sus necesidades hasta el inicio de formación del pepinillo. Otro factor interviniente e importante a considerar en el comportamiento del N, es la temperatura. Tal como sucede en la zona tropical, la actividad microbiana se incrementa más inmediatamente que la actividad fotosintética de las plantas. En casos extremos, como pasa en ciertos suelos tropicales de selva, básicamente todo el N del sistema suelo-planta está conformando parte de tejidos vivos, debido a que los restos frescos que caen sobre el área padecen una inmediata transformación. Como consecuencia, dichos suelos acumulan escasa materia orgánica y por ende, bajos niveles de P disponible tal como se aprecia en la tabla del análisis de caracterización del suelo de Ki mbiri.

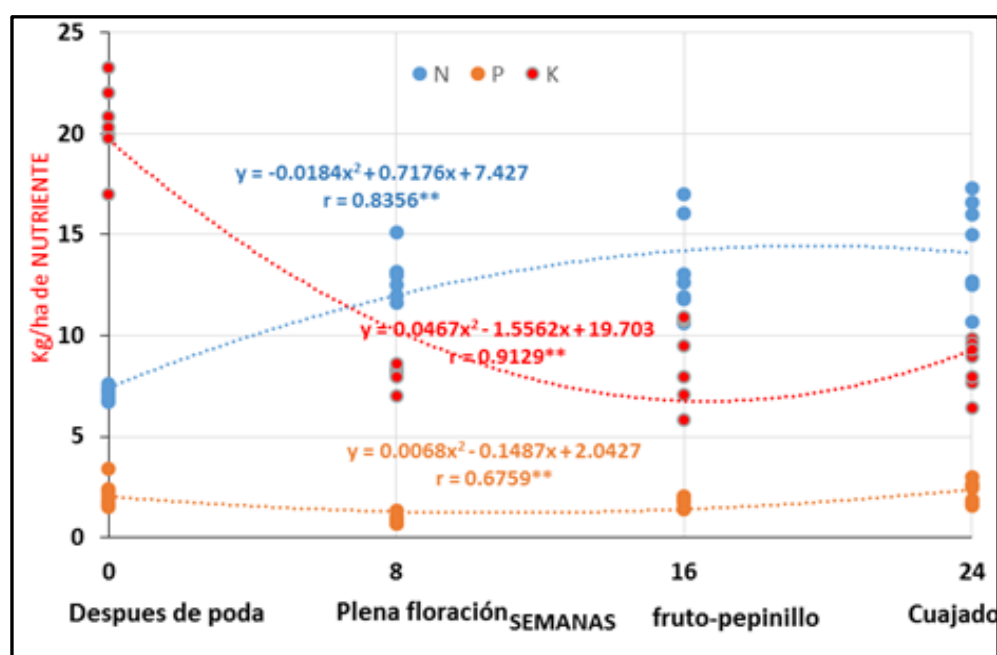


Figura 3.5. Tendencia de extracción de N, P y K en hojas durante cuatro etapas fenológicas

Respecto al fósforo, la tendencia de extracción es casi constante desde la poda a la semana ocho; a partir de ella, inicia un proceso de mayor extracción al ser necesario en procesos esenciales de las plantas. Al igual que en la fotosíntesis, donde se requiere transferencia de energía es muy importante. Un nutriente necesario para la formación y el desarrollo de semillas. De manera similar, el P estimula las raíces de las plantas y el crecimiento general a través de una fotosíntesis intensiva. Facilita la inducción de la floración, mejora la formación de pétalos y permite una polinización óptima de un gran número de flores. Mejora la firmeza de la planta y destaca las propiedades organolépticas del fruto. Para todo esto, es un nutriente cuya eficacia contrasta con el cuajado problemático. Los frutos bien conformados y semillas en cantidad y calidad, están supeditados al contenido de fósforo. A partir de la semana 16 donde se han formado los pepinillos, la extracción se incrementa ligeramente hasta el cuajado de los frutos, proceso por el cual existe acumulación en granos bajo la forma de fitatos.

Después de la poda, la extracción de K en las hojas disminuye hasta los periodos de floración y formación de frutos y es que el potasio en la mayoría de los cultivos necesita este factor en los primeros estadios del aumento y la máxima absorción se verifica a lo largo de la fase vegetativa. (Kafkafi y Xu, 1999). Además, su concentración cambia extensamente, no solo entre especies diferentes sino además entre los múltiples órganos de la planta. Cuando las hojas más antiguas de la planta han alcanzado sus concentraciones concretas de K, el flujo neto de K a partir de las raíces sacia solo las porciones correctas para el desarrollo y aumento de novedosas raíces. Por consiguiente, el flujo de K a partir de las raíces está definido en parte importante por la tasa de incremento de la planta (Pitman, 1972). Además, los requerimientos de K varían con el progreso de los periodos fisiológicas del cultivo y según sean cultivos anuales, perennes o árboles frutales. Para poder hacer una óptima producción, debería saberse en qué momento la demanda de nutrientes por la planta es mayor o menor. Por consiguiente, se necesita conocer en detalle la absorción, el movimiento, y el reparto del potasio en la planta a lo largo del periodo esencial del cultivo. A partir de la semana 16 que coincide con la formación del fruto (pepinillo), la extracción se incrementa debido a que los frutos pulposos como los granos del cacao acumulan elevados niveles de K. También, los granos absorben K del suelo principalmente previo a la fase de llenado o inclusive de la floración. El K encontrado en cuajado del fruto, es dependiente del todo de la redistribución a partir de otros órganos de la planta. Las flores y frutos en desarrollo

sirven como destino o «reservorio» del K. Dichos órganos movilizan K a partir de las hojas. Si a lo largo de las primeras fases de desarrollo de las plantas los niveles de K son bajos, la demanda en una etapa siguiente del incremento de los frutos puede ofrecer sitio a deficiencias de K en hojas. Esta extenuación de K de las hojas a causa de la removilización hacia los órganos fructíferos conduce a una reducción en su actividad fotosintética que posteriormente conducirá a una menor producción o disminución de la calidad de los frutos.

3.2.4. Absorción y ritmo de extracción de azufre

El azufre (S) junto con el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), es un macronutriente que los cultivos necesitan en más grande proporción. Las necesidades de S son menores a las de N, K y Ca, pero son de la misma intensidad del P y Mg. Como ocurre con cualquier nutriente importante, la producción y la calidad de los cultivos tienen la posibilidad de afectarse por la carencia de S, aunque los otros nutrientes se encuentren presentes en porciones idóneas en el suelo. Esto sencillamente sugiere que la Ley del Mínimo está en vigencia después de más de un siglo de ser iniciativa. Además, las hojas y raíces son capaces de aspirar S en distintas maneras: SO_2 , S-cisteína y S elemental (S^0); no obstante, los cultivos absorben S primordialmente a modo de sulfato (SO_4^{2-}) Malavolta, (1997). El S pertenece a varios compuestos orgánicos y cada una de las proteínas vegetales tiene dentro, además de N, una buena proporción de S. Por esto, se estima que una nutrición equilibrada debería conservar una interacción de N/S en las hojas entre 10 a 15. Igualmente, los exámenes foliares presentan concentraciones de S que van de 2 a 10 gramo kg^{-1} , dependiendo del cultivo. Concentraciones menores indican deficiencia y concentraciones mayores tienen la posibilidad de indicar exceso.

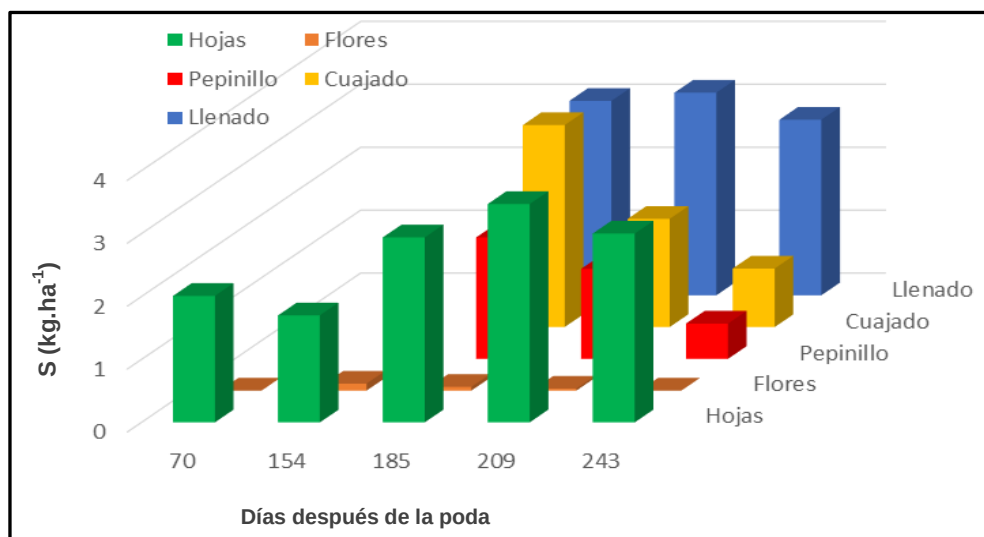


Figura 3.6. Ritmo de extracción de azufre (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

La extracción por las hojas es ascendente a partir de los 154 días hasta los 209, momento en la cual desciende. Podría afirmarse que las necesidades críticas es hasta los 209 días lo cual se explica por las funciones que realiza este nutriente esencial que son semejantes a las del nitrógeno. Para Simpson (1991), el azufre es un componente indispensable de varias proteínas, de aminoácidos y algunas vitaminas entre las que figuran la biotina y la tiamina. Como era de esperar, en las flores la extracción es mínima al ser un órgano que cumple la función de fecundación y ser una etapa fenológica de tránsito hacia la formación del fruto. La formación de pepinillo con una extracción mayor de S a partir de los 185 días, refleja las necesidades de este elemento cuyas necesidades descienden hasta los 243 días. Semejante comportamiento se verifica con el cuajado del fruto. Por otro lado, el llenado del fruto extrae el mayor valor de S a los 209 días para luego disminuir paulatinamente hasta los 243 días.

La extracción en las hojas es notoriamente mayor con 13.12 kg ha^{-1} , debido a procesos que forman parte de la vida de la planta, a partir de la absorción iónica hasta su colaboración en el RNA y DNA, pasando por el control del aumento y diferenciación de los tejidos de la pasando por el control del aumento y diferenciación de los tejidos de la planta.

Igualmente, el N y el S tienen la posibilidad de interactuar entre ellos y con otros recursos. Además, su presencia o ausencia puede ocasionar incremento (sinergismo) o

reducción (inhibición, antagonismo) del contenido de otros recursos. También, los casos más frecuentes de sinergismo son: N x S, N x Ca, N x Mg, N x Zn, N x Cu, y N x Mn. Los antagonismos más frecuentes son: N x B, S x Se, S x Cu x Mo. Malavolta, (1997).

Tabla 3.4. Ritmo de extracción de S (Kg ha⁻¹) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	2.01	1.7	2.94	3.47	3	13.12
Flores	0	0.11	0.06	0.03	0	0.2
Pepinillo	0	0	1.93	1.43	0.56	3.92
Cuajado	0	0	3.21	1.72	0.93	5.86
Llenado	0	0	3.09	3.22	2.79	9.1
Total	2.01	1.81	11.23	9.87	7.28	32.2

Siendo la fuente primaria de azufre en los suelos, el contenido de materia orgánica, es menester indicar que los suelos de Kimbiri tienen contenidos que oscilan de medio a alto, lo que implica tenores suficientes de este elemento para las plantas por mineralización aunque podrían estar limitadas por la reacción ácida del suelo.

3.2.5. Absorción y ritmo de extracción de calcio

El calcio como macronutriente secundario pero esencial, está presente en el cacao, en cantidades similares al nitrógeno y al potasio. Las plantas extraen cantidades significativas debido a su hábito de crecimiento. En la figura 3.7 se visualiza que las hojas y en la etapa de cuajado de los frutos, se absorben cantidades mayores, siendo las hojas las que más nutriente extrae. El periodo crítico de absorción de este nutriente se da a partir de los 185 hasta los 209 ddp, siendo la máxima absorción a los 185 ddp (32.13 kg ha⁻¹). El calcio participa en la regulación de la presión osmótica y al igual que el P, es imprescindible para los puntos de vista de aumento de las plantas y de manera bastante particular, para el extremo de la raíz. Está en los constituyentes del muro celular a modo de pectato cálcico, y además previene la acumulación de porciones desmesuradas de Miligramo en la planta que se comportan como tóxicas. (Simpson, 1991).

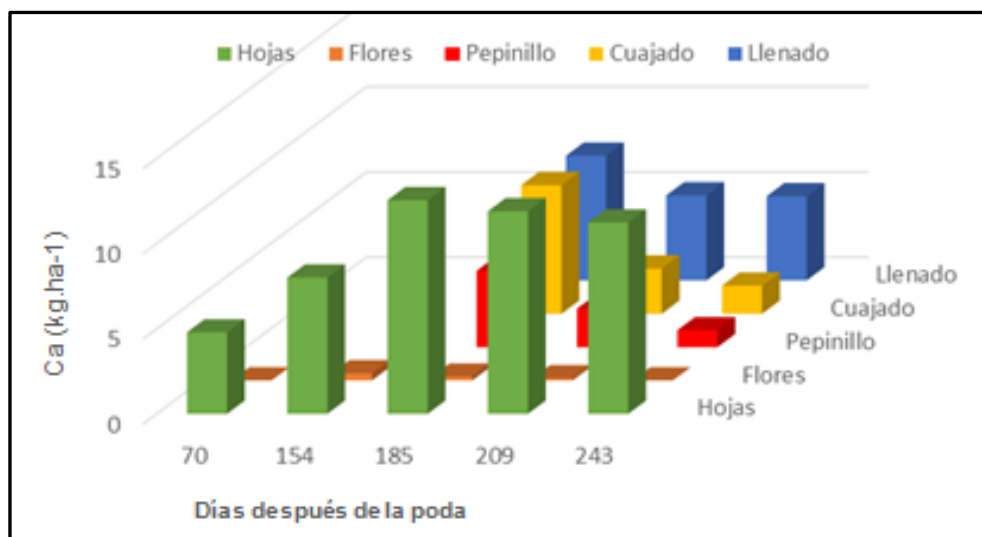


Figura 3.7. Ritmo de extracción de calcio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Desde la formación del pepinillo, se hace patente el incremento de la extracción del calcio con 7.74, 11.85 y 17.25 Kg ha^{-1} , respectivamente (tabla 3.5). Señala que la absorción del calcio por la planta es pasiva y no necesita una fuente de energía. El calcio se lleva por la planta primordialmente por medio del xilema, junto con el agua. Por consiguiente, la absorción del calcio, está de forma directa relacionada con la cantidad de transpiración de la planta.

Tabla 3.5. Ritmo de extracción de Ca (Kg ha^{-1}) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	4.78	8	12.54	11.89	11.23	48.44
Flores	0	0.42	0.23	0.13	0	0.78
Pepinillo	0	0	4.49	2.26	0.99	7.74
Cuajado	0	0	7.55	2.65	1.65	11.85
Llenado	0	0	7.32	4.99	4.94	17.25
Total	4.78	8.42	32.13	21.92	18.81	86.06

En cuanto a, el calcio, en la manera de pectato de calcio, es responsable de conservar unidas los muros celulares de las plantas. Una vez que el calcio es deficiente, los tejidos nuevos como por ejemplo: las puntas de las raíces, las hojas adolescentes y las puntas de los brotes comúnmente muestran un aumento distorsionado gracias a la formación errónea del muro celular. El calcio también se utiliza para activar ciertas enzimas y

enviar señales que coordinan ciertas actividades celulares por ello la manifestación de una mayor extracción en las hojas. Considerando que la concentración de calcio y su disponibilidad depende de las relaciones con el magnesio y el potasio, se verifica que las principales relaciones catiónicas están desbalanceadas en los suelos de Kimbiri y podría afirmarse que su absorción está condicionada a la competencia con el magnesio y potasio.

3.2.6. Absorción y ritmo de extracción de magnesio

El magnesio se encuentra en menores cantidades en el cacao, pero no por ello es menos importante ya que se puede observar que la hoja es el órgano que más cantidad de magnesio absorbe. En la figura 3.8 y tabla 3.6, se pueden apreciar que las extracciones más críticas ocurren a partir 185 hasta los 243 después de la poda, resultando a los 185 DDP, el valor más alto con 13.27 kg ha⁻¹ de Mg.

Simpson (1991), dice que el magnesio es un nutriente importante para las plantas. Además, es clave para una vasta gama de funcionalidades en los vegetales. También, uno de los papeles bastante conocidos del magnesio está en el proceso de la fotosíntesis, debido a que es un elemento esencial de la clorofila, la molécula que da a las plantas su color verde. Esto explica el motivo de su mayor extracción en las hojas en interacción a los diferentes órganos del cacao. Igualmente, los nutrientes asociados con el metabolismo se hallan en mayor concentración en los estados iniciales de la formación de una hoja u otro órgano. Enseguida se muestra una disminución en el contenido, gracias a efectos de dilución de la concentración por incrementos en el material del muro celular durante la extensión de la hoja y por reabsorción de nutrientes a lo largo de la senescencia. Marschner (2012), Taiz y Zeiger (1998), Epstein y Bloom, (2005).

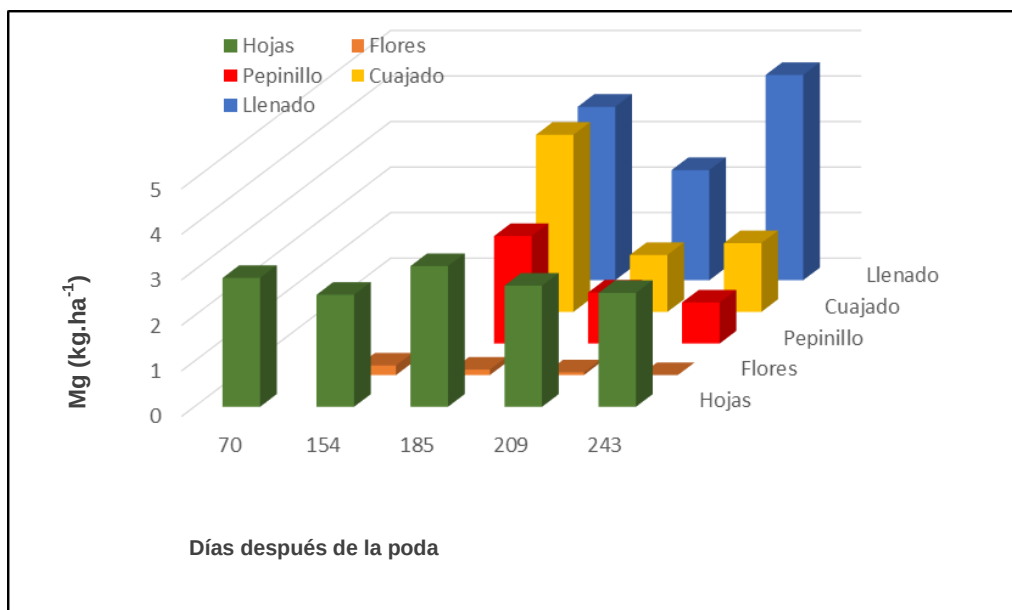


Figura 3.8. Ritmo de extracción de magnesio (kg ha^{-1}) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Tabla 3.6. Ritmo de extracción de Mg (Kg ha^{-1}) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	2.83	2.46	3.09	2.66	2.5	13.54
Flores	0	0.21	0.12	0.06	0	0.39
Pepinillo	0	0	2.36	1.12	0.9	4.38
Cuajado	0	0	3.89	1.25	1.51	6.65
Llenado	0	0	3.81	2.42	4.51	10.74
Total	2.83	2.67	13.27	7.51	9.42	35.7

En el llenado de la mazorca del cacao, la extracción de este nutriente tiende a aumentar a partir de los 209 hasta los 243 ddp debido a que el magnesio también interviene en el metabolismo del fósforo, en la respiración y en la activación de muchos sistemas enzimáticos en las plantas lo que implica mayor desarrollo radicular, inducción de la floración y formación de frutos. Ello podría explicar la producción de las almendras tanto en cantidad como en la calidad del producto.

Sin embargo, debido al desbalance catiónico aparecen los indicios de deficiencia primero en las hojas inferiores (hojas viejas), ya que el magnesio se transloca en la planta de tejido viejo a tejido muchacho. Además, las hojas muestran un color amarillento, bronceado o rojizo, en lo que las venas de las hojas se mantienen verdes.

Un desbalance entre Ca y magnesio en los suelos de baja CIC como son los suelos de Kimbiri, puede acentuar el déficit de magnesio. Una vez que la relación Ca: magnesio es bastante alta en dichos suelos, las plantas absorben menos magnesio. El déficit de magnesio además puede acentuarse con la aplicación de altas dosis de K o por una alta disponibilidad de amonio.

3.2.7. Absorción y ritmo de extracción de microelementos (Zinc, Cobre, Manganeso y Fierro)

En este caso, los denominados micronutrientes o recursos menores (Zinc, Boro, Cobre, Silicio, Hierro, Manganeso) aunque son denominados de esta forma por las porciones requeridas para el incremento y desarrollo del cacao, son tan relevantes como los denominados recursos mayores y secundarios, inclusive llegan a ser limitantes en la obtención de buenos rendimientos.

De la misma forma, los micronutrientes como miembros de muchas estructuras enzimáticas, son capaces de catalizar la mayor parte de las actitudes típicas del metabolismo de la planta y por ende influenciar la fisiología. Además, la disponibilidad de los micronutrientes es sustancial para el correcto aumento y desarrollo de las plantas y para obtener rendimientos altos. Una vez que existe deficiencia de uno o diversos recursos menores, éstos se transforman en componentes limitantes del incremento y de la producción, aunque existan porciones correctas de los demás nutrientes.

De la misma manera, los suelos dedicados a la actividad cacaotera en Kimbiri, tienen la posibilidad de exponer deficiencias de dichos recursos, primordialmente Boro, Zinc y Cobre. Por ese motivo, es de suma importancia, integrar en los planes de fertilización productos que aporten estos nutrientes para reemplazar las falencias que hay en el suelo, sobre todo, una vez que actualmente se muestra un grave problema fitosanitario que perjudica los rendimientos finales y que, en sus elementos, está la fertilización equilibrada del cultivo como un plan sustancial para combatir este problema en un desempeño integral.

Igualmente, el papel de los micronutrientes es demasiado complejo y está asociado con procesos fundamentales en los cuales trabajan conjuntamente con otros nutrientes. Luego se muestra y discute de manera general la extracción de cuatro microelementos.

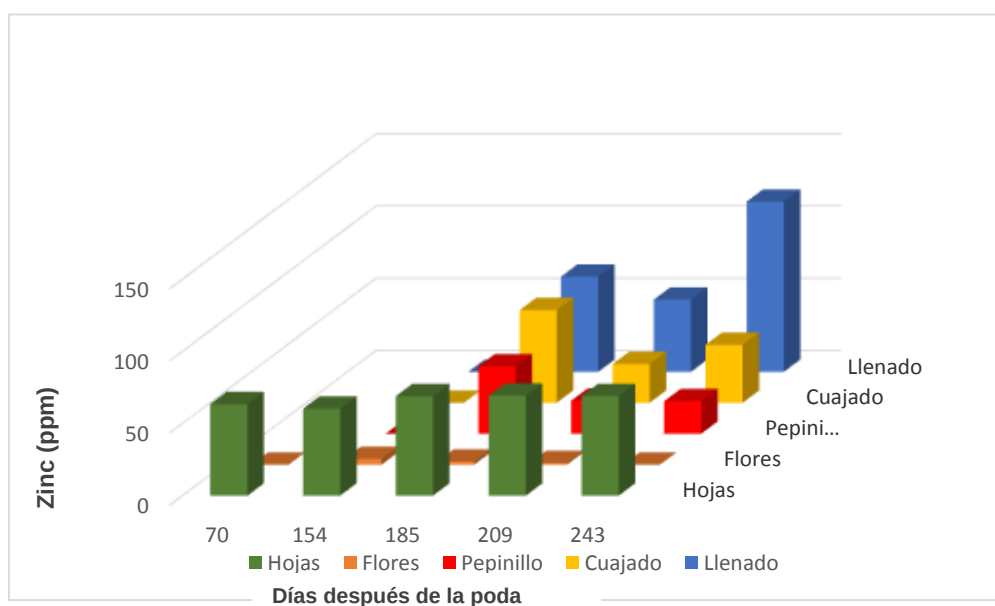


Figura 3.9. Ritmo de extracción de Zinc (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Tabla 3.7. Ritmo de extracción de Zinc (ppm) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	63.41	60.26	68.92	69.31	68.97	330.87
Flores	0	3.98	0	0	0	3.98
Pepinillo	0	0	46.7	22.88	22.64	92.22
Cuajado	0	0	64.21	26.87	40.15	131.23
Llenado	0	0	65.98	50.07	117.91	233.96
Total	63.41	64.24	245.81	169.13	249.67	792.26

La figura 3.9 y tabla 3.7, muestran que las hojas son la que extraen la mayor cantidad de Zinc de manera casi ascendente a partir de los 70 ddp y hasta los 243 ddp. Los requerimientos son también importantes cuando los frutos cuajan y en el llenado de la mazorca. Podría afirmarse que a los 185 ddp, es el periodo crítico de extracción y donde los requerimientos por este elemento son mayores al intervenir en la formación de hormonas que afectan el crecimiento de las plantas. Participa en la formación de proteínas. Si las plantas no tienen suficiente zinc, el nitrógeno y el fósforo no serán bien utilizados y consecuentemente, no favorece un mejor tamaño de las mazorcas y almendras de cacao.

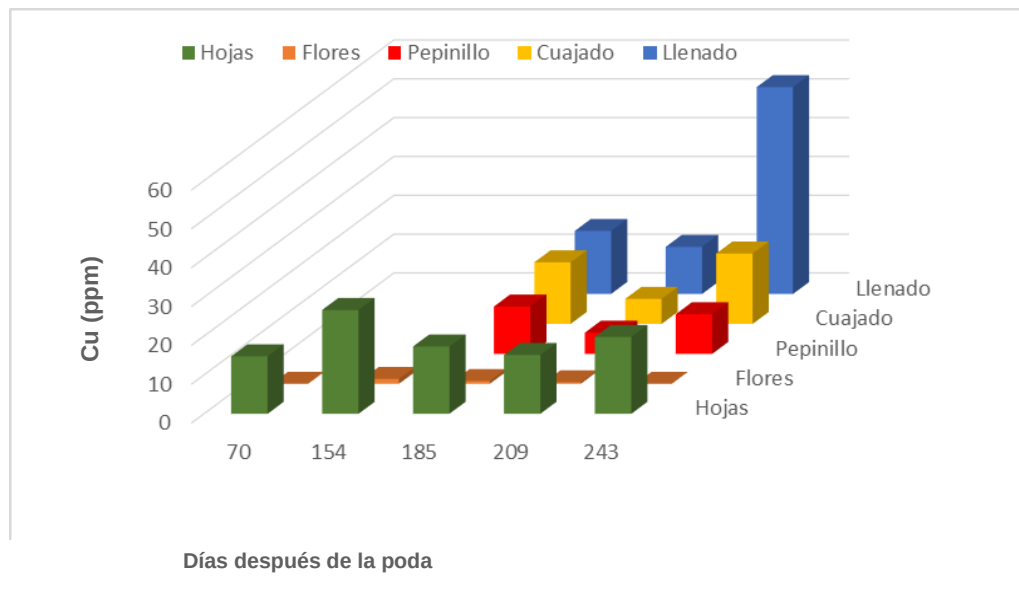


Figura 3.10. Ritmo de extracción de cobre (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Tabla 3.8. Ritmo de extracción de Cobre (ppm) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	14.81	26.73	17.33	15.14	19.8	93.81
Flores	0	1.28	0.7	0.39	0	2.37
Pepinillo	0	0	12.18	5.46	10.22	27.86
Cuajado	0	0	15.87	6.44	18.13	40.44
Llenado	0	0	16.22	12.12	53.24	81.58
Total	14.81	28.01	62.3	39.55	101.39	246.06

Respecto al cobre, la figura 3.10 y tabla 3.8, muestran que las hojas, pepinillo, etapas de cuajado y llenado de las mazorcas de cacao, extraen este microelemento con diferentes tendencias. Así, en las hojas a los 154 ddp extrae 26.73 ppm para luego disminuir hasta los 209 ddp y ligeramente aumentar a los 243 ddp. Podría establecerse que a los 154 días se verifica la etapa crítica del cultivo para este elemento. Similar comportamiento se verifica en el cuajado y llenado de la mazorca aunque con diferentes valores de extracción. Es interesante observar la tendencia de extracción en el llenado de la mazorca cuyo valor es muy superior comparativamente a los otros órganos del cacao a los 243 días después de la poda y es que el cobre es catalizador para la respiración y constituyente de enzimas, además de intervenir en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y en la síntesis de proteínas.

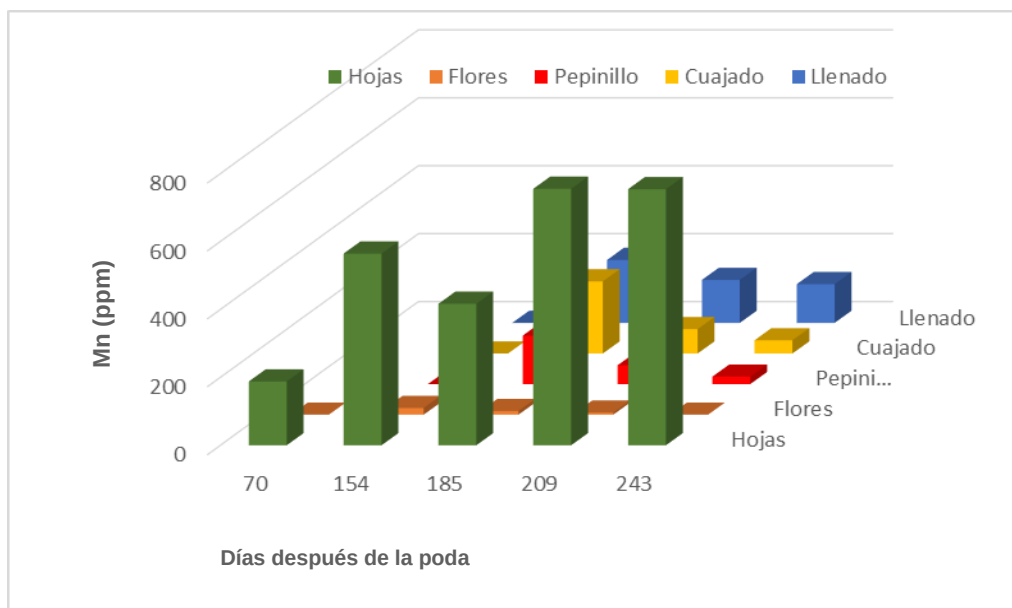


Figura 3.11. Ritmo de extracción de manganeso (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Tabla 3.9. Ritmo de extracción de Manganeso (ppm) en el cacao CCN- 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	187.8	564.34	416.61	755.23	754	2677.98
Flores	0	19.67	10.79	5.96	0	36.42
Pepinillo	0	0	142.7	55.49	21.9	220.09
Cuajado	0	0	212.49	71.77	38.86	323.12
Llenado	0	0	185.6	126.5	114.11	426.21
Total	187.8	584.01	968.19	1014.95	928.87	3683.82

En referencia al manganeso, es interesante la tendencia de extracción en la hoja (figura 3.11 y tabla 3.9). Después de la poda, las hojas extraen la mayor cantidad del elemento hasta los 243 días (754 ppm). Este comportamiento se fundamenta porque el Mn afecta la utilización de nitrógeno en las plantas y trabaja para reducir los nitratos. Es importante para la absorción de dióxido de carbono (fotosíntesis) y la producción de carotenos, riboflavina y ácido ascórbico.

En cuanto al hierro (figura 3.12 y tabla 3.10), se verifica que a los 185 ddp, se extrae en mayor cantidad por las hojas (242.12 ppm). En las etapas de formación del pepinillo, cuajado y llenado de la mazorca, a los 185 ddp se establece como periodo crítico a partir del cual desciende de manera marcada hasta los 243 ddp. Este comportamiento se

atribuye a las funciones del microelemento que es necesario para la formación de la clorofila y es un constituyente importante de algunas proteínas y enzimas; además, es catalizador en los procesos de oxidación y reducción de la planta.

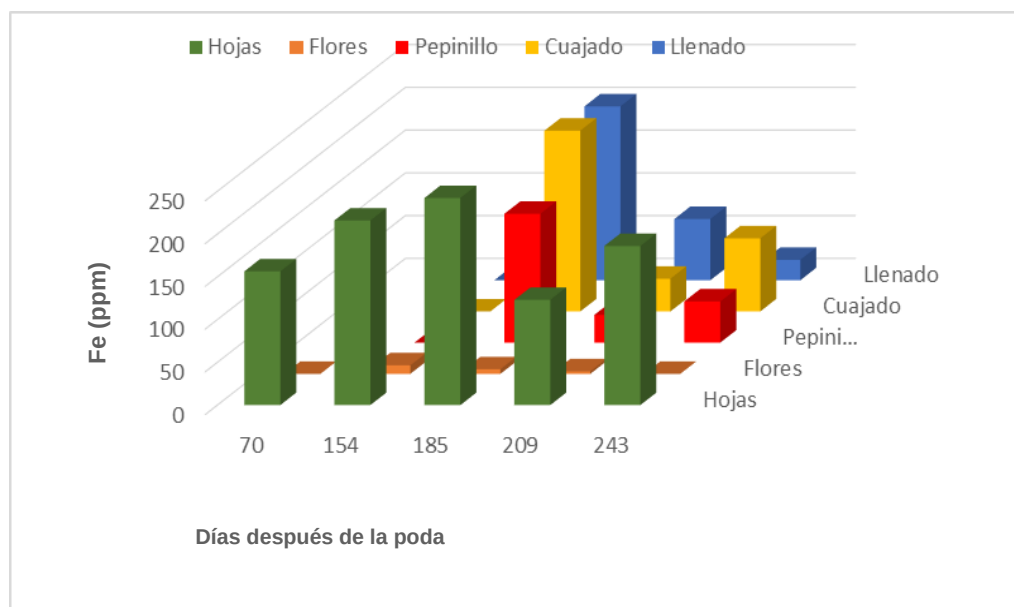


Figura 3.12. Ritmo de extracción de hierro (ppm) en los distintos órganos de la planta (CCN-51) VRAEM

Tabla 3.10. Ritmo de extracción de Fierro (ppm) en el cacao CCN 51

Órganos/días	70	154	185	209	243	Total
Hojas	156.4	215.81	242.12	123.03	186	923.36
Flores	0	10.04	5.41	2.97	0	18.42
Pepinillo	0	0	150.69	32.44	48.19	231.32
Cuajado	0	0	211.39	38.2	85.49	335.08
Llenado	0	0	203.21	71.61	23.81	298.63
Total	156.4	225.85	812.82	268.25	343.49	1806.81

De forma general, la disponibilidad de los micronutrientes es sustancial para el correcto incremento y desarrollo de las plantas y para obtener rendimientos altos. Una vez que existe deficiencia de uno o diversos recursos menores, éstos se transforman en componentes limitantes del incremento y de la producción, aunque existan porciones correctas de los demás nutrientes.

Durante los últimos años se ha aumentado la utilización de los micronutrientes en los programas de fertilización debido primordialmente a la continua remoción de recursos menores por los cultivos que en algunas ocasiones, ha disminuido la concentración de éstos en el suelo a niveles debajo de lo primordial para el incremento común.

De la misma forma, la desmesurada acidez de los suelos, como pasa en suelos de Kimbiri (pH 5.53), disminuye la disponibilidad de ciertos micronutrientes y, por consiguiente, un mejor entendimiento de la nutrición vegetal ayuda a diagnosticar deficiencias de recursos menores que previamente no eran atendidas.

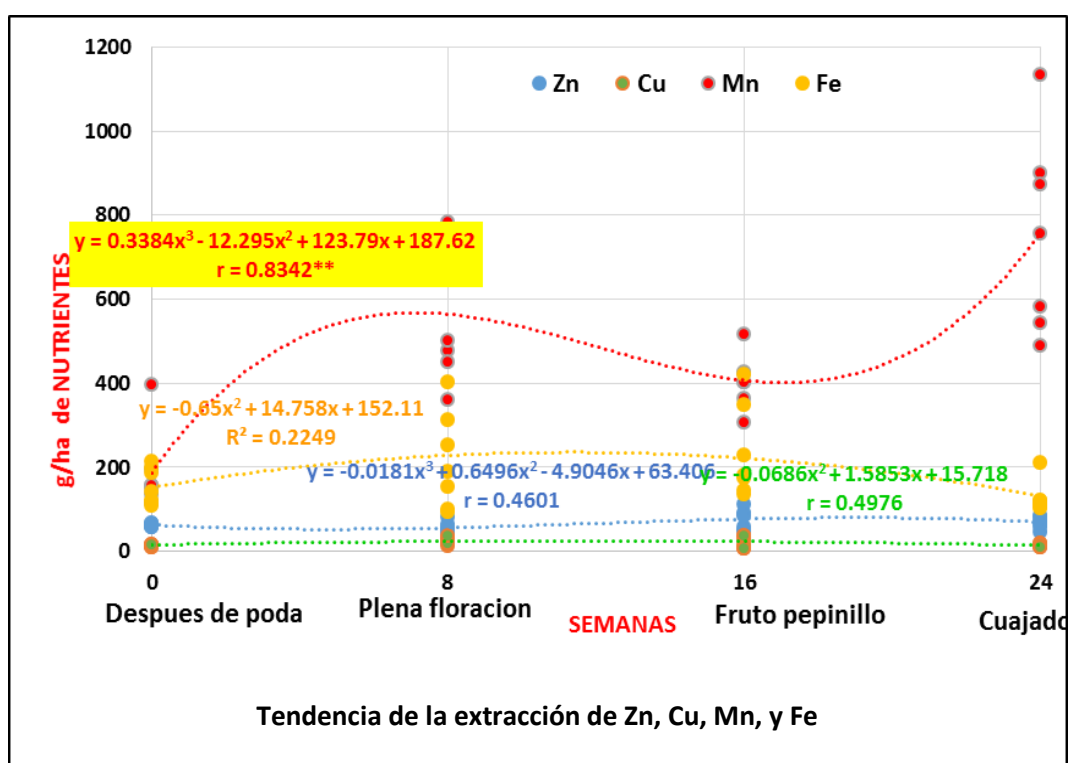


Figura 3.13. Tendencia de la extracción de Zn, Cu, Mn, y Fe en hojas, durante 04 etapas fenológicas

Al ser las hojas donde se desarrollan las actividades metabólicas asociadas a los microelementos, se muestra la figura 3.13. El manganeso es aquel que se extrae en mayor cantidad hasta la plena floración. Los otros elementos (Zn, Cu y Fe) tienen una tendencia de extracción menor y casi constante en las diferentes etapas fenológicas del cacao.

3.3. DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA

Por medio del estudio de toda la planta de cacao (hojas, flores, mazorcas), se puede apreciar su exigencia nutritiva en las distintas fases de desarrollo; los resultados logrados se presentan en figuras. Además, las cifras proporcionan cuenta de la demanda nutritiva del cultivo para mantener un nivel de productividad, varían después de la poda en las hojas, flores y en la formación de la mazorca y, consecuentemente, en el tamaño y calidad de la almendra.

En la figura 3.14 se muestra la distribución de los macroelementos (N, P y K) absorbidos. Son 163.6 kg de N total ha^{-1} y que corresponden a 14.39, 1.78, 28.59, 42.56 y 76.28 kg ha^{-1} en las hojas, flores, pepinillo, llenado y cuajado de la mazorca, respectivamente. Respecto al fósforo, el total de extracción es de 28.56 kg de P ha^{-1} , que es la suma de 3.5, 0.18, 5.13, 7.76 y 11.99 kg en las hojas, flores, pepinillo, llenado y cuajado de la mazorca, respectivamente. Para el potasio, el total extraído es 180.23 kg de K ha^{-1} , con valores en los órganos y estados de la mazorca de cacao de 21.37, 1.94, 31.09, 46.15 y 79.68 kg ha^{-1} , respectivamente. Como era de esperar, los macroelementos han sido requeridos en mayor cantidad que ha permitido la correcta nutrición vegetal y comprobar los recursos que intervienen en los periodos fenológicos de las plantas y las funcionalidades que desempeñan, tal es de esta forma que el nitrógeno ha incidido en el aumento y el desarrollo vigoroso de la planta (tallos, hojas, brotes y frutos) proporcionando el color verde profundo a la hoja y aumentando los niveles de proteínas, fundamental a lo extenso de todo el periodo del cultivo.

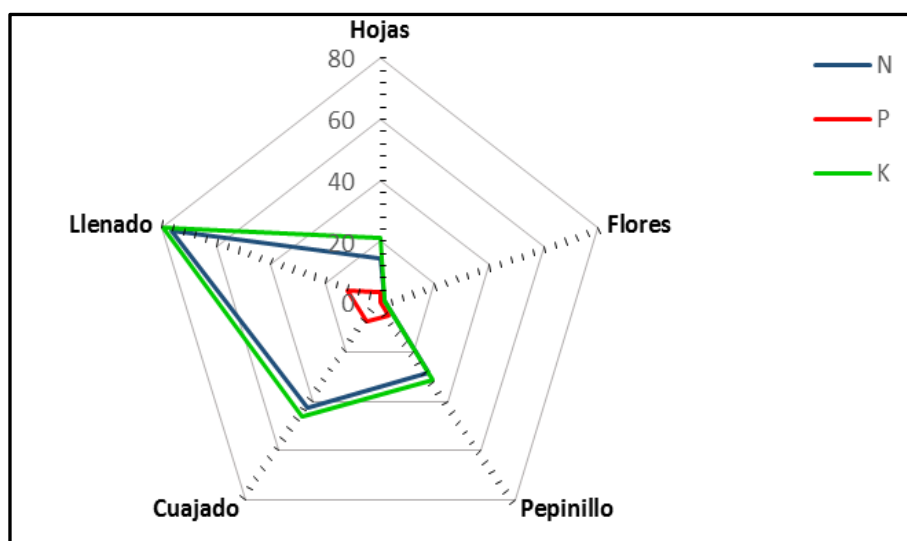


Figura 3.14. Distribución del contenido de N-P-K (kg/ha) en cada órgano

En relación a, el fósforo ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo del sistema radicular, participa en la formación del tejido leñoso, en la fructificación, formación y maduración del fruto, que es sustancial en la formación de las almendras del cacao. El potasio ha intervenido en el metabolismo del nitrógeno, el transporte, formación de azúcares y almidones y regulando la abertura de las estomas haciéndolo fundamental en las relaciones hídricas.

En las mazorcas hubo mayor extracción. Igualmente, el orden de sustracción de macronutrientes por las mazorcas de cacao en este trabajo ha sido $K > N > P$, resultados que concuerdan con el orden publicado por diversos autores Paredes-Arce, (2003), Sánchez et al. (2005), Espinosa et al., (2006), Salvador et al. (2012); López et al. (2015), sin embargo, difiere de otro estudio que reportó mayor sustracción de N que de potasio Puentes-Páramo et al. (2014).

Respecto al azufre, calcio y magnesio (figura 3.15), los totales de extracción son de 22.86, 50.16 y 25.62 kg ha^{-1} de S, Ca y Mg, respectivamente. La tendencia de extracción es mayor en la etapa de llenado de la mazorca. Sin embargo, respecto al azufre, es mayor la extracción por las hojas y etapas relacionadas a la formación y maduración de la mazorca. Este comportamiento se explica por la función inherente a este elemento que está asociada a procesos que son parte de la vida de la planta, desde la absorción iónica hasta su participación en el RNA y DNA, pasando por el control del crecimiento y diferenciación de los tejidos de la planta.

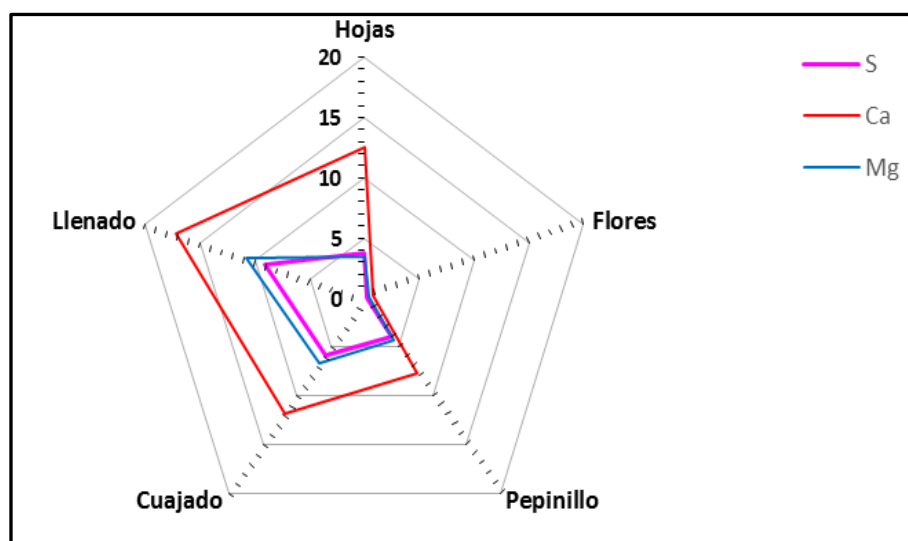


Figura 3.15. Distribución del contenido de S-Ca-Mg en ppm en cada órgano

Respecto al calcio acumulado por las plantas, en especial en las hojas donde se deposita irreversiblemente, es un factor importante para el aumento de meristemos y especialmente para el incremento y desempeño apropiado de los ápices radicales. La parte primordial de calcio está en los muros celulares o en las vacuolas y organelos como sales de ácidos orgánicos, fosfato o fitato y podría ser en especial alto en plantas sintetizadoras de oxalato. Además, el oxalato de calcio, es un producto insoluble que se deposita en la vacuola, una funcionalidad antitóxica. También, el calcio es un elemento de la lámina media, donde cumple una funcionalidad cementante como pectato cálcico.

La extracción del magnesio es mayor en las últimas etapas de la formación de la mazorca iniciando en las hojas. Además, el magnesio tiene un papel estructural como elemento de la molécula de clorofila, es solicitado para conservar la totalidad de los ribosomas y sin sitio a dudas ayuda en conservar el equilibrio estructural de los ácidos nucleicos y membranas. Además, el magnesio puede activar a la enzima uniéndose fuera del lugar de alianza al sustrato. Hay pruebas que los flujos de Miligramo tienen la posibilidad de servir para regular la actividad enzimática, como pasa con el crecimiento en la fijación de CO₂ por los cloroplastos, activada por la luz. Igualmente, el bombeo de Miligramo de los tilacoides hacia el estroma en la luz, sirve como activador de la enzima Ribulosa-bifosfato-carboxilasa-oxigenasa (Rubisco).

Respecto a los microelementos (figura 3.16) considerados en el estudio, la mayor extracción corresponde al manganeso, seguido del hierro, zinc y cobre. Los valores son 1761, 1078, 537 y 179 ppm de Mn, Fe, Zn y Cu, respectivamente. Igualmente, el contenido de microelementos de las plantas cambia durante la temporada de crecimiento, lo que refleja la disponibilidad correspondiente del suelo de microelementos asimilables. Además, la absorción de la mayoría de los elementos traza está influenciada por su relación con otras fuentes de alimentos. Por ejemplo, las correlaciones P/Zn, Fe/Zn, Cu/Mo son muy negativas. Los micronutrientes o elementos traza son hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl), boro (B). Son una de las sustancias importantes en el crecimiento de las plantas y son comparables a las vitaminas en la nutrición humana. Se ingieren en cantidades muy pequeñas y el área óptima de suministro es muy pequeña. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente del manejo del suelo. Un exceso de boro puede afectar negativamente a las cosechas posteriores.

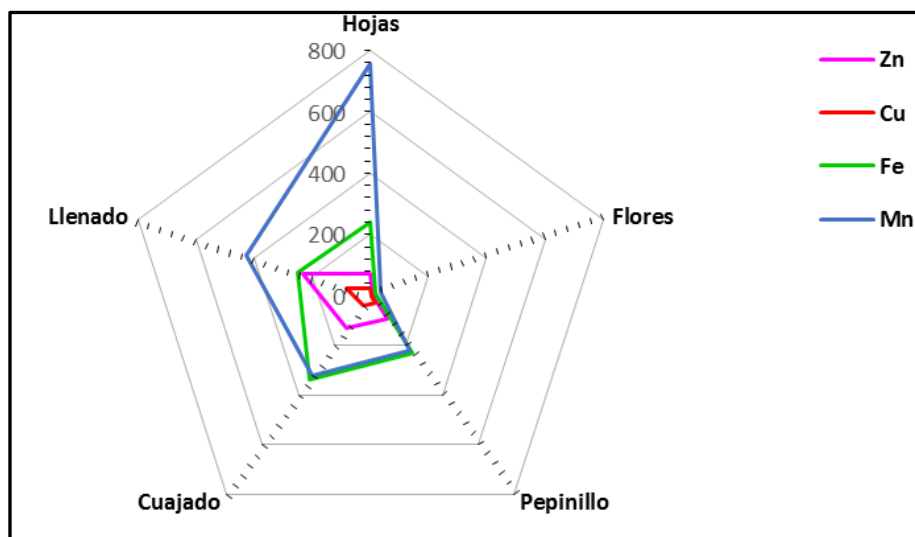


Figura 3.16. Distribución del contenido de Zn-Cu-Fe-Mn (kg/ha) en cada órgano

La distribución total de los nutrientes en los órganos de la planta, se visualiza en la figura 3.17. El potasio, nitrógeno y el calcio son los de mayor concentración en la mazorca con 180, 164 y 52.4 kg ha⁻¹, respectivamente,

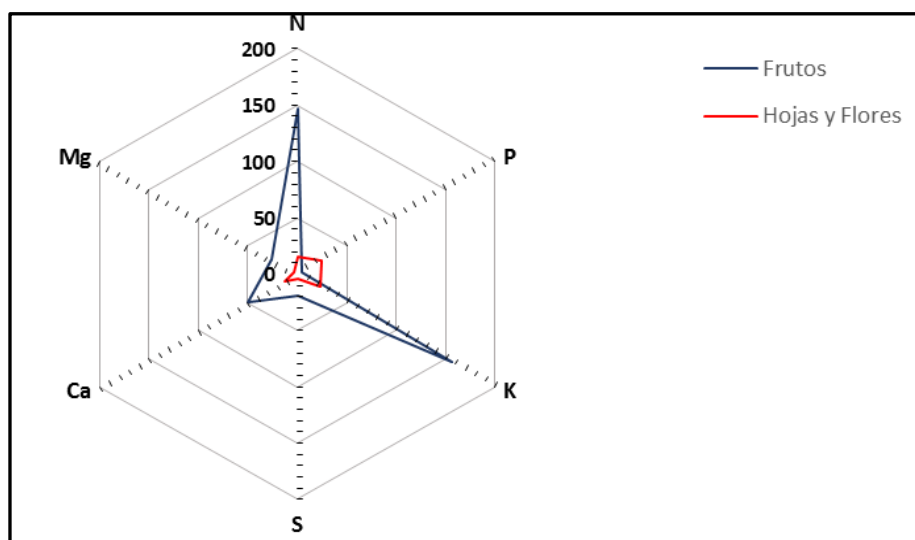


Figura 3.17. Distribución del contenido total (kg/ha) de N-P-K-S-Ca-Mg en frutos, hojas y flores

En las hojas y flores, existe una menor concentración de los nutrientes considerados en la figura. Este comportamiento se debe al efecto de dilución desde la poda hasta la fructificación (formación de la mazorca).

En cuanto a los microelementos (figura 3.18), la mayor concentración en la planta se refleja en el manganeso, seguido del hierro, zinc y cobre. Además, las sustancias nutritivas que necesitan las plantas para su incremento y habitual desarrollo, así como para la obtención de producciones eficientes con más alto rendimiento de frutos, tienen que estar accesibles oportunamente en porciones óptimas y balanceadas. También, los suelos comúnmente usados en cacao tienen la posibilidad de tener un nivel de fertilidad correcto, sin embargo ello no va a ser suficiente, siendo primordial reponer periódicamente el contenido de nutrimentos que el cacao y su sombrío extraen una y otra vez, también de lo cual se pierde por impacto de la lixiviación o lavado de los suelos.

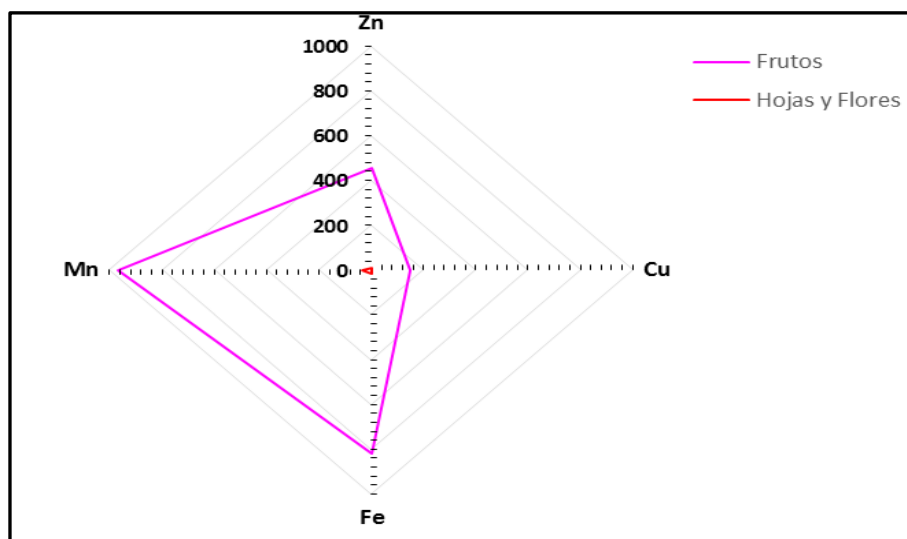


Figura 3.18. Distribución del contenido total (g/ha) de Zn-Cu-Fe y Mn en frutos, hojas y flores

3.4. EQUILIBRIO FISIOLÓGICO DE NUTRIENTES

Las figuras 3.19 al 3.20, muestran los equilibrios fisiológicos de los macronutrientes N, P, K, S, Ca y Mg desde los 70 días después de la poda hasta los 243 días donde se ha realizado la cosecha de las mazorcas de cacao. Considerando el valor de uno (1) en el polígono como el valor de equilibrio de nutrientes, a los 70 días después de la poda, se verifica que las extracciones están por debajo del promedio. Sin embargo, se aprecia que el potasio es más extraído que el magnesio, azufre, fósforo, calcio y nitrógeno. Donde la concentración de K cambia de manera significativa entre los diversos órganos de la planta. También, los tejidos carnosos como frutos y hojas en sus fases tempranas de desarrollo, tienen dentro elevados niveles de K. Frutos pulposos como la mazorca del cacao acumulan elevados niveles de K. Las plantas absorben K del suelo principalmente

anterior a la fase de llenado o inclusive de la floración. El K encontrado en las almendras es dependiente enteramente de la redistribución a partir de otros órganos de la planta. Las flores y frutos en desarrollo sirven como destino o «reservorio» del K. Dichos órganos movilizan K a partir de las hojas. Si a lo largo de las primeras fases de desarrollo de las plantas los niveles de K son bajos, la demanda en una etapa siguiente del incremento de los frutos puede ofrecer lugar a deficiencias de K en hojas. Esta debilidad de K de las hojas de parte de la removilización hacia los órganos fructíferos conduce a una reducción en su actividad fotosintética que después conducirá a una menor producción o disminución de la calidad de los frutos.

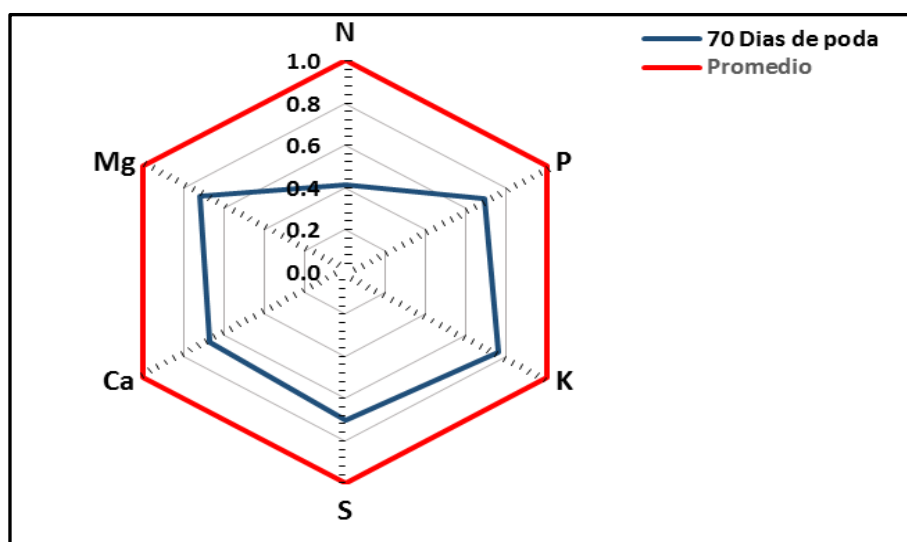


Figura 3.19. Polígono de extracción de macronutrientes a 70 días después de la poda

Las variaciones en la exigencia de nutrientes están influidos por factores tanto externos como aquellos propios del cultivo. Tal como menciona Leiva (2012), donde los nutrientes asociados con el metabolismo se hallan en mayor concentración en los estados iniciales de la formación de una hoja u otro órgano. Enseguida se muestra una disminución en el contenido, gracias a efectos de dilución de la concentración por incrementos en el material del muro celular a lo largo de la extensión de la hoja y por reabsorción de nutrientes a lo largo de la senescencia. Además, la nutrición vegetal es el proceso que le posibilita a las plantas interceptar y aspirar los minerales que necesita para su aumento y desarrollo. El funcionamiento de la nutrición, con la intención de potenciar las ocupaciones metabólicas de la planta para convertirla en una máquina provechosa natural, y optimizar la utilización de los nutrientes para conseguir la máxima productividad viable bajo las condiciones dadas, necesita conocer los

requerimientos y la conducta de las plantas al aumentar la disponibilidad de nutrientes, establecer las necesidades para cada fase y los demás puntos que tienen la posibilidad de influir la nutrición, como el nivel hídrico.

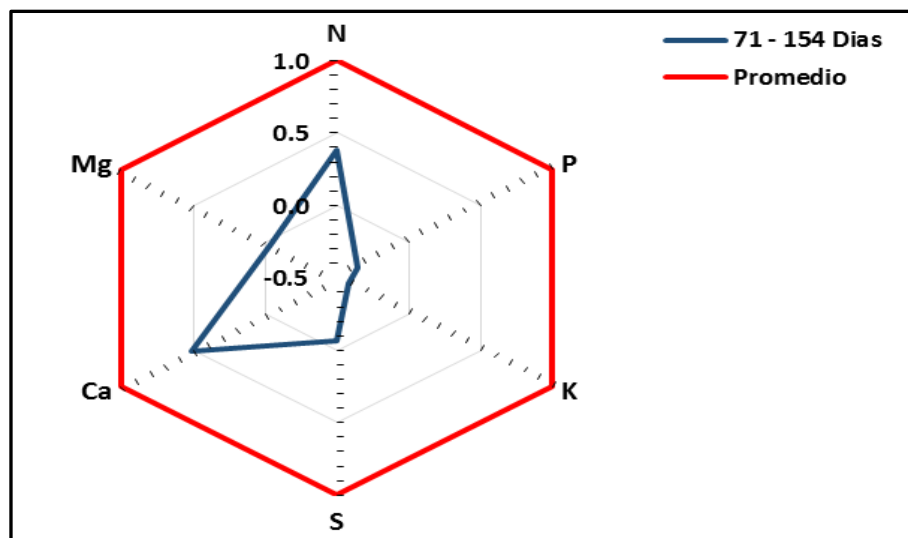


Figura 3.20. Polígono de extracción de macronutrientes entre 71 - 154 días después de la poda

Se puede apreciar en las figuras siguientes, la variación que existe entre muestreos ya que a los 154, 209 y 243 ddp, los equilibrios de nutrientes respecto al promedio, varían considerablemente. Así, en la figura 3.20 se evidencia que el calcio y nitrógeno a los 154 ddp, son los de mayor extracción pero manteniendo valores por debajo del promedio. En esta etapa, se evidencia fenológicamente, una gran actividad fotosintética por lo que las plantas absorben diferentes nutrientes del suelo en determinadas proporciones. Es importante mantener estas proporciones en equilibrio para facilitar su absorción.

A los 209 ddp, el azufre, fósforo y nitrógeno, adquieren relevancia en la extracción aún por encima del promedio. Además, el cacao se estima una planta exigente en nutrimentos Ramos et al. (2000), PDVSA, (1992) siendo dichos requerimientos dañados por componentes como por ejemplo el material genético, nivel de sombreado PDVSA,(1992) así como otros componentes asociados a la edad de la planta, control de plagas y patologías y al suelo, como por ejemplo drenaje Ramos et al. (2000). Muller (2008), confirma que para mejorar la producción de cacao se debería tener en cuenta el efecto de los componentes del medio ambiente y sus relaciones sobre el material genético que se expone en la productividad.

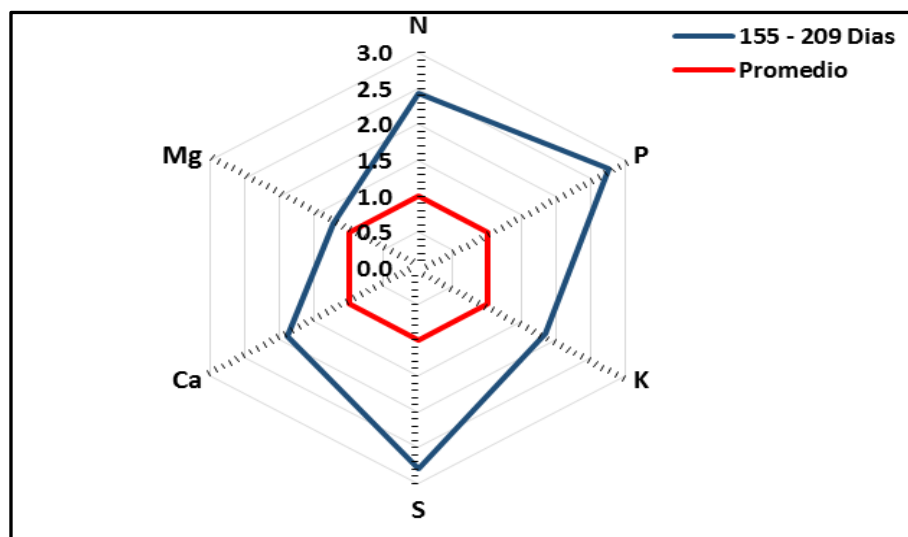


Figura 3.21. Polígono de extracción de macronutrientes entre 155 - 209 días después de la poda

Es por ello, que el azufre es de mayor extracción y las plantas lo adquieren del sustrato como sulfato ($\text{SO}_4^{=}$). Además, el sulfato es de por sí simple de disolver y está individuado a pérdidas por filtración. El metabolismo de la planta disminuye el sulfato y el dióxido de sulfato a maneras que logren ser utilizadas para edificar moléculas orgánicas. Igualmente, el azufre es una sección fundamental de cada una de las proteínas de las plantas y de ciertas hormonas de las plantas. Por esto, mientras el periodo fenológico del cacao avanza, las necesidades de este nutriente en equilibrio con el nitrógeno, se acrecienta. Según Mengel y Kirby (2001), en medio de las combinaciones minerales aplicadas en cacao, con un más alto de exposición solar, por supuesto nitrógeno y potasio permanecen involucrados en su acción. El mismo creador plantea que, aunque de manera directa no se incrementa mucho el rendimiento, el fósforo parece ser imprescindible para arreglar el balance de nutrientes, perturbado por la acumulación de nitrógeno en suelos bajo sombra. Una vez que la interacción K/Mg excede de 3, mientras tanto que la interacción K/Ca está alrededor de la unidad, un aumento en la cantidad de nitrógeno se necesita.

En cuanto a, Homes (2006), la dominación de potasio en la interacción a los demás cationes, como por ejemplo calcio y magnesio, continuamente es desfavorable para el aumento del cacao, y en especial la eliminación de la toma de magnesio, influye desfavorablemente reduciendo el aumento y la producción. A menudo existe una marcada relación entre fósforo y potasio, y al manifestarse el fósforo en suficiente porción aprovechable, tienen la posibilidad de no obtenerse efectos para potasio y, por

otro lado, los cationes de potasio y aniones de nitrógeno permanecen íntimamente entrelazados en su acción. Ni la toma de potasio ni la de nitrógeno, podrían ser enteras sin un correcto suplemento del otro. Anderson (1981).

A los 243 ddp (figura 3.22), el equilibrio fisiológico vuelve a estar por debajo del promedio, siendo el nitrógeno, magnesio y potasio los de mayor extracción.

En la formación del pepinillo, cuajado y maduración de la mazorca, la acumulación de fotosintatos en el fruto, se acrecienta estimulado por la función inherente al nitrógeno y magnesio que están involucrados en la fotosíntesis. La primera por ser precursor de aminoácidos y posteriormente proteínas que estimulan el crecimiento y desarrollo de la planta; la segunda, por ser parte de la molécula de clorofila.

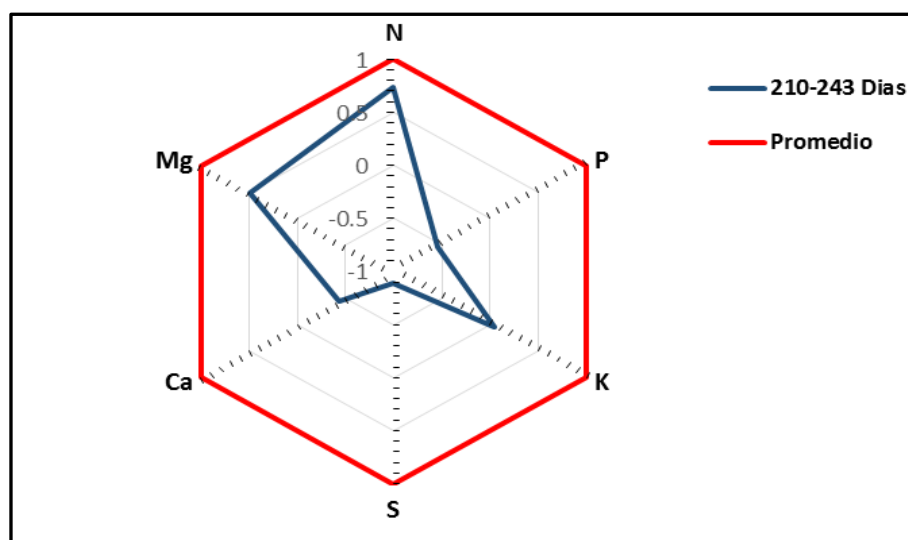


Figura 3.22. Polígono de extracción de macronutrientes entre 210 - 243 días después de la poda

Por medio del estudio de la planta de cacao, se puede estimar su exigencia nutritiva en las distintas fases de desarrollo; los resultados logrados se han mostrado en figuras anteriores. Las cifras dan cuenta de la intensa demanda nutritiva del cultivo para mantener una alta productividad. Cocoa Growers Bulletin (1980), localizó que a lo largo de la fase de plena producción, los árboles de cacao en una hectárea, ya han acumulado en sus tejidos cerca de: alrededor de: 438 kg de N, 48 kg de P, 633 kg de K, 373 kg de Ca, 129 kg de Mg, 6.1 kg de Mn, 1.1 kg de Zn; entre otros nutrientes. El mismo estudio reveló que al comercializar una tonelada de cacao seco, salen de la huerta alrededor de 40 kg de N, 6 kg de P y 86 kg de K.

Respecto a los microelementos, a los 70 ddp (figura 3.23), el polígono de extracción está por debajo del promedio; sin embargo, conforme avanza el ciclo fenológico, la extracción de éstos están, en algunos casos, por encima o debajo del polígono promedio.

El comportamiento del manganeso a los 154 ddp (figura 3.24), es relevante y pone en evidencia que este microelemento influye en el aprovechamiento del nitrógeno por la planta, actúa en la reducción de los nitratos, influye en la asimilación del anhídrido carbónico (fotosíntesis) y en la formación de caroteno, riboflavina y ácido ascórbico que son vitales en la nutrición mineral del cacao.

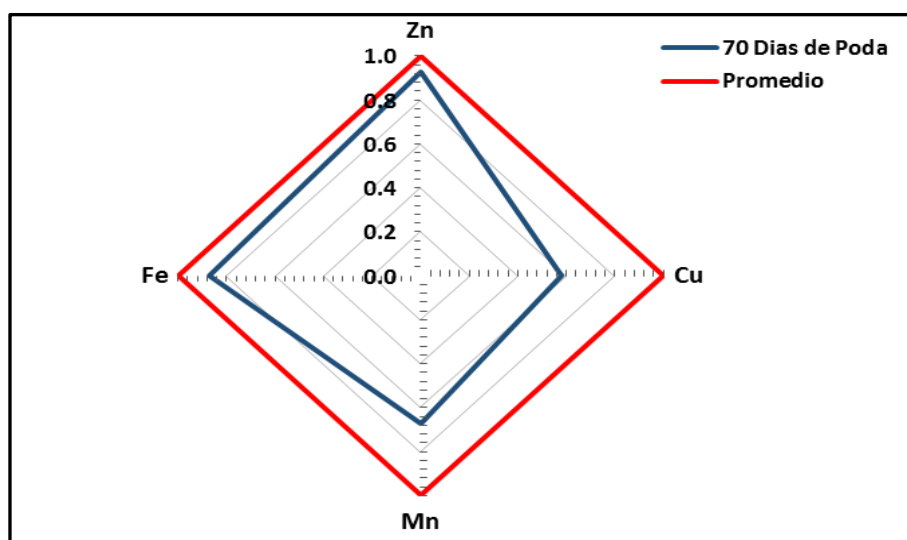


Figura 3.23. Polígono de extracción de micronutrientes a 70 días después de la poda

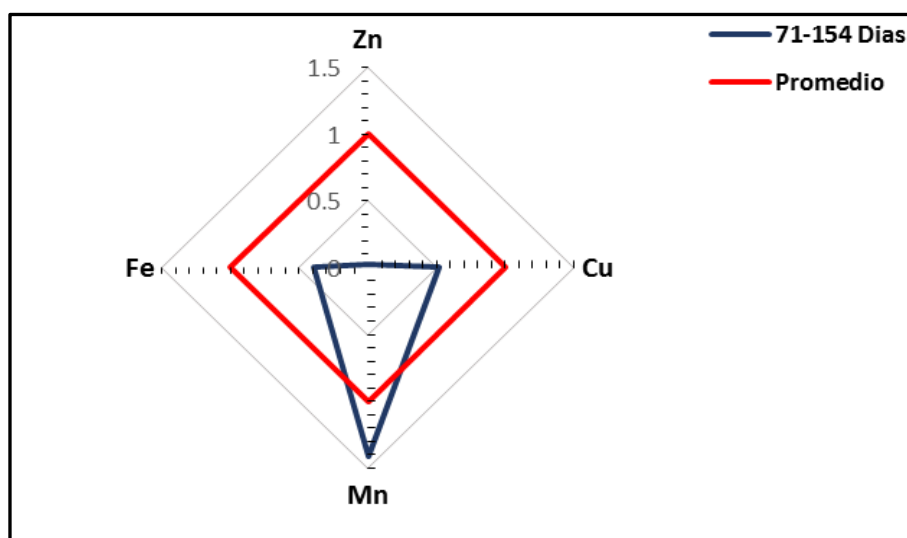


Figura 3.24. Polígono de extracción de micronutrientes entre 71 - 154 días después de la poda

Igualmente, a los 209 ddp, consigue trascendencia el manganeso y el zinc, debido a que intervienen (sobre todo el zinc) en la formación de hormonas que están afectando el incremento de las plantas. Participa en la formación de proteínas. Si no existe una porción correcta de Zinc en la planta, no se aprovechan bien el Nitrógeno ni el Fósforo. También, beneficia un mejor tamaño de los frutos.

Durante los últimos años se ha aumentado la utilización de los micronutrientes en los programas de fertilización debido primordialmente a la continua remoción de recursos menores por el cultivo que en algunas ocasiones, ha disminuido la concentración de éstos en el suelo a niveles debajo de lo primordial para el aumento regular. Un mejor entendimiento de la nutrición vegetal ha ayudado a diagnosticar deficiencias de recursos menores que anteriormente no eran atendidas.

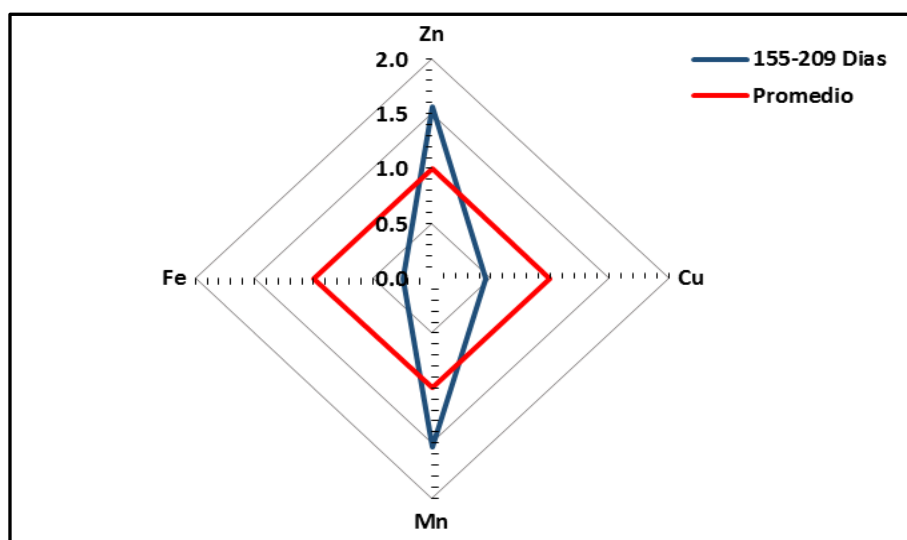


Figura 3.25. Polígono de extracción de micronutrientes, entre 155 - 209 días después de la poda

A los 243 ddp (figura 3.25), el cobre sobresale del polígono promedio por ser catalizador para la respiración y constituyente de enzimas e intervenir en el metabolismo de carbohidratos y proteínas y en la síntesis de proteínas.

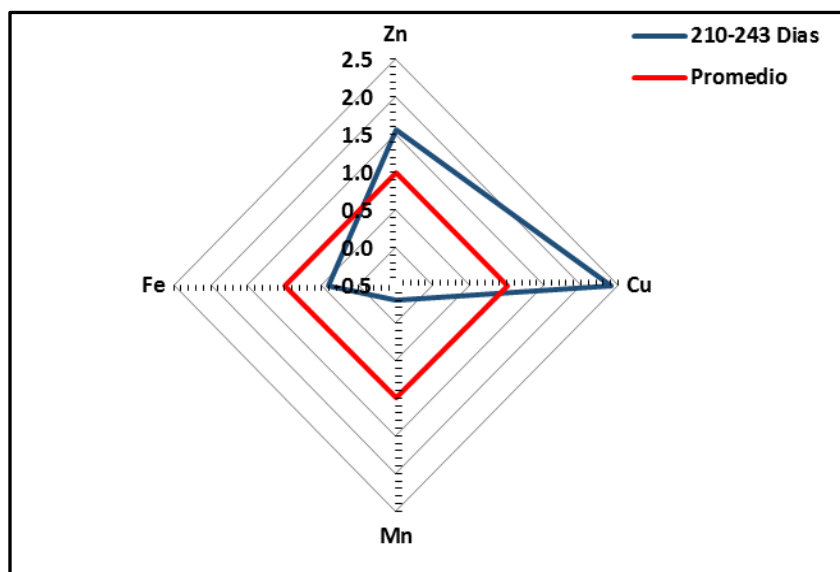


Figura 3.26. Polígono de extracción de micronutrientes entre 210 – 243 días después de la poda

CONCLUSIONES

1. El periodo crítico de absorción de nutrientes en el cacao variedad CCN – 51, se presentan a los 185 ddp para el N, P, S, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn y Fe. El potasio aumenta su extracción hasta la maduración del fruto (243 ddp).
2. Los ritmos de extracción de los macro nutrientes N, P, S, Ca y Mg tienden a incrementar hasta los 185 días después de la poda, con 63.97, 13.7, 11.23, 32.13 y 13.27 Kg ha⁻¹, respectivamente. Luego disminuyen debido al cuajado del fruto y en la mazorca (243 ddp) se reportan extracciones de 210.05 kg ha⁻¹ de N, 34.57 kg ha⁻¹ de P, 32.2 kg ha⁻¹ de S, 86.06 kg ha⁻¹ de Ca y 35.7 kg ha⁻¹ de Mg. El K incrementa su extracción hasta los 243 ddp, con 237.92 kg ha⁻¹
3. Los micro elementos Zn, Cu, Mn y Fe son extraídos con mayor intensidad hasta los 185 ddp. Se ha cuantificado hasta los 243 ddp extracciones de 792.26, 246.06, 3683.82 y 1806.81 ppm, respectivamente.
4. Las necesidades nutricionales para el rendimiento de una tonelada de grano de almendras son: 76.16 kg ha⁻¹ de N, 12.53 kg ha⁻¹ de P, 86.26 kg ha⁻¹ de K, 11.67 kg ha⁻¹ de S, 31.20 kg ha⁻¹ de Ca y 12.94 kg ha⁻¹ de Mg. Respecto a los micro elementos 233.96 ppm de Zn, 81.58 ppm de Cu, 426.21 ppm de Mn y 298.63 ppm de Fe.
5. La secuencia de absorción de los macronutrientes en el cacao sigue el orden siguiente: K > N > Ca > Mg > P > S; en tanto los microelementos, sigue el orden siguiente: Mn > Fe > Zn > Cu.

RECOMENDACIONES

1. Al haberse investigado en la variedad del cacao CCN-51, se recomienda realizar trabajos similares en otras variedades, de modo que se pueda cuantificar la extracción media de nutrientes en Kimbiri y zonas aledañas.
2. Se recomienda a los productores de cacao, tener en cuenta los valores de extracción encontrados a fin de cuantificar adecuadamente los planes de fertilización

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.W. (1981). *Light-energy-dependent processes other than CO₂ assimilation*. In: The Biochemistry of Plants vol. 8. Photosynthesis. Academic Press, Inc. New York. Pp. 473-500.
- BARBER, S.A. (1995). *Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach*. John Wiley & Sons, New York (USA).
- BARRIGA, R. (1994). *Plantas Útiles de la Amazonía Peruana* CONCYTEC. 1ra Edición. Lima – Perú.
- BENITO J., A. (1991). *Tecnificación del Cacao en la selva Alta Peruana* Fundación para el Desarrollo del Agro. (FONDEAGRO). Lima –Perú.
- BRAUDEAU J. (1970). *El Cacao, Técnicas Agrícolas y Producciones Tropicales*. Editorial Blume. 1ra Edición. Barcelona-España.
- CHAMORRO, C. (1989). *Efecto del uso del suelo sobre la composición edafofaunística de los páramos que circundan la ciudad de Bogotá*. Suelos Ecuatoriales, 19 (1): 48-62.
- CIAT. (1982). *Amazonía: Investigación sobre Agronomía y Uso de Tierra*. Serie CIAT 035-4 (82). 448 p.
- COCOA GROWERS' BULLETIN (1980). *Developments in Cocoa Nutrition in the Nineteen Seventies, a Review of Literature*. England.
- CUEVA, A. (2013). *Cacao. Sombreamiento, agroforestería, nutrición, fertilización, fisiología*. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- DAVELOUIS, J. (1991). *Fertilidad de suelo*. Editorial C.E.A. Lima- Perú.
- DAVELOUIS, J. (1991). *Fertilidad del suelo*. UNALM. 2 da edición. Lima Perú.
- DEVIDA. 2004. (Cacao). *Paquete Tecnológico para el Valle Río Apurímac-Ene*.
- DEVLIN, R. (1970). *Fisiología vegetal*. Trad. Xavier Llimona. Editorial. Omega S.A. Barcelona
- ENRIQUEZ G., A. (1985). *Curso sobre el Cultivo de Cacao*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba – Costa Rica.
- FASBENDER, H. (1986). *Química de suelos, con énfasis en los suelos de América Latina*. 5ta Edición. Editorial IICA. San José- Costa Rica.350p.
- FURCAL, P. (2017). *Extracción de nutrientes esenciales en frutos de clones de cacao en producción en dos regiones en Costa Rica*. Vicerrectoría de Investigación y Extensión, Dirección de Proyectos Escuela de Agronomía.

- GARCÍA L. F. (2001). *Recursos Genéticos y Mejoramiento del Cacao*. UNAS. Tingo María.
- GARCÍA, A. (1993). *Sintomatología de las Deficiencias Nutricionales en Cacao*. ICA, Colombia.
- GROS, A., y DOMÍNGUEZ, A. (1992). *Abonos guía práctica de la fertilización*. Ediciones mundi prensa, Madrid, España.
- GUERRERO A. (1990). *El suelo y los fertilizantes de los cultivos*. Edición Mundi prensa. 1ra edición. España.
- GUERRERO, J. (2012). *Análisis de suelo y fertilización del cacao*. UNALM. Perú
- HERNÁNDEZ, T. A. (1991). *Cacao. Sistemas de Producción en la Amazonía Peruana*. Proyecto Promoción Agroindustrial AD/PER/451-UNFDAC-PNUD/OSP. Tingo María-Perú.
- KAFKAFI, U. (1990). *The functions of plant K in overcoming environmental stress situations*. In: Proc. 22nd colloquium of IPI, pp. 81-93, held in Soligorsk, USSR, IPI, Bern.
- KAFKAFI, U. (1997). *Impact of potassium in relieving plants from climatic and soil-induced stresses*. In: Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization, A.E. Johnston (ed.), pp. 320-327, IPI, Bern.
- KAFKAFI, U. AND XU, G.H. (1999). *Potassium nutrition for high crop yields*. In: *Frontiers in potassium nutrition: new perspectives on the effects of potassium on physiology of plants* (D. M. Oosterhuis, and G. Berkowitz, eds.). 133-142: PPI/PPIC, Georgia, USA.
- LABRADOR, J. (2008). *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Valencia (España).
- LAMBERS, H., CHAPIN, F. y PONS, T. (2008). *Plant Physiological Ecology*. Edit. Springer. The Netherlands.
- LING, A.H. and S.B. CHIU. (1990). Cocoa nutrition and manuring in Malaysia. In: Proc. of MCGC - Malaysian Cocoa Board Workshop on Cocoa Agricultura! Research.
- LIZANO, M. (1992). *El Cultivo de Cacao*. Programa Nacional del Cacao. Ministerios de Agricultura y Ganadería. Guayaquil-Ecuador.
- MAATHUIS, F. y SANDERS, D. (1996) *Mechanisms of potassium absorption by higher plant roots*. *Physiol Plant* 96: 158-168

- MALAVOLTA, E., G.C. VITTI y S.A. DE OLIVEIRA. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações*. 2da. Edição. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
- MARSCHNER, P. (ed.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands
- MAYZ & FIGUEROA, J. (2004). *Fijación biológica de nitrógeno*. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Laboratorio de Rizobiología, Campus Juanico, Maturín, Estado Monagas
- MENGEL K., KIRKBY A. (2001). *Principles of Plant Nutrition*. 5th Edition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- MINAG (2003). *Caracterización de las Zonas Productoras de Cacao en el Perú y su Competitividad*. Programa para el Desarrollo de la Amazonía. Lima-Perú.
- MINAG (2004). *Manual del cultivo del cacao*. Programa para el desarrollo de la amazonia Pro Amazonía. Lima, Perú.
- MINAG (2005). *Cadena agroproductiva del cacao*. IICA, CICDA y GTZ. Lima, Perú.
- MULLER, M.W. (2008). *Ecofisiología del cacao*. En: Seminario Internacional de cacao. Avances de Investigación. Floridablanca Santander.
- NOSTI, J. (1980). *Cacao, Café y Té*. Salvat Editores. Barcelona – España.
- PAREDES, M. (2003). *Manual de Cultivo de Cacao*. Lima
- PAREDES, M. (2004). *Manual del Cultivo de Cacao*. Ministerio de Agricultura. Programa para el Desarrollo de la Amazonía. Pro Amazonía. Lima- Perú.
- PDC. (2013). *Plan de desarrollo concertado del distrito de Kimbiri 2006 – 2015*. La Convención, Cusco.
- PITMAN, M.G. (1972). *Uptake and transport of ions in barley seedlings 111. Correlation between transport to the shoot and relative growth ratio*. Aust. J. Biol. Sci. 25: 905-919.
- PORTA, J.; LOPEZ A. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 960 pp.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F. y H. CURTIS (1976). *Biology of plants*. Worth Publishers (New York).
- RENNENBERG, H. (1984). *The fate of excess sulfur in higher plants*. Annu. Rev. Plant Physiol. 35:121-153.
- RODRÍGUEZ, F. 1982. *Fertilizantes; nutrición vegetal*. México, AGT. 157p.

- SILVA, A., PONCE DE LEÓN, J., CARASSA, R. y REYES, W. (1992). *Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdeos y propiedades fisicoquímicas del suelo*. Notas Técnicas. Facultad de Agronomía, Montevideo (Uruguay).
- SIMPSON, K. (1991). *Abonos y estiércoles*. Zaragoza, España. Ed. Acribia 273 p.
- TAIZ, L. y ZEIGER, E. (1998). *Plant Physiology*. Editorial: Sinauer Associates Inc. 2nd Edition. EE.UU.
- VERA, M.; ROSALES, H. y URENA, N. (2000). *Caracterización físico – química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela*. Rev. Geo. Vol 41 (2) 2000, 257-270.
- VILLAGARCIA, S. y AGUIRRE, G. (1990). *Manual de uso de fertilizantes*. UNALM Lima, Perú.
- YUFERA, E. (1973). *Química agrícola*. Tomo I. Editorial Alambra. 1ra Edición. España.
- ZAVALA J. W. (2007). *Nutrición Mineral del Cacao*. Docente Principal de la Facultad de Agronomía-UNAS.

ANEXOS

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1. Muestreo de hojas



Foto 2. Muestreo de flores



Foto 3. Muestreo de frutos en estado de pepinillo



Foto 4. Muestreo de frutos en estado de cuajado de frutos



Foto 5. Muestreo de frutos en estado de llenado de frutos



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

“Extracción de nutrientes e identificación de épocas críticas en cacao (*Theobroma cacao* L.) en Kimbiri, Cusco 2014”

Autor : Cristofer Yanasupo Bautista

Asesor : Raúl José Palomino Marcatoma

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 25% de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 15 de setiembre de 2022

Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATED
Presidente de comisión

EXTRACCION DE NUTRIENTES E IDENTIFICACIÓN DE EPOCAS CRITICAS EN CACAO (THEOBROMA CACAO L.) EN KIMBIRI, CUSCO 2014

por Cristofer Yanasupo Bautista

Fecha de entrega: 14-sep-2022 11:44p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1900230826

Nombre del archivo: TESIS_CRISTOFER_YANASUPO_BAUTISTA.pdf (2.22M)

Total de palabras: 30374

Total de caracteres: 157026

EXTRACCION DE NUTRIENTES E IDENTIFICACIÓN DE EPOCAS CRITICAS EN CACAO (THEOBROMA CACAO L.) EN KIMBIRI, CUSCO 2014

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	4%
2	www.ipipotash.org Fuente de Internet	2%
3	files.jose-villalobos-tantalean.webnode.es Fuente de Internet	1%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ulead.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	1library.co Fuente de Internet	1%

9	www.scielo.org.co Fuente de Internet	1 %
10	www.ipni.net Fuente de Internet	1 %
11	aprenderly.com Fuente de Internet	1 %
12	es.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
13	www.ciblancart.com Fuente de Internet	<1 %
14	biblioteca.cucba.udg.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
16	Rodinei Facco Pegoraro, Bruna Aparecida Madureira de Souza, Victor Martins Maia, Deivisson Ferreira da Silva et al. "Macronutrient uptake, accumulation and export by the irrigated 'vitória' pineapple plant", Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2014 Publicación	<1 %
17	www.cacaomovil.com Fuente de Internet	<1 %
18	www.smart-fertilizer.com	

Fuente de Internet

<1 %

19

www.scielo.sa.cr

Fuente de Internet

<1 %

20

revistas.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

21

worldcocoafoundation.org

Fuente de Internet

<1 %

22

sites.google.com

Fuente de Internet

<1 %

23

aulas.uruguayeduca.edu.uy

Fuente de Internet

<1 %

24

www.ibosa.net

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Nacional de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

26

www.cultivacacao.com

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

www.intagri.com

Fuente de Internet

<1 %

29	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	<1 %
30	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
31	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1 %
32	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	regeneradoresdesuelo.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
35	up-rid.up.ac.pa Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	www.repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	portal.amelica.org Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.continental.edu.pe	

Fuente de Internet

<1 %

41

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

42

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

43

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

44

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

46

repositorio.unu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

47

www.buenastareas.com

Fuente de Internet

<1 %

48

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

49

actualizandocambios.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

50

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

51

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

52

tesis.ipn.mx

Fuente de Internet

<1 %

53

Submitted to espam

Trabajo del estudiante

<1 %

54

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

55

wikisabio.com

Fuente de Internet

<1 %

56

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo