

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
MENCIÓN EN AGRICULTURA SOSTENIBLE**



**DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES Y METALES
PESADOS EN LA BIOMASA ESTACIONAL DEL CULTIVO DE CAMU CAMU
(*Myrciaria dubia* HBK), EN UN ENTISOLS DE YARINACocha**

Tesis

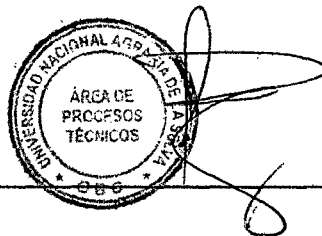
Para optar al Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

NADIA MASAYA PANDURO TENAZOA

Tingo María – Perú

2015



TM
AGR

PANDURO TENAZOA, Nadia Masaya

Dinámica de la Absorción de los Nutrientes y Metales Pesados en la Biomasa Estacional del Cultivo de Camu Camu (*Myrciaria dubia* HBK) en un Entisol de Yarinacocha - Tingo María - 2015

56 páginas; 28 cuadros; 15 figuras; 58 ref.; 30 cm.

Tesis (M.Sc. Ciencias Agrícolas: Mención Agricultura Sostenible) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú) Escuela de Posgrado

- 1. MYRCIARIA DUBIA 2. NUTRIENTES 3. METALES PESADOS**
4. FENOLOGIA 5. PATRON DE EXTRACCIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCION



Av. Universitaria s/n .Telefax (062) 561070-Email: posgrado@unas.edu.pe

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad universitaria, siendo las 6.00 p.m. del día viernes 10 del mes de abril de 2015, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la UNAS, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"Dinámica de la Absorción de Nutrientes y Metales Pesados en la Biomasa Estacional del Cultivo de Camu Camu (*Myrciaria dubia HBK*), en un Entisol de Yarinacocha".

A cargo de la candidata al Grado de Maestro en Ciencias Agrícolas, Mención Agricultura Sostenible, **Ing. Nadia Masaya PANDURO TENAZOA.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO.**

Acto seguido, a horas 7.45 p.m. el Presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente Acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
M.Sc. JOSE W. ZAVALA SOLORZANO

Presidente del Jurado

.....
M.Sc. MIGUEL HUAUYA ROJAS

Miembro del Jurado

.....
M.Sc. JORGE ADRIAZOLA DEL AGUILA

Miembro del Jurado

.....
M.Sc. HUGO HUAMANI YUPANQUI

Miembro del Jurado - Asesor

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios, quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A Aleksandra Noeli, Nadia Ekaterina e Inna Anzhelika por quienes soy lo que soy y que con su bondad y dulzura me inspiraron a ser mejor para ustedes. A ti Noé, por tu paciencia y comprensión, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado y por tolerarme tanto. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y sobre todo por haber inculcado en mí todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño y perseverancia para conseguir mis objetivos. A los docentes de la mención y amigos que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas.

*“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. **Thomas Chalmers***

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a cada uno de los docentes de la Maestría en Ciencias Agrarias – Mención en Agricultura Sostenible quienes reforzaron mi conocimiento intelectual y humano.

A los miembros del Jurado Calificador, Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano- Presidente, M. Sc. Miguel Huauya Rojas – Miembro y M. Sc. Jorge Luís Adriazola Del Águila - Miembro; por sus acertadas opiniones y grandes aportes para asegurar la calidad y el rigor científico de la presente tesis.

Especiales agradecimientos a los M. Sc., Hugo Huamaní Yupanqui – Asesor y Eliel Sánchez Marticorena, Coasesor, por aportar acertadamente en esta tesis, con su tiempo y dedicación, así como con sus consejos y amistad.

Al M. Sc. Juan Hilbert Casas Vera y al Ingeniero Róger Vásquez Gómez, por sus valiosos aportes y colaboración en la realización de la presente tesis.

A la Sra. Laura García Mori, secretaria de la Dirección de la EPG-UNAS, por su cordial atención y ayuda desinteresada.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo, porque cada una aportó con un granito de arena en sus pertinentes y acertadas opiniones; y es por ello que a todos y cada uno de ustedes les dedico todo el esfuerzo, sacrificio y tiempo que entregué a esta tesis.

ÍNDICE

Página

CARÁTULA.....	i
CONTRACARÁTULA	ii
FICHA CATALOGRÁFICA	iii
ACTA DE APROBACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades de la Especie en Estudio.....	4
2.2. Fenología del Cultivo.....	6
2.3. Absorción de Nutrientes por las plantas	6
2.4. Los Nutrientes	8
2.5. Metales Pesados en los Cultivos, Agua, Suelos y la Salud	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1. Ubicación del Estudio.....	13
3.2. Características Edáficas de la Zona de Estudio.....	13
3.3. Características Climáticas de la Zona de Estudio	15
3.4. Características del Material Vegetal	15
3.5. Características de la Parcela Experimental.....	16
3.6. Análisis de Datos.....	17
3.7. Métodos.....	17
3.7.1. Actividades de campo	17

3.7.2. Actividades de laboratorio	19
3.7.3. Actividades de gabinete (procesamiento y análisis de información).....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1. Determinación de la Materia Seca.....	23
4.1.1. Porcentaje de materia seca en hojas y frutos por fase fenológica.....	23
4.1.2. Formación y acumulación de materia seca	26
4.2. Dinámica nutricional del cultivo de camu camu.....	28
4.2.1. Concentración de nutrientes y metales pesados en el camu camu.....	28
A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)	28
B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)	33
C. Metales pesados (Pb, Cd y Cr)	37
4.2.2. Absorción total de nutrientes y metales pesados en el camu camu	38
A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)	38
B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)	41
C. Metales pesados (Pb, Cd y Cr)	42
4.2.3. Extracción de nutrientes y metales pesados por el camu camu	44
A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)	44
B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)	47
C. Metales pesados (Cd, Pb y Cr)	50
4.3. Rendimiento	52
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VIII. ABSTRACT	64
IX. ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Página

En el texto

1. Antagonismos de los nutrientes más comunes en América Latina.....	9
2. Alteraciones fisiológicas que producen algunos metales y metales pesados que contaminan las plantas.....	11
3. Características fisicoquímicas de la capa arable de los suelos de cada unidad experimental (horizonte A; profundidad 0-30 cm).	14
4. Programa de evaluación después de la defoliación.	19
5. Porcentaje de materia seca de hojas en cada fase fenológica.	23
6. Porcentaje de materia seca de frutos en cada fase fenológica.	25
7. Acumulación de materia seca en hojas, frutos y total de camu camu en Kg.ha ⁻¹	27
8. Concentración de macronutrientes en hojas, durante las fases fenológicas del camu camu, en porcentaje.	29
9. Concentración de macronutrientes en frutos, durante las fases fenológicas, en porcentaje.	31
10. Concentración de micronutrientes en hojas, durante las fases fenológicas del camu camu, en ppm.	34
11. Concentración de micronutrientes en frutos, durante las fases fenológicas del camu camu, en ppm.	35
12. Concentración de Cadmio, Plomo y Cromo en hojas y frutos, durante las fases fenológicas del camu camu, en ppm.	37
13. Absorción total de macronutrientes, durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹	39
14. Absorción total de micronutrientes, durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹	41
15. Absorción total de Cadmio, Plomo y Cromo, durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹	43

16. Extracción de macronutrientes durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹ .	45
17. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de macronutrientes en hojas, en Kg.ha ⁻¹ .	46
18. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de macronutrientes en frutos, en Kg.ha ⁻¹ .	46
19. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de macronutrientes, en Kg.ha ⁻¹ .	47
20. Extracción de micronutrientes en las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹ .	48
21. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de micronutrientes en hojas, en Kg.ha ⁻¹ .	49
22. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de micronutrientes en frutos, en Kg.ha ⁻¹ .	49
23. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de micronutrientes, en Kg.ha ⁻¹ .	50
24. Extracción de Cadmio, Plomo y Cromo durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha ⁻¹ .	50
25. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de metales pesados en frutos, en Kg.ha ⁻¹ .	51
26. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de metales pesados, en Kg.ha ⁻¹ .	52
27. Rendimiento neto, rendimiento perdido y rendimiento total (Kg.ha ⁻¹).	52
28. Nutrientes y metales pesados extraídos por el fruto en Kg.ha ⁻¹ .	53

En el anexo

1. Características fisicoquímicas de las muestras de suelos, por bloque en estudio.	67
2. Concentración de elementos en las fases fenológicas, según análisis de tejidos.	68
3. Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales.	71
4. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios en peso fresco.	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

En el texto

1. Interacción de los minerales en las plantas MULDER.	9
2. Variación de la precipitación, temperatura y humedad relativa de Pucallpa..	15
3. Distribución de las unidades experimentales.	16
4. Curva del porcentaje de la materia seca de hojas en cada fase fenológica.....	24
5. Curva del porcentaje de la materia seca de frutos en cada fase fenológica.	25
6. Acumulación de materia seca en hojas y frutos de camu camu durante las fases fenológicas (Kg.ha^{-1}).	27
7. Concentración de macronutrientes en hojas de camu camu durante, las fases fenológicas, en porcentaje.	29
8. Concentración de macronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en porcentaje.	32
9. Concentración de micronutrientes en hojas de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.	34
10. Concentración de micronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.	35
11. Absorción total de N, P y K, durante las fases fenológicas, en Kg.ha^{-1}	39
12. Absorción total de Ca, Mg y S, durante las fases fenológicas, en Kg.ha^{-1}	40
13. Absorción total de Mn, durante las fases fenológicas, en Kg.ha^{-1}	41
14. Absorción total de Zn, Cu, Fe y B, durante las fases fenológicas en Kg.ha^{-1}	42
15. Absorción total de Pb, Cd y Cr, durante las fases fenológicas, en Kg.ha^{-1}	43

En el anexo

1. Ubicación del área experimental.....	66
2. Vista de la plantación de camu camu defoliada, al inicio de la investigación.....	72
3. Obtención de muestras.	72
4. Planta en observación: codificada y señalizada.....	73
5. Vista de la calicata S-2, que representa al suelo del área estudiada.	73
6. Asesor y tesista en visita al campo experimental.....	74
7. Coasesor, tesista y colaboradores en un día de colecta de datos.....	74

**DINÁMICA DE LA ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES Y METALES
PESADOS EN LA BIOMASA ESTACIONAL DEL CULTIVO DE CAMU CAMU
(*Myrciaria dubia* HBK), EN UN ENTISOLS DE YARINACOA***

Nadia Masaya Panduro Tenazoa¹, Hugo Huamaní Yupanqui².

RESUMEN

En una plantación a pie franco de *Myrciaria dubia* (HBK), con siete años de edad, ubicado en un suelo aluvial, con el objetivo de conocer la dinámica de absorción de los nutrientes y metales pesados en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), bajo condiciones de un entisol de Yarinacocha; se evaluó en hojas y frutos, en las fases de brotamiento I, brotamiento II, floración, fructificación, llenado de fruto y fruto Maduro: materia seca (Kg.ha^{-1}), rendimiento (t.ha^{-1}) y la absorción total (Kg.ha^{-1}), de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Pb, Cd y Cr, según los respectivos protocolos del Laboratorio de Suelos y Tejidos de la UNAS. Se efectuó la correlación de Pearson entre las fases fenológicas y la absorción de los elementos nutritivos y pesados y su respectivo modelo matemático. La dinámica de absorción de macronutrientes, expresa un alto grado de asociación; definiendo el patrón: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$; siendo la fase de fruto maduro, la de mayor absorción de nutrientes, exceptuando al Mn, que fue en la fase de llenado de fruto. El patrón de absorción total de metales pesados es: $\text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$; superando los límites máximos permisibles. El Rendimiento total, obtenido a los 234 días después de la defoliación, fue de 8,422.01 Kg de frutas ha^{-1} .

Palabras clave: Camu camu, *Myrciaria dubia* (HBK), nutrientes, análisis de tejidos, absorción de nutrientes, plomo, cadmio, cromo, fenología, patrón de absorción.

¹ Tesista de Maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Sede Pucallpa. Perú. E-mail: nmpt80@gmail.com

² Asesor de Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Sede Pucallpa. Perú. E-mail: hhuamani@hotmail.com

* Sustentado en la Ciudad de Tingo María, EPG-UNAS, el 10 de Abril de 2015.

I. INTRODUCCIÓN

Myrciaria dubia H.B. K Mc Vaugh, o “camu camu”, es una especie arbustiva que crece en zonas aluviales. Las altas concentraciones de ácido ascórbico (entre 800 y 6100 mg/100g de pulpa) (YUYAMA, 2011), lo ubica como un frutal importante para la agroindustria y farmacéutica, del cual deriva el interés para explotarlo como cultivo en un mediano plazo, con el uso de tecnología mejorada para incrementar su producción y productividad.

Parte de esa tecnología incluye su nutrición, dado que la fertilidad natural de los suelos que ocupa, son rápidamente desequilibrados nutricionalmente campaña tras campaña. Dado que en nuestra región, la costumbre entre los productores, y más aun de los asentados a orillas de la Laguna de Yarinacocha, para reponer los nutrientes después de las cosechas, no es una práctica habitual, a ello se suma la poca información con que se cuenta sobre la absorción de los nutrientes y sus necesidades nutricionales en función a su fenología; y, de la presencia de metales pesados, en el suelo y en la propia planta, que están siendo absorbidos, producto de los sedimentos transportados por las aguas de la laguna en cada inundación.

Sin embargo, estudios en temas de fertilización del camu camu, en diferentes ecosistemas, de alguna manera abundan; sean con aplicación de fuentes orgánicas e inorgánicas, a nivel de suelo y foliar con diferentes nutrientes, etc. Que en contraste a estudios sobre la absorción de nutrientes y metales pesados, son limitados y lo existente se ha concentrado en determinar la productividad del cultivo aplicando tratamientos de fertirriego con nitrógeno y potasio, definición de curvas de absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en la biomasa estacional, utilizando diferentes dosis de fertilización y determinación de niveles de suficiencia de nutrientes por el método de elementos ausentes.

En cuanto a la presencia de metales pesados en los suelos, aguas, cultivos, peces u otros aledaños a la laguna de Yarinacocha, a la fecha, no se han reportado estudios que los cuantifique, puesto que se limitan a cualificar que las aguas de la laguna se hallan contaminadas por hierro, nitratos, plomo, aluminio, mercurio y metales pesados, por debajo de los límites establecidos por la Ley General de Aguas (IIAP, 1995, citado por MINAM, 2013). Pese a que se tiene conocimiento que los principales agentes de contaminación en la laguna se deben a que es el receptor final de aguas servidas del Hospital Amazónico de Yarinacocha, urbanización Pedro Portillo (FONAVI) y Malecón Yarinacocha (viviendas y comercio) (GOREU, 2010), limitándose a calificarla, según los parámetros de calidad evaluados, como “agua no apta para consumo humano y en algunos casos ni para practicar actividades recreativas y pesca”. Aun cuando se reporta que los efectos de las aguas residuales sin tratamiento y los desechos sólidos, alteran la biodiversidad local (ANA, 2012); ahora, considerando que la importancia del camu camu radica en sus frutos y que al estar contaminados por metales pesados como el cromo, cadmio y plomo, entre otros, producirían una amplia gama de desórdenes agudos y crónicos, según lo referido por investigaciones científicas, con repercusiones negativas en la salud, como: retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en los riñones, e incluso, con casos de muerte.

Por tal motivo, ante esta situación y en un escenario que replica la forma habitual en que maneja el agricultor su plantación en un suelo aluvial y en búsqueda de contribuir con el manejo adecuado de la fertilización del cultivo y proponer estrategias de manejo y conservación de los suelos que albergan a este cultivo y de la propia laguna, se planteó la siguiente interrogante, ¿Cómo será la dinámica de absorción de los nutrientes y metales pesados en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK) bajo condiciones de un entisols de Yarinacocha?. Lo que nos llevó a formular la siguiente hipótesis: ***La absorción de los nutrientes y el movimiento de los metales pesados están en función de su disponibilidad en el suelo y de la etapa fenológica de la planta***; persiguiendo los siguientes objetivos.

Objetivo General:

Conocer la dinámica de absorción de los nutrientes y metales pesados en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), bajo condiciones de un entisols de Yarinacocha.

Objetivos Específicos:

1. Describir la curva de acumulación de materia seca considerando órganos y fases fenológicas de la planta.
2. Describir la dinámica nutricional del cultivo de camu camu a través de la concentración, absorción y extracción de nutrientes y la prevalencia de metales pesados en su biomasa estacional.
3. Evaluar el rendimiento del cultivo bajo las condiciones nutricionales del suelo en estudio.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades de la Especie en Estudio

Los estudios realizados por Humboldt, Bonpland y Kurt, determinan la clasificación de las especies de camu camu, al estado natural en la amazonía peruana; así, reportaron la existencia de dos especies; una arbustiva que hoy se denomina *Myrciaria dubia* (HBK Mc Vaugh) y otra arbórea *Myrciaria floribunda* (RIVA y GONZÁLEZ, 1997). La taxonomía de la especie arbustiva es:

Reino	: Vegetal
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Dicotiledóneas
Orden	: Myrtales
Familia	: Myrtaceae
Género	: <i>Myrciaria</i>
Especie	: <i>Myrciaria dubia</i> HBK.

El camu camu, originario de la amazonia, su distribución natural indica que en mayor concentración de poblaciones y de diversidad se encuentra en la amazonia peruana; en muy baja concentración en la parte de Brasil. La dispersión de este importante frutal amazónico, es principalmente en los afluentes de los grandes ríos como Ucayali, Marañón y Amazonas. Así encontramos el camu camu en los ríos Nanay, Itaya, Tahuayo y Napo, que son afluentes del río Amazonas; en el río Tigre, Pacaya - Samiria que son afluentes del río Marañón; en el lago Sahuá y Supay, afluente del río Ucayali (VILLACHICA, 1996).

Su hábitat son bosques de suelos aluviales recientes inundables, siendo una especie tolerante a la inundación y pudiendo quedar totalmente sumergido en el agua de cuatro a cinco meses; actualmente se adapta a los suelos con buen drenaje y

regímenes hídricos con sequías de hasta dos meses y mayores a estas ocasionan defoliación de la planta (RIVA y GONZÁLEZ, 1997).

Las investigaciones realizadas en plantaciones establecidas en terrazas altas, han demostrado que el camu camu arbustivo se adapta con facilidad a suelos ultisoles (ácido) de baja fertilidad natural; textura franca limosa, franca arcillosa de topografía casi plana a ligeramente inclinada; aunque sus rendimientos son mayores cuando la fertilidad del suelo son mejores y cuando la precipitación está mejor distribuida en el año (RIVA y GONZÁLEZ, 1997).

El camu camu arbustivo es una planta que alcanza hasta 5 m de altura; su raíz es de tipo cónico alcanzando promedios de 50 cm de longitud con ramificaciones secundarias que tienden a la horizontalidad en los primeros 30 cm aproximadamente, se distribuye en un radio proporcional al diámetro de la sombra de la copa del arbusto. A parte de la función asimiladora de nutrientes, la raíz del camu camu está adaptada para soportar una excesiva humedad y fijar con eficiencia a la planta evitando de esta manera el acame provocado por efecto de la corriente de las aguas en épocas de crecientes y vaciones. El tallo y las ramas principales son glabros, las hojas simples y opuestas, aovadas, elípticas o lanceoladas son hasta 8 cm de largo por 1.5 o 2 cm de ancho, ápice acuminado, base redondeada, bordes enteros y ligeramente ondulados, nervios centrales aplanados en el haz y ligeramente prominente en el envés. Las inflorescencias son axilares, con pétalos blancos de 3 a 4 mm de largo, los botones florales nacen en mayor porcentaje en ramas del año, estas flores se abren a los 15 días, se polinizan y dan origen a los frutos. Estos frutos a los 5 a 7 días después de la polinización alcanzan el tamaño de la cabeza de un clavito y completando su madurez a los 60 y 70 días, con un peso que oscila entre 7 a 22 g y una coloración que varía de verde claro al granate intenso. Los frutos son blandos con una a tres semillas reniformes de 8 a 1.5 mm de largo, conspicuamente aplanadas y cubiertas por una malla de fibrillas (RIVA y GONZÁLEZ, 1997).

En poblaciones naturales como en las cochas Sahuá y Supay en el río Ucayali, el 73% de los frutos de una plantación caen antes de completar su desarrollo, llegando al estado verde solo el 27% de los frutos cuajados (PETERS y VÁSQUEZ, 1986); es decir, las flores que logran llegar a la última fase de fruto maduro constituyen el 27% del total de flores fecundadas.

2.2. Fenología del Cultivo

SÁNCHEZ *et al.*, (2007), manifiestan que, después de evaluar el comportamiento de las plantas de camu camu en tres lugares diferentes: caserío Bellavista (margen izquierdo del lago Yarinacocha) en suelos de formación reciente de terrazas bajas, fundo Santa Rita Km 10-3 Carretera Federico Basadre (CFB) en suelos de terrazas altas y el caserío Pucallpillo (alto Ucayali) en suelos de terrazas bajas; por tres años consecutivos, identificó seis fases fenológicas: descanso (junio, julio y agosto), brotamiento (setiembre, octubre y noviembre), floración (noviembre, diciembre y enero), inicio de fructificación (diciembre, enero y febrero), llenado de fruto (enero, febrero y marzo) y cosecha (marzo, abril y mayo), las que durante el año ocurren en forma sucesiva sobreponiéndose y complementándose, pudiendo variar (adelantándose o atrasándose) de acuerdo al comportamiento climático, especialmente de la precipitación pluvial y nivel fisiográfico donde se encuentran la plantación.

Las etapas fenológicas del camu camu son uniformizadas mediante la defoliación ya sea manual o química; que, desde la emisión de brotes hasta la cosecha transcurre un tiempo de 205 días, equivalente a 6 meses con 25 días (ABANTO *et al.*, 2011; ABANTO, 2010).

CASAS (2014), por su parte observó las siguientes fases fenológicas: a) las hojas y los brotes del camu camu alcanzan a desarrollarse y lignificarse totalmente a los 88 días después de la defoliación (ddd); b) la emisión de yemas florales fue a los 100 ddd; c) la floración se dio a los 115 hasta 125 ddd y, d) la cosecha, a los 210 hasta los 234 ddd.

2.3. Absorción de Nutrientes por las plantas

Las curvas de absorción de nutrientes son herramientas que brindan los datos más cercanos a lo que consume un cultivo durante su ciclo de vida. Por lo tanto sirven para conocer la cantidad mínima requerida por un cultivo que persigue determinado rendimiento. Estas curvas sirven para ajustar los diferentes programas de fertilización, obtener mayores rendimientos y disminuir los costos en aplicación de fertilizantes y

maximizar el uso adecuado de los mismos en el momento requerido por el cultivo (BERTSCH, 2003).

Según BERTSCH (2003), la absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre día a día y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes. La definición clara de la duración y los cambios en peso de cada una de las etapas fenológicas, y su relación con los cambios en las concentraciones de elementos en los diferentes tejidos de la planta, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo.

Las plantas absorben nutrientes con la finalidad de formar parte de la estructura de los diferentes órganos y compuestos, así como en las diferentes actividades enzimáticas, que van a influir en la manifestación metabólica del cultivo. Dentro de estos nutrientes seleccionados por Arnon y Stout (1939), citado por MENGEL y KIRKBY (2000), de acuerdo con los criterios de esencialidad definidos por él, se encuentran el N, P y K, como macronutrientes principales, que nos indica que el suelo normalmente no puede satisfacer las necesidades de la planta, por lo que tienen que ser incorporados.

Un amplio número de factores influyen grandemente en la absorción de los elementos nutritivos por la planta y en consecuencia en su composición posterior. Todos ellos están íntimamente relacionados entre sí por lo cual es muy difícil concretar la verdadera influencia de cada uno por separado. Puede clasificarse en tres grupos según su relación con el suelo, con la planta y con las condiciones climáticas (NAVARRO y NAVARRO, 2000). Uno de los factores que más influyen en la disponibilidad de nutrientes es la reacción del suelo ya que afecta generalmente por su influencia en el estado de asimilación del nutriente o en la cantidad del mismo disponible. Los casos más representativos de esta influencia son: el bloqueo o inhibición, precipitación recíproca o volatilización (NAVARRO y NAVARRO, 2000). Otra de las propiedades químicas relacionadas con la disponibilidad de nutrientes es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cantidad total de nutrientes difusibles, tasa de movilidad y distancia de recorrido hasta la superficie radicular, el agua que actúa como solvente y vehículo de transporte de iones, asimismo proporciona la turgencia de las células, y es sustrato para la fotólisis.

Sin embargo, las plantas difieren unas de otras en su poder de absorción. Plantas distintas cultivadas en un mismo suelo pueden tener una alimentación mineral diferente, tanto desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo; e incluso variedades de una misma especie no actúan del mismo modo (NAVARRO y NAVARRO, 2000).

2.4. Los Nutrientes

Los elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas se clasifican, según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes (MENGEL y KIRKBY, 2001; EPSTEIN y BLOOM, 2004). La esencialidad de los nutrientes minerales para las plantas se estableció en experimentos con cultivos en agua y arena que comparaban el crecimiento y los síntomas visuales de deficiencias nutricionales en plantas que recibieron soluciones nutritivas a las cuales se les suprimió elementos específicos, con las mismas plantas que recibieron soluciones nutritivas completas.

Según BURTON y COOPER (2009); en las plantas, 16 elementos son considerados esenciales para su crecimiento adecuado, tres de ellos son utilizados en grandes proporciones: Carbono, Hidrógeno y Oxígeno; seis elementos que utilizados en cantidades relativamente mayores, son los macronutrientes: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio Magnesio y Azufre; y otros siete, los micronutrientes, que se requieren en pequeñas cantidades; todos ellos son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital pero al superar cierto umbral, se vuelven tóxicos (Rubio *et al.*, 1996 citado por ACOSTA, 2007), dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, entre otros, todos ellos componentes naturales de varios suelos, ya que su procedencia está relacionada con la composición del material original.

En el Círculo de Mulder o Carta de Interacción de los minerales (Figura 1), se puede observar que todos los minerales obran entre sí y actúan sobre los otros, provocando sinergismos y/o antagonismos, permitiéndonos apreciar las respuestas típicas de las plantas. Ejemplo: los altos niveles de fósforo del suelo o en la hoja competirán con el cobre, el zinc y el hierro en la asimilación, por lo que la planta necesitará grandes cantidades de estos nutrientes minerales para desarrollar sus funciones metabólicas normales (BIOAGROLAT, 2012).

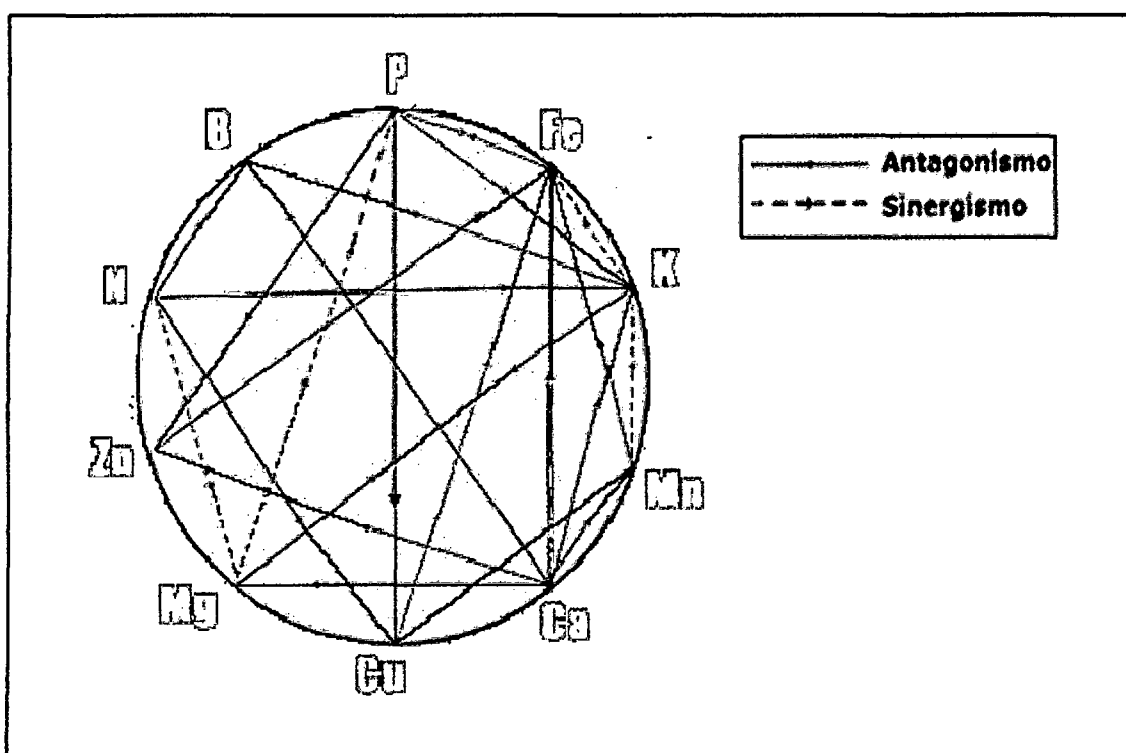


Figura 1. Interacción de los minerales en las plantas MULDER. Fuente: BIOAGROLAT, 2012.

El Cuadro 1, muestra una generalización de cómo cada elemento de una solución de nutrientes influye en otros; por lo que cada especie de planta cultivada varía en lo referente a sus necesidades minerales (BIOAGROLAT, 2012).

Cuadro 1. Antagonismos de los nutrientes más comunes en América Latina.

Mineral en Exceso	Interacción Negativa/Deficiencia
N	Cu, Mo, B, K, S
P	N, Mg, Cu, Zn
K	N, Ca, Mg, Cu, S
Ca	K, Mg, B, Mo, S, Cu
Mg	Ca, K, B, Cu, S, P
Mn	Mo, Fe, S
Fe	Mn, Mo, B, P, S
Zn	Mn, Fe, P, Cu
Cu	Mn, K, P, Fe, Zn
Mo	Cu

Na: No es un nutrimento, pero su presencia causa antagonismos con K, Mg, Ca

Al: Es antagonístico a P principalmente

Fuente: BIOAGROLAT, 2012.

2.5. Metales Pesados en los Cultivos, Agua, Suelos y la Salud

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g.cm^{-3} cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo los metales alcalinos y alcalino-térreos) (GARCÍA y DORRONSORO, 2005), aunque en esta definición, encajan también elementos esenciales para las plantas como Fe, Cu, Mn, Zn u otros esenciales para los animales como Co, Cr o Ni (MENDOZA, 2006). Los elementos As y Se, se consideran como metaloides pero por su efecto contaminante se incluyen dentro de los metales pesados.

Los metales pesados, se encuentran de forma natural en la corteza terrestre contenidos en las rocas; el intemperismo y las actividades del hombre son los responsables del incremento o disminución de los niveles normales por ejemplo, con la utilización de aguas residuales, fertilizantes y mejoradores químicos. En el suelo se producen diversas reacciones que determinarán su velocidad y tiempo de resistencia relacionadas con su ciclo biogeoquímico (Rubio *et al.*, 1996, citado por ACOSTA, 2007).

Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, pero en los últimos años se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo (GIUFFRÉ *et al.*, 2005); los cuales son peligrosos para la biota, el hombre y el deterioro ambiental en general. Bajo este escenario los sedimentos, son uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como recursos secundarios de contaminación en el medioambiente marino (Rubio *et al.* 1996, citado por ACOSTA, 2007).

Los metales pesados más comunes y ampliamente distribuidos como contaminantes ambientales incluyen plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y el metaloide arsénico (As) (REILLY, 2002). Sin embargo, los metales pesados en las plantas, como en otros seres vivos, son esenciales, ya que son componentes estructurales o catalizadores de los procesos bioquímicos de los organismos, las actividades humanas vierten sobre los recursos de suelo y agua grandes cantidades de esos elementos, generando excesos por acumulación de Cd, Hg, Ni y Pb, entre otros, afectando así las relaciones de las plantas y otros organismos, lo cual origina toxicidades en los ecosistemas (MONTENEGRO, 2002). Los mecanismos moleculares

que permiten a especies de plantas ser capaces de tolerar e incluso alimentarse de los metales pesados son poco conocidos (PADILLA *et al.*, s.d).

Los metales pesados participan en varios procesos desde que son incorporados en el suelo principalmente por actividades antropogénicas. Se pueden incorporar al ciclo del agua o acumularse en tejidos vegetales o en el suelo por el resultado de diversas transformaciones químicas, vía proceso de adsorción, solubilización, precipitación y cambios en el estado de oxidación (Rubio *et al.*, 1996 citado por ACOSTA, 2007). Sin embargo, cualquier elemento que se encuentre depositado en el suelo, no necesariamente está disponible para la planta, ya que la absorción de estos, depende de varios factores y características físico-químicas del suelo como el pH, textura, etc., (Fitter *et al.*, 1987 citado por ACOSTA, 2007).

Como parte de la nutrición vegetal, existen elementos trazas necesarios que se incorporan cuando están disponibles en el suelo o agua y según la especie vegetal, son requeridos en ciertas concentraciones actuando de diferente manera, ya sea por deficiencia o excedente. Pero cuando estos elementos son abundantes para las plantas se convierten en tóxicos y generan la pérdida de calidad y propiedades alimenticias de los productos agrícolas generando conflictos fisiológicos importantes (McGrath y McCormack, 1999 citado por ACOSTA, 2007); tal como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Alteraciones fisiológicas que producen algunos metales y metales pesados que contaminan las plantas.

Metal	Efecto en los vegetales
Aluminio	Inhibición y alteración de las funciones de la membrana celular, a nivel del citoplasma.
Arsénico	Reducción del crecimiento y alteración de la concentración de Ca, K, P y Mn en la planta.
Cadmio	Inhibición de la fotosíntesis y la transpiración. Inhibición de la síntesis de clorofila. Modificación de las concentraciones de Mn, Ca y K.
Cobre	Desbalance iónico, alteración de la permeabilidad de la membrana celular, reducción del crecimiento e inhibición de la fotosíntesis.
Cromo	Degradación de la estructura del cloroplasto, inhibición de la fotosíntesis, alteración de las concentraciones de Fe, Ca, K y Mg.
Mercurio	Alteración de la fotosíntesis, inhibición del crecimiento, alteración de la captación de K.
Plomo	Inhibición de la fotosíntesis, el crecimiento y de la acción enzimática.
Zinc	Alteración de la permeabilidad de la membrana celular, inhibición de la fotosíntesis, alteración en las concentración de Cu, Fe y Mg.

Fuente: Nastush, 1997, citado por ACOSTA, 2007.

Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda (KABATA-PENDIAS y PENDIAS, 2000); Gulson *et al.* (1996), citados por VELIT y LAZO (2013), mencionan que excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación.

En general, estos metales no son biodegradables y, por consiguiente, pueden acumularse en órganos vitales del cuerpo humano, produciendo efectos tóxicos progresivos (QUEIROLO *et al.*, 2000). La mayoría de los metales pesados entran en la cadena alimentaria principalmente a través de los cultivos que absorben del agua de riego contaminado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del Estudio

El estudio se realizó en el Fundo "Paraíso", ubicado en el caserío "Santa Rosa", distrito de Yarinacocha, provincia Coronel Portillo, región Ucayali. Geográficamente localizado en las coordenadas de la zona 18L UTM 541477 E y 9083 073 N en el sistema WGS 84 y tiene una altitud de 148 msnm.

3.2. Características Edáficas de la Zona de Estudio

Según lo reportado, por CASAS (2014), el suelo del área experimental exhibe una secuencia de horizontes A-C1-C2-C3, con un epipedón ochrico, su origen está formado por depósitos de sedimentos aluviales trasladados por el río Ucayali y sus afluentes al hacer su recorrido durante la época de la creciente (inundación) corresponde al Cuaternario Holoceno.

Fisiográficamente, forma parte del paisaje Planicie Aluvial, formando un subpaisaje Llanura Inundable, con un elemento de paisaje Terraza Baja, con pendientes menores al dos por ciento (CASAS, 2014); características similares a las reportadas por VERDE (2013), en un estudio de suelos potenciales para el cultivo de camu camu, ubicadas en el margen derecho del Lago Yarinacocha.

Este suelo se caracteriza por ser profundo, de color pardo en todo el perfil, su textura varía de media (franco limoso) a fina (franco arcillo limoso), desde la superficie hacia las capas inferiores, con estructura granular fina débil en el horizonte A y sin estructura (masiva) en la capa C, consistencia friable en la superficie y firme en la profundidad, permeabilidad y drenaje natural moderados (CASAS, 2014).

Sus características químicas están dadas por una reacción muy fuertemente ácida en la superficie (pH 4.44) y moderadamente alcalina en la profundidad (pH 7.91)

sin problemas de sales (C.E. 0.64 – 0.21 dS/m). El contenido de carbonato de calcio es libre en la superficie y bajo en la profundidad (1.7 %). Los niveles de materia orgánica varían de medios a bajos (2.18 – 0.27 %). El fósforo disponible es bajo (6.9 – 3.7 ppm) y el potasio disponible es bajo (99 – 72 ppm) en el perfil. La CIC varía de alto a bajo (18.72 – 7.52 meq/100g suelo). La fertilidad química de la capa arable de este suelo es baja (CASAS, 2014).

De acuerdo con la clasificación de la USDA (2010) citado por CASAS (2014), por sus características morfológicas, ecofisiográficas y fisicoquímicas este suelo pertenece al subgrupo *Typic Udifluvents*. La clasificación según su capacidad de uso mayor refiere su aptitud para cultivos permanentes de calidad agrológica baja (C3si), con limitaciones de suelo e inundaciones que se producen en épocas de la creciente del río Ucayali.

Lo mencionado por CASAS (2014), es muy cercano a lo obtenido en campo, dado que los resultados del análisis físico-químico realizados sobre la capa arable de los cuatro bloques del área en estudio a 30 cm de profundidad, vistos en el Cuadro 3 y comparados con la tabla de interpretación de los rangos de concentración de nutrientes en el suelo de TOMASSINI y GARCÍA (2003); refieren que estos suelos presentan una textura media a fina, con reacción muy fuertemente ácida (pH: 4.63 – 4.97), sin problemas de sales (C.E. 0.52 – 0.33 dS/m). Los niveles de materia orgánica varían de medios a bajos (2.80 – 1.71 %). El fósforo disponible es medio (7.8 – 13.0 ppm) y el potasio disponible es de medio a bajo (156 - 36 ppm). La ClCe es alto (16.96 – 22.08 meq/100g suelo). La fertilidad química de las capas arables de este suelo es baja.

Cuadro 3. Características fisicoquímicas de la capa arable de los suelos de cada unidad experimental (horizonte A; profundidad 0-30 cm).

Código campo	Textura	pH	C.E dS/cm	M.O. %	Disp. ppm		ClCe	Camb. meq/100 g de suelo					Sat. Bases %
					P	K		Ca	Mg	K	Na	Al + H	
BI	Franco arcillo limoso	4,81	0,38	2,59	11,7	151	22,08	16,97	2,78	0,37	0,11	0,2	92
BII	Franco limoso	4,76	0,33	2,80	7,8	36	21,44	16,87	2,40	0,26	0,10	0,2	91,1
BIII	Franco limoso	4,97	0,33	1,71	9,8	116	16,96	14,05	2,35	0,26	0,10	0,2	99
BIV	Franco arcillo limoso	4,63	0,52	2,94	13,0	156	20,32	15,38	2,72	0,33	0,13	0,2	91

Fuente: Laboratorio de Suelos UNAS. 2013.

3.3. Características Climáticas de la Zona de Estudio

De acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge, el área experimental se encuentra dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Tropical, que presenta un clima cálido y húmedo durante todo el año, propio de la selva baja del país, cuya temperatura media anual es de 25,2 °C, humedad relativa 77% y precipitaciones totales anuales de 1758,3 mm en el sector de Pucallpa. En la Figura 2, se puede observar la distribución de la precipitación, humedad relativa y temperatura, registrados durante 10 años (2002 – 2012); asimismo, se puede diferenciar dos estaciones bien marcadas: estación lluviosa (octubre hasta marzo) y estación seca (junio hasta agosto), mientras en abril, mayo y setiembre presentan lluvias transicionales (UNU, 2012).

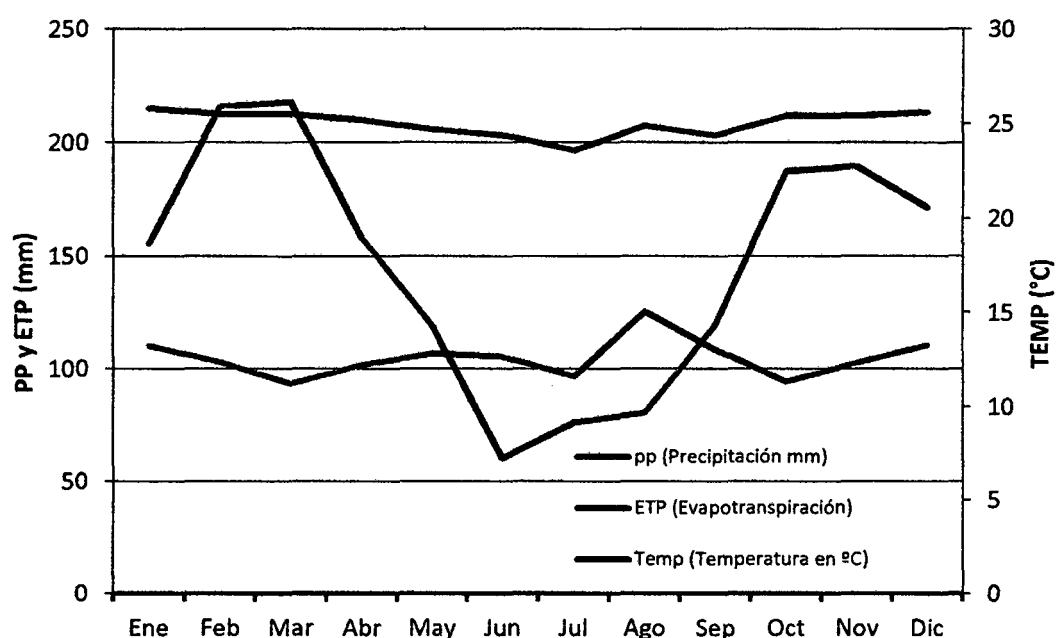


Figura 2. Variación de la precipitación, temperatura y humedad relativa de Pucallpa. Fuente: Estación meteorológica - UNU. 2012.

3.4. Características del Material Vegetal

El material vegetal utilizado corresponde a plantas francas de camu camu de 7 años, seleccionadas por sus características morfológicas (cónica o semi-cónica,

sembradas a un distanciamiento de 3.0 m x 2.0 m, lo cual responde a una densidad de 1650 plantas.ha⁻¹. Al inicio del experimento, un 70% de la plantación se encontraba en estado de descanso (defoliación natural). No hubo restitución con fertilizantes.

3.5. Características de la Parcela Experimental

La parcela experimental presentó las siguientes características y en la Figura 3 se muestra su distribución en el campo.

- Área total del experimento: 66 m x 76 m = 5016 m²
- Número de bloques: 4
- Número de plantas en el área experimental: 20 plantas x 4 bloques = 80
- Área de cada bloque: 12 m x 12 m = 144 m²
- Número de plantas/bloque: 20 plantas
- Número de plantas seleccionadas en cada bloque: 4 plantas
- Área total neta del experimento 144 m² x 4 = 576 m²

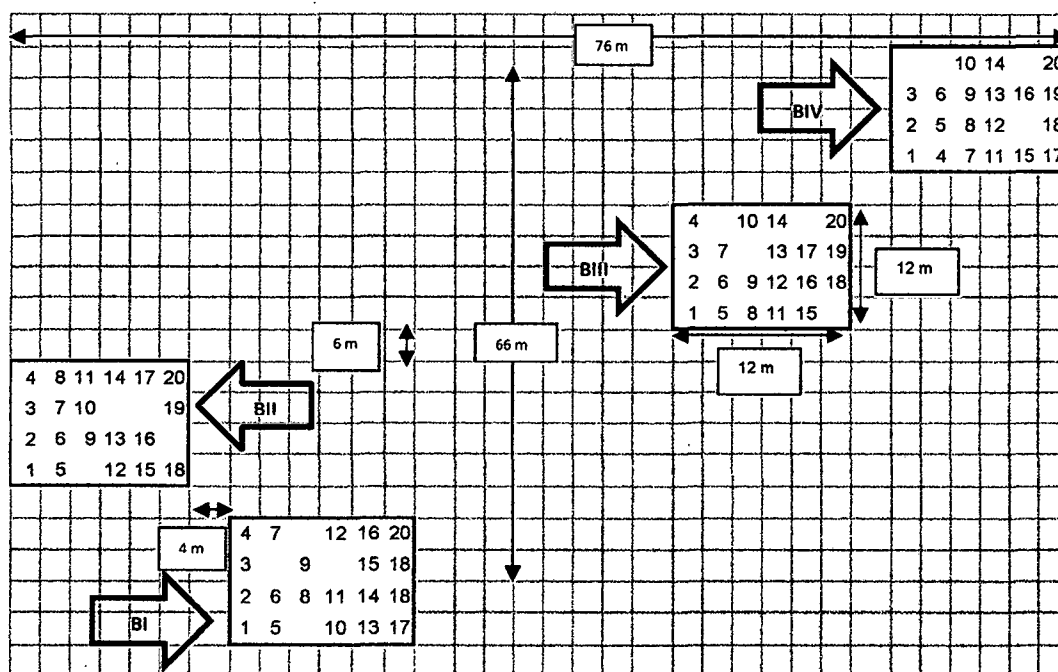


Figura 3. Distribución de las unidades experimentales.

3.6. Análisis de Datos

Se realizó la correlación de Pearson, a fin de determinar el grado de asociación entre ellas, teniendo como variable independiente a la cantidad de cada nutriente y metales pesados asimilados (absorbidos o extraídos) y como variable dependiente a las fases fenológicas del camu camu. El modelo matemático es el descrito en la fórmula (1):

$$r = \frac{\sum XY - (\sum X)(\sum Y)/n}{\sqrt{\sum X^2 - (\sum X)^2/n} \sqrt{\sum Y^2 - (\sum Y)^2/n}} \quad (1)$$

Dónde:

Y : Es la variable independiente.

X : Es la variable dependiente

n : Es el número de pares ordenados (X, Y) .

gl : Grados de libertad $n-2$.

Adicional a ello, se determinó el modelo matemático representativo de la asimilación de cada elemento nutritivo o pesado, durante las fases fenológicas del cultivo.

3.7. Métodos

El estudio se realizó por etapas, las cuales correspondieron a actividades de: campo, laboratorio y de gabinete; que se describen a continuación.

3.7.1. Actividades de campo

a. Instalación del experimento

- **Muestreo del suelo:** Con la finalidad de determinar la fertilidad natural del suelo, se procedió a efectuar muestreos de suelo de la capa arable. Ello a 60 cm del cuello del tallo y a una profundidad de 30 cm, en los cuatro puntos cardinales de cada planta. Se consideraron ocho muestras por unidad experimental; que luego de homogenizadas entre sí, se obtuvo una muestra representativa de 1 Kg de suelo; finalmente, se obtuvieron 4 Kg de muestras de suelo representativo para

todo el experimento. El análisis de caracterización se efectuó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. En el Cuadro 3, se muestran las características fisicoquímicas de la capa arable de los suelos.

- **Selección y codificación de las plantas:** Se seleccionaron un total de 80 plantas, las cuales fueron divididas en cuatro bloques con 20 plantas/bloque. Cada una debidamente codificada y enumerada de manera correlativa desde el número 1 hasta el 20 sobre etiquetas de material metálico, por cada unidad experimental.

- **Defoliación de las plantas experimentales:** La defoliación se efectuó en las 80 plantas de forma manual, con la finalidad de uniformizar el brotamiento y sincronización en la producción.

- **Obtención de las muestras de hojas y frutos:** Las muestras foliares se obtuvieron de la tercera y cuarta hoja de los brotes del año ubicados en el tercio medio de la planta. Las muestras de frutos, fueron obtenidos de las ramas fruteras del tercio medio de la planta. Ambos órganos, en fresco, fueron pesados en campo y posteriormente secados a estufa a 60 °C, hasta obtener un peso constante y luego ser enviados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para el análisis nutricional. En las dos primeras evaluaciones se obtuvo 8 muestras foliares y en las tres restantes, 24 muestras entre foliares y frutos para su análisis químico.

- **Labores culturales:** Las labores culturales de control de malezas y extracción de plantas parásitas, se realizaron de acuerdo con el grado de incidencia de estas y a las necesidades del cultivo, las evaluaciones, muestreos y defoliación de plantas se realizaron cada 45 a 50 días aproximadamente, la cosecha de los frutos se efectuó en tres momentos para evitar pérdidas por sobremaduración; a los 210, 224 y 234 días después de la defoliación (ddd); en esta última, se realizó la cosecha total de frutos en la fase maduro y pintón maduro.

b. Parámetros a evaluar

- **Determinación de la acumulación de materia seca (biomasa estacional) por cada fase fenológica (Kg.ha^{-1}):** Para esta evaluación, en cada fase se emplearon cinco plantas por bloque. Para el momento de evaluación, se tomó como referencia los periodos definidos por CASAS (2014), dado que las características de cada fase descrita se ajustan a lo encontrado en campo; siendo que, en las dos primeras fases, evaluadas a los 44 y 88 días después de la defoliación, se

recolectaron muestras solamente de hojas; así mismo, en las tres últimas fases evaluadas a los 133, 181 y 210 a 234 días después de la defoliación (Ver Cuadro 4), se recolectaron hojas y frutos, considerándose tres repeticiones de 200g peso fresco, cada uno; posteriormente, las plantas intervenidas fueron defoliadas totalmente con la finalidad de obtener la biomasa fresca total por planta; las muestras recolectadas sirvieron para realizar el análisis nutricional de los tejidos.

Cuadro 4. Programa de evaluación después de la defoliación.

Fenología	Momento de evaluación
Brotamiento I	A los 44 ddd.
Brotamiento II	A los 88 días ddd.
Fructificación	A los 133 ddd.
Llenado de fruto	A los 181 ddd.
Fruto maduro	Desde los 210 hasta los 234 ddd, en este periodo se procedió a realizar la cosecha de fruto.

*ddd: Días después de la defoliación.

- **Rendimiento de frutos:** Se obtuvo mediante la cosecha, desde los 210 hasta los 234 días después de la defoliación, cuando los frutos alcanzaron un porcentaje de maduración entre 75 a 90 por ciento. La cosecha se realizó en 4 momentos, debido a que las plantas presentaron varias floraciones y como resultado se tuvo frutos en diferentes estados de desarrollo, se consideró el Rendimiento Neto, Rendimiento perdido y el Rendimiento Total, expresados en Kg.ha⁻¹.

3.7.2. Actividades de laboratorio

a. Análisis de suelos

Esta etapa consistió en la preparación y análisis de cuatro muestras de suelos obtenidos de la capa arable del suelo a 30 cm de profundidad. Los análisis fueron realizados de acuerdo a los protocolos seguidos en el Laboratorio de Suelos y Tejidos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, donde a cada muestra le realizaron los siguientes análisis:

- Textura; por el método de hidrómetro de Bouyoucos.
- Materia orgánica; por el método de Walkley y Black. Expresado en porcentaje.

- Reacción; el pH del suelo medido en una mezcla de suelo: agua en una relación 1:1 suelo: agua.
- Sales solubles; mediante conductímetro.
- Fósforo disponible; por el método de Olsen modificado, expresado en partes por millón (ppm).
- Potasio disponible; extracción con el método del H_2SO_4 6N.
- Capacidad de Intercambio de Cationes Efectiva (CICe); por desplazamiento de cationes. Expresado en meq/100 g de suelo.
- Cationes cambiables; Na y K a través de la fotometría de absorción atómica de flama; Al cambiante, por titulación con Hidróxido de sodio; Ca y Mg por titulación de EDTA.

b. Análisis foliar

Los análisis químicos de los tejidos foliares se efectuaron según el protocolo seguido por el Laboratorio de Suelos y Tejidos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Se realizaron a partir de la materia seca de los órganos obtenidos en campo (hojas y frutos), estas muestras se prepararon mediante la digestión húmeda nitro-perclórica, para la determinación de los tres macronutrientes primarios: para el nitrógeno se realizó mediante el método de la micro-Kjeldahl modificado; para el fósforo, mediante colorimetría con el método amino – naftol sulfónico (color azul) y para el potasio, por espectrometría de absorción atómica. Los macronutrientes secundarios, micronutrientes y metales pesados, se determinaron mediante fotometría de absorción atómica de flama.

3.7.3. Actividades de gabinete (procesamiento y análisis de información)

a. Interpretación de los parámetros a evaluar

Conforme al planteamiento propuesto, para el análisis de la información obtenida en campo, después de las 5 evaluaciones se procedió con el procesamiento y análisis de las variables evaluadas: rendimiento, materia seca de hojas y frutos en cada fase fenológica, concentración, absorción y extracción de nutrientes y metales pesados en los tejidos de hojas y frutos en cada fase fenológica evaluada. A fin de determinar la cantidad de nutrientes requeridos por una plantación de camu camu de aproximadamente 7 años de instalada en terreno definitivo y sembrados a un distanciamiento de 3.0 m x 2.0 m ($1650 \text{ plantas.ha}^{-1}$), para la producción aproximada

de una tonelada de frutos. La base de datos y su procesamiento se realizó en Excel de Microsoft Windows.

b. Determinación de la concentración de nutrientes y metales pesados

Consistió en la recepción de los resultados obtenidos de los análisis foliares y de frutos solicitados ante el Laboratorio de Suelos y Tejidos de la UNAS (Cuadro 2 del anexo); donde se mencionan las cantidades de nutrientes y metales pesados encontrados en cada tejido.

Al no existir escalas de determinación de los niveles de concentración de nutrientes y metales pesados en hojas o frutos del camu camu, se utilizó la Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales, adaptado de Bennett (1993), citado por CORRENDON y GARCÍA (2012) y bibliografía referencial según se muestra en los Cuadros 3 y 4 del anexo; respectivamente.

c. Determinación de absorción de nutrientes y metales pesados

Consistió en la determinación de la cantidad de nutrientes y metales pesados absorbidos durante el desarrollo fenológico del cultivo (biomasa estacional), que inició con el brotamiento y terminó con la cosecha de frutos; cuyos cálculos se realizaron a partir de la concentración de nutrientes y metales pesados encontrados en las hojas y frutos; utilizando la fórmula (2) para concentraciones expresadas en porcentaje (%) o (3) para concentraciones reportadas en partes por millón ($\text{ppm}=\text{mg.Kg}^{-1}$), ambas propuestas por BERTSCH (2005), que se modificaron de la siguiente manera:

$$A_x = \frac{PS \times [X]}{100} \quad (2)$$

Dónde:

A_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) absorbido por el tejido, en 1ha

PS: Peso seco del tejido, en Kg.ha^{-1}

[X]: Concentración del elemento (nutriente o metal pesado), en %.

$$A_x = \frac{PS \times [X]}{1000} \quad (3)$$

Dónde:

A_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) absorbido por el tejido, en 1ha

PS: Peso seco del tejido, en Kg.ha⁻¹

[X]: Concentración del elemento (nutriente o metal pesado), en mg.Kg⁻¹.

d. Determinación de la extracción de nutrientes y metales pesados

Consistió en la determinación de la cantidad de nutrientes y metales pesados extraídos por el órgano objetivo de la producción, que en este caso vienen a ser los frutos del camu camu en la cosecha; para lo cual se realizaron los cálculos utilizando la fórmula (4), modificación de lo propuesto por BERTSCH (2005).

$$E_x = \frac{A_{xij}}{R} \quad (4)$$

Dónde:

E_x: Cantidad de elemento (nutriente o metal pesado) extraído por tonelada de fruto

A_{xij}: Absorción total del elemento, en Kg.ha⁻¹ (nutriente o metal pesado), en Kg.ha⁻¹

R: Rendimiento total de frutos, en t.ha⁻¹

Adicional a la extracción de nutrientes o metales pesados realizados por el fruto de camu camu, recomendado por BERTSCH (2005), se calculó la extracción de cada uno de los elementos, por cada órgano de la planta (hoja y fruto) en cada fase fenológica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ejecutado el trabajo de investigación, se obtuvo los siguientes resultados y discusiones:

4.1. Determinación de la Materia Seca

4.1.1. Porcentaje de materia seca en hojas y frutos por fase fenológica

En el Cuadro 5, se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de materia seca en hojas; asimismo, en la Figura 4 se observa la curva del porcentaje de materia seca obtenida en cada fase fenológica; el porcentaje de materia seca en hojas se inicia de manera creciente desde la fase de brotamiento I hasta la fase de fructificación; a partir del cual, el porcentaje de materia seca tiene un descenso ligero en las fases de llenado de fruto y fruto maduro (cosecha) debido a la traslocación de fotosintatos y minerales hacia los órganos de fructificación y sostén de la planta.

Cuadro 5. Porcentaje de materia seca de hojas en cada fase fenológica.

Fase Fenológica	Brotamiento I (44 ddd)	Brotamiento II (88 ddd)	Fructificación (133 ddd)	Llenado de fruto (181 ddd)	Fruto maduro (210-234 ddd)
Materia Seca (%)	38.41	47.55	49.75	48.17	47.80

ddd: Días después de la defoliación.

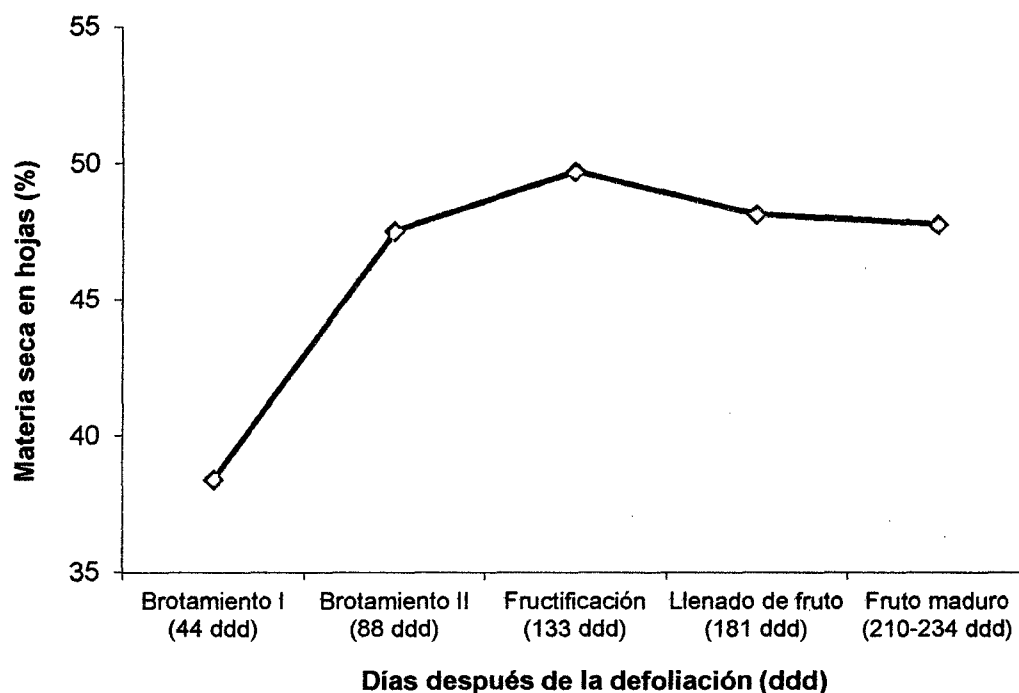


Figura 4. Curva del porcentaje de la materia seca de hojas en cada fase fenológica.

En el Cuadro 6, se muestran los resultados del porcentaje de materia seca en los frutos durante el desarrollo fenológico. En la Figura 5, se observa la curva del porcentaje de materia seca de frutas, donde el máximo porcentaje de materia seca se presenta en la fase de fructificación, alcanzando 32.06 por ciento; lo cual se debe a que en esta fase se inicia la formación de botones florales y frutos pequeños de 2 a 3 mm de diámetro, cuyos tejidos meristemáticos se encuentran en constante división y están recibiendo permanentemente fotosintatos almacenados de los órganos de sostén y procedentes de las hojas, los cuales proporcionan una consistencia dura y menor contenido de humedad.

En la fase de llenado de fruto, el porcentaje de materia seca desciende drásticamente obteniéndose 10.56 por ciento; la cual podría atribuirse a que las células de los frutos comienzan a almacenar en menor proporción fotosintatos y agua en mayor cantidad, originando el crecimiento y desarrollo del fruto y dando la consistencia suave al ser presionados con los dedos. Las semillas de los frutos en esta fase son pequeñas y aún faltan desarrollarse.

Sin embargo, en la fase de fruto maduro (cosecha) el porcentaje de materia seca tiene un ligero incremento a 15.97 por ciento, el cual está influenciado por el continuo almacenamiento de fotosintatos en los tejidos del fruto y el aumento del tamaño de la semilla; en este periodo los frutos tienen una consistencia blanda al ser presionados con los dedos y las semillas son más grandes, duras y han completado su desarrollo fisiológico.

Cuadro 6. Porcentaje de materia seca de frutos en cada fase fenológica.

Fase Fenológica	Fructificación (133 ddd)	Llenado de fruto (181 ddd)	Fruto maduro (210-234 ddd)
Materia Seca (%)	32.06	10.53	15.97

ddd: Días después de la defoliación

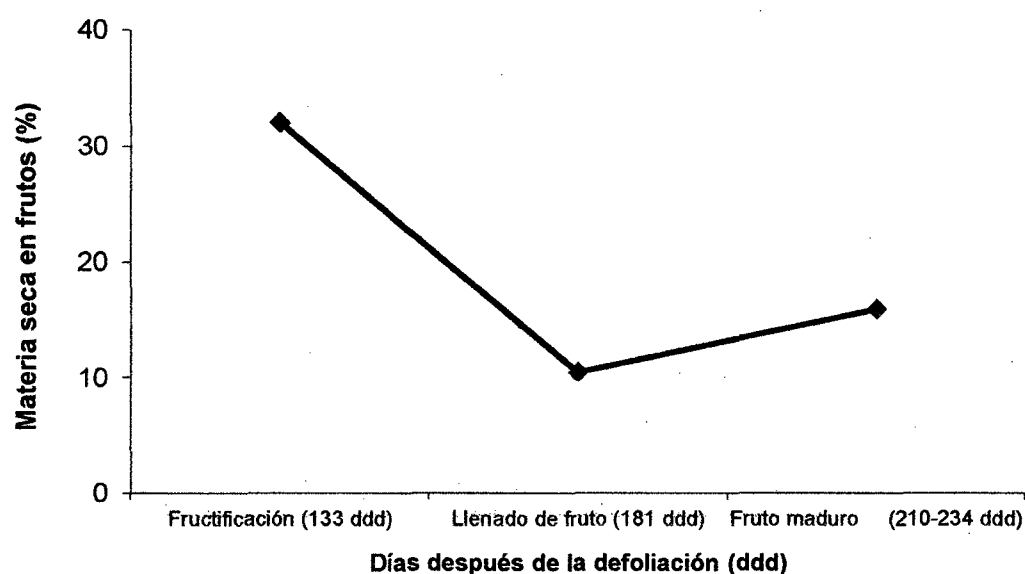


Figura 5. Curva del porcentaje de la materia seca de frutos en cada fase fenológica.

De los Cuadros 5 y 6, se desprende que el porcentaje de materia seca producida por las hojas y frutos de camu camu, varían según el estado fenológico de la misma y se distribuye de manera diferente en cada uno de los órganos; siendo en

este caso las hojas los órganos más ricos en materiales minerales (cerca al 50 % de materia seca) en comparación con los frutos, probablemente por ser del tipo baya (menores del 35 % de materia seca); coincidiendo con ÑUSTEZ (2009), cuando afirma que la asignación de asimilados es el resultado del crecimiento y desarrollo, los cuales son mutuamente dependientes; así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo (PEIL y GALVEZ, 2005), por lo que la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de una planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente-sumidero (Patrick (1988), citado por PEIL y GALVEZ, 2005).

4.1.2. Formación y acumulación de materia seca

En el Cuadro 7 y en la Figura 6, se observa la acumulación periódica de materia seca de la biomasa estacional del cultivo, en hojas, frutos y el total. De tal manera que, la acumulación de materia seca en las hojas, su tendencia es creciente, desde el brotamiento I hasta la fase de fructificación; debido a que en las primeras fases fenológicas, las hojas son tiernas y sus células están en constante división, crecimiento y lignificación, hasta desarrollarse completamente (hojas adultas) volviéndose más rígidas o coriáceas por el almacenamiento de fotosintatos. Por lo que después de la fase de llenado de fruto la acumulación desciende, pudiendo atribuirlo a la traslocación de los fotosintatos hacia los órganos de sostén y fructificación de la planta (frutos). En cuanto a los frutos, la acumulación de materia seca inicia en la fase de fructificación, alcanzando la máxima acumulación en la fase de fruto maduro (cosecha) con 1345.00 Kg de materia seca.ha⁻¹.

Analizando la curva de acumulación de la materia seca total (Figura 6), durante el desarrollo de la biomasa estacional (hojas y frutos) del cultivo del camu camu, observamos que la acumulación es ascendente conforme el discurrir de las fases; siendo que, en la fase de brotamiento I, se acumularon 1111.45 Kg de materia seca.ha⁻¹; brotamiento II, 1311,19 Kg de materia seca.ha⁻¹; fructificación, 1589,10 Kg materia seca.ha⁻¹; llenado de fruto, 1973.02 Kg de materia seca.ha⁻¹ y en fruto maduro

(cosecha), 2713.93 Kg de materia seca.ha⁻¹; efecto que se puede inferir como la distribución de la materia seca producida por ambos órganos en observación.

Cuadro 7. Acumulación de materia seca en hojas, frutos y total de camu camu en Kg.ha⁻¹.

Órgano	Fase Fenológica				
	Brotamiento I (44 ddd)	Brotamiento II (88 ddd)	Fructificación (133 ddd)	Llenado de fruto (181 ddd)	Fruto maduro (210-234 ddd)
Hojas	1111.45	1311.19	1485.28	1493.73	1368.93
Frutos	---	---	101.82	479.29	1345.00
Total	1111.45	1311.19	1587.10	1973.02	2713.93

ddd: Días después de la defoliación.

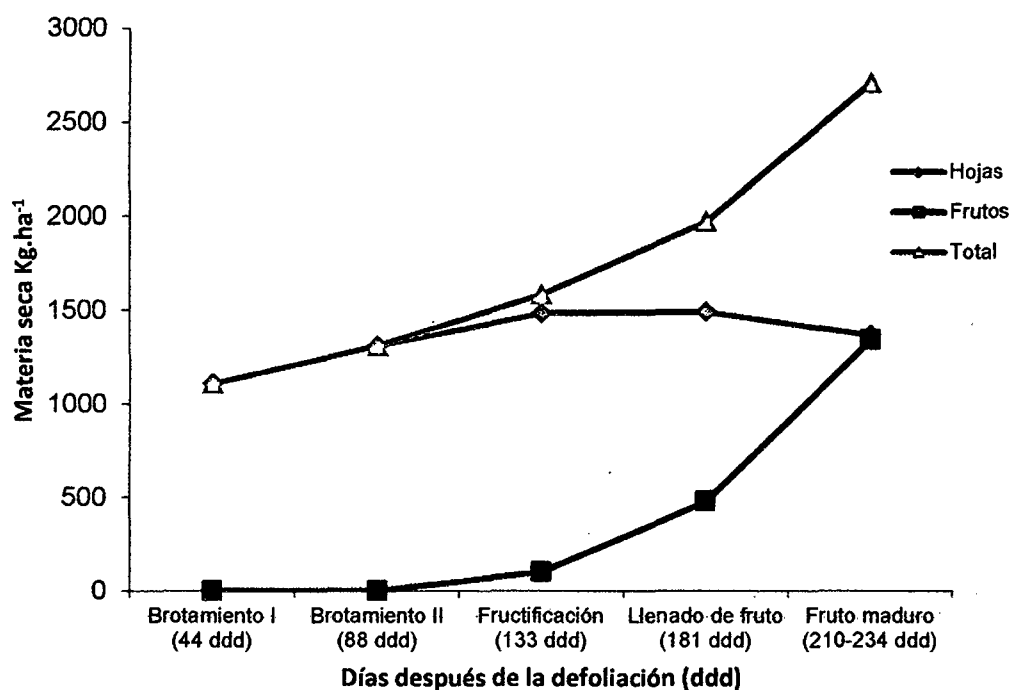


Figura 6. Acumulación de materia seca en hojas y frutos de camu camu durante las fases fenológicas (Kg.ha⁻¹).

No obstante, el conocimiento del desarrollo foliar es fundamental ya que las hojas son los principales órganos sintetizadores de fotoasimilados, los cuales son translocados posteriormente a los distintos órganos de la planta. En este contexto, se ha indicado que el contenido de materia seca foliar ha sido empleado, en forma creciente, como un indicador de la estrategia de uso de recursos por parte de las especies vegetales (VAIERETTI *et al.*, 2007). En ese sentido, al tomar como referente lo anterior, la distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como un equilibrio funcional (Brouwer, 1962, citado por BUGARIN – MONTOYA *et al.*, 2002), o como procesos de distribución dependientes del tiempo o estado de desarrollo (Heuvelink y Marcelis, 1989, citados por BUGARIN – MONTOYA *et al.*, 2002).

Así también, se puede afirmar que la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta es el resultado final de un conjunto ordenado de procesos metabólicos y de transporte que gobiernan el flujo de asimilados a través de un sistema fuente–sumidero. Las actividades involucradas en este proceso no son estáticas y pueden cambiar diariamente y a lo largo del período de desarrollo de la planta (Patrick (1988), citado por PEIL y GALVEZ, 2005); por lo que la asimilación de materia seca y su distribución dentro de la planta, son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo (TEKALIGN y HAMMES, 2005). Así los asimilados, producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o translocados, vía floema, a los diferentes órganos sumideros como los frutos.

4.2. Dinámica nutricional del cultivo de camu camu

4.2.1. Concentración de nutrientes y metales pesados en el camu camu

A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)

En el Cuadro 8 y en la Figura 7, se puede observar la concentración de macronutrientes en las hojas durante las cinco fases evaluadas.

Cuadro 8. Concentración de macronutrientes en hojas de camu camu durante las fases fenológicas, en porcentaje.

Fase	Concentración de Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Brotamiento I (44 ddd)	2.27 ⁺	0.18 ⁻	1.06 ⁺	0.61 ⁺	0.20 ⁺	0.18 ⁺
Brotamiento II (88 ddd)	2.27 ⁺	0.15 ⁻	0.75 ⁻	0.65 ⁺	0.16 ⁺	0.12 ⁺
Fructificación (133 ddd)	2.01 ⁺	0.13 ⁻	0.48 ⁻	0.68 ⁺	0.13 ⁺	0.06 ⁻
Llenado de Fruto (181 ddd)	1.79 ⁻	0.12 ⁻	0.40 ⁻	1.03 ⁺	0.18 ⁺	0.15 ⁺
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	1.74 ⁻	0.12 ⁻	0.34 ⁻	1.65 ⁺	0.22 ⁺	0.13 ⁺

ddd: Días después de la evaluación. - : Nivel Crítico y +: Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por CORRENDY y GARCÍA (2012).

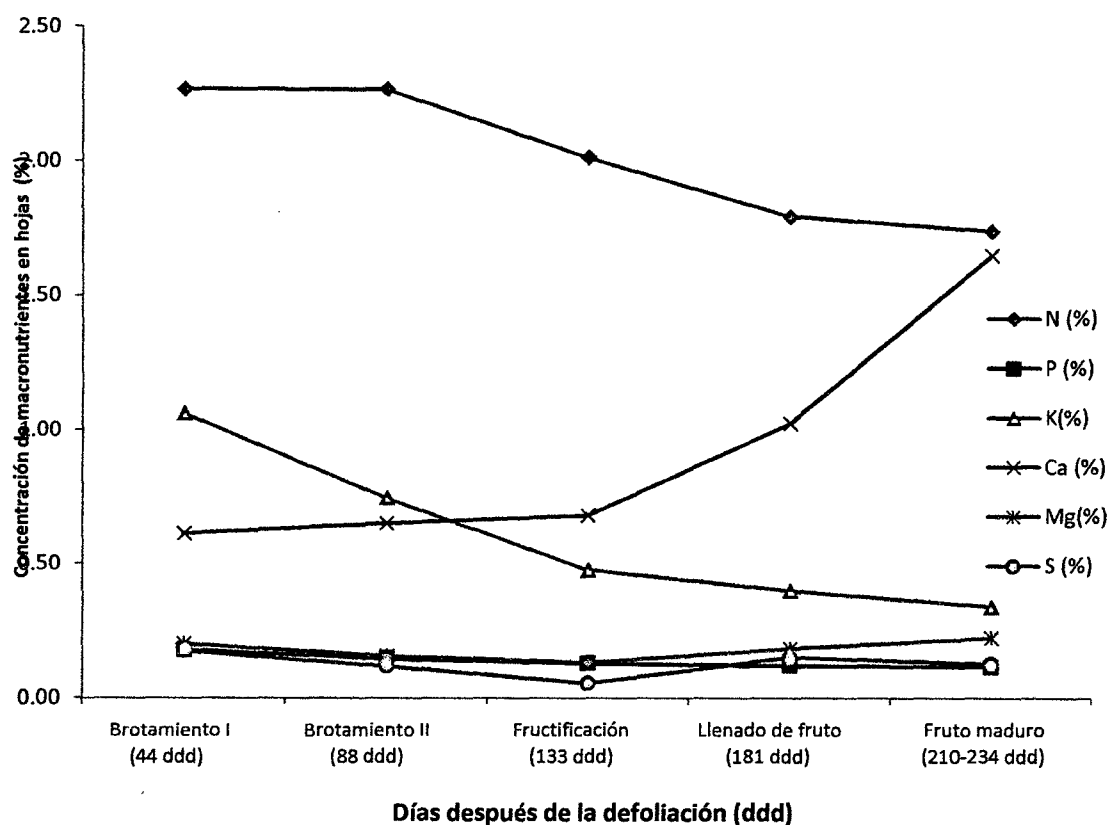


Figura 7. Concentración de macronutrientes en hojas de camu camu durante, las fases fenológicas, en porcentaje.

Notándose, en el Cuadro 8 y en la Figura 7, que el Nitrógeno, Fósforo y Potasio tienden a disminuir conforme discurren los días, contrarias al comportamiento de los otros macronutrientes con una tendencia ligeramente creciente. Sin embargo, todos los macronutrientes durante la fase de brotamiento I tuvieron una mayor concentración, con respecto a las otras fases en evaluación. El patrón de concentración total de los macronutrientes en las hojas expresa el siguiente orden: $N > Ca > K > Mg > P > S$.

La dinámica de las concentraciones de macronutrientes encontrados en las hojas (Cuadro 8 y Figura 7), básicamente obedecen a la fertilidad que ostenta el suelo donde se desarrolló la investigación (Cuadro 3), tendiendo a variar conforme discurren las fases debido a las necesidades crecientes de la planta, su tipo de foliación (perennifolio) y los procesos fisiológicos que se desencadenan debido a su metabolismo; razones a las que PARRY *et al.*, 2005; se refiere al afirmar que, en condiciones de campo los mecanismos precisos por los cuales ocurre, son complejos y variables según la especie, etapa de desarrollo y el medio ambiente. Por ello, al ser las hojas los órganos donde se realiza la mayor actividad de la planta, los asimilados producidos por la fotosíntesis en los órganos fuente (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o translocados, vía floema, a los diferentes órganos sumideros como los frutos (TEKALIGN y HAMMES, 2005).

Siendo en el caso del Nitrógeno, suficiente solo hasta la fase de fructificación; sin embargo, pese a que el Fósforo y el Potasio disponible fueron de medio a bajo, en el suelo, estos no estuvieron aparentemente en el nivel de suficientes para las necesidades de las hojas, según Bennett (1993), citado por CORRENDO y GARCÍA (2012). Considerando que estos nutrientes funcionalmente son importantes, reportados como los principales factores limitantes del crecimiento, el desarrollo, y finalmente del rendimiento económico de los cultivos, como refiere PARRY *et al.*, (2005); tales efectos, se han observado en campo, porque aunque la planta continuó creciendo y desarrollándose según los resultados vistos en el Cuadro 10, los periodos de desarrollo reportados por ABANTO (2010) con el uso de fertirriego, fueron mayores en las fases de brotamiento I, con 52 ddd y brotamiento II, con 90 ddd, pero menor en las fases de fructificación hasta fruto maduro (Cosecha), con 205 ddd, en contraste a los definidos por CASAS (2014), con 44, 88 y 210 ddd, respectivamente.

En cuanto a los macronutrientes secundarios encontrados en las hojas, estos se reportan como suficientes durante todas las fases, excepto el Azufre que solo en la fase de fructificación se registró en el nivel crítico. Sin embargo, todos ellos coinciden en presentar un quiebre en la fase de fructificación, en fases previas sus concentraciones son descendentes y en fases posteriores, son ascendentes. Percibiéndose que las concentraciones de Calcio y Magnesio, se encuentran ligadas al muestreo, dado que las hojas del camu camu son perennifolias y desde el brotamiento hasta la cosecha, el tejido foliar empieza a envejecer (Laboratorios A-L de México, 2011) y estos al ser elementos inmóviles (SANCHEZ, 2007) se acumularon periódicamente, después de formar a las hojas, la corteza y la lignificación de los brotes. En el caso del Azufre, su baja en la fase de fructificación puede estar asociada a la disminución de las concentraciones de Nitrógeno, ya que ambos son elementos constituyentes de moléculas orgánicas (SANCHEZ, 2007), dado que en esta fase las hojas realizan un gran esfuerzo para atender las necesidades de los nuevos órganos como los son los frutos (USON, 2010).

Con respecto a la concentración de los macronutrientes en los frutos de camu camu, estos se pueden apreciar en el Cuadro 9 y en la Figura 8. El patrón de concentración total, presenta tendencia: $N > K > Ca > P > Mg > S$.

Cuadro 9. Concentración de macronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en porcentaje.

Fase	Concentración de Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Fructificación (133 ddd)	1.70 ⁻	0.24 ⁻	1.14 ⁺	0.75 ⁺	0.16 ⁺	0.07 ⁻
Llenado de Fruto (181 ddd)	1.39 ⁻	0.19 ⁻	1.05 ⁺	0.27 ⁺	0.08 ⁻	0.05 ⁻
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	1.14 ⁻	0.14 ⁻	1.10 ⁺	1.01 ⁺	0.06 ⁻	0.10 ⁺

ddd: Días después de la defoliación.

- : Nivel Crítico y +: Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por CORRENDON y GARCÍA (2012).

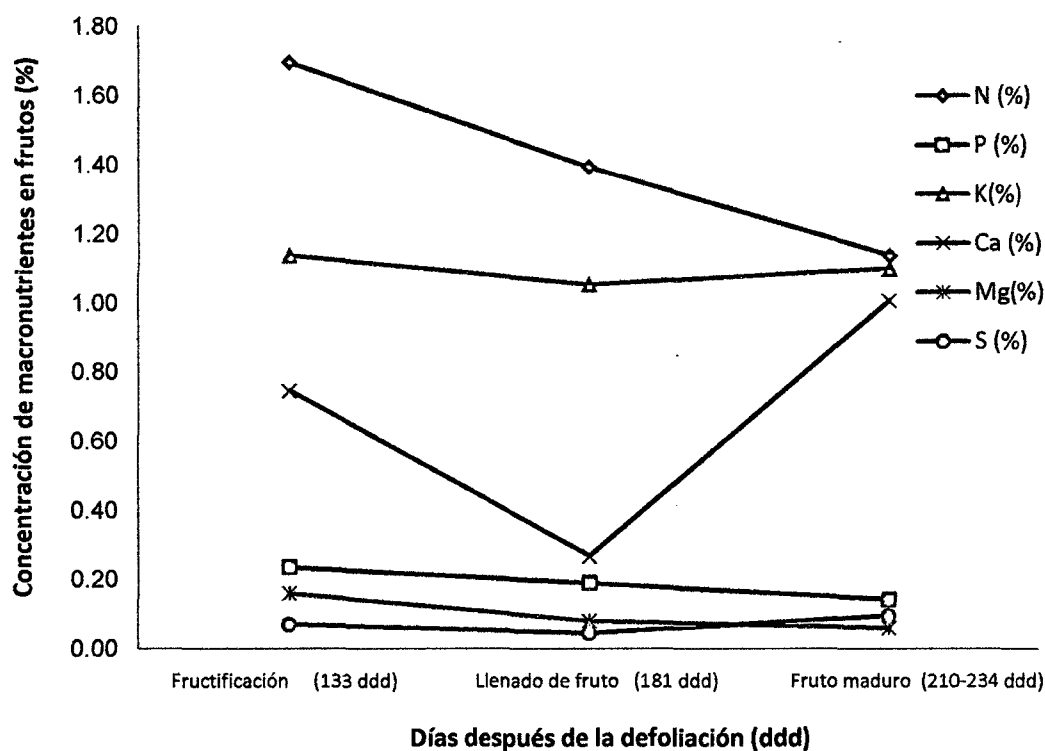


Figura 8. Concentración de macronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en porcentaje.

La dinámica de las concentraciones de los macronutrientes en los frutos (Figura 8), expresa que el Nitrógeno, Fósforo y Magnesio tienden a disminuir conforme a la maduración del fruto; contrario a lo que ocurre con el Potasio, Calcio y Azufre, cuyas concentraciones decrecen solo hasta el llenado de frutos, para luego incrementarse hasta la maduración del fruto; estos flujos entre las fases, obedecen a su disponibilidad en el suelo y el aparente uso direccionado por la planta, suponiendo que las hojas utilizan lo necesario para sus funciones pero se reserva otra parte para asegurar la fructificación; dado que las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo, Magnesio y Azufre, según Bennett (1993), citado por CORRENDON y GARCÍA (2012), se encontraban en concentraciones críticas; atribuyéndose a ello, la relativa cosecha tardía obtenida a los 210 días después de la defoliación, como efecto final de lo descrito por PARRY *et al.*, (2005).

Por otro lado, siendo el camu camu, un fruto del tipo baya, las concentraciones suficientes de Calcio y Potasio permitieron la síntesis de proteínas, activación de enzimas transporte de carbohidratos y aminoácidos, reportados en su composición nutricional por Sotero (2006) citado por PINEDO, *et al.* (2010), así como mantener la consistencia de la pulpa, durante su maduración y la adecuada formación y coloración de su cáscara y semillas.

Sin embargo, contrastando las concentraciones de los macronutrientes de hojas (Cuadro 8) y frutos (Cuadro 9), debemos considerar lo referido por Bennett (1993), citado por CORRENDON y GARCÍA (2012), al indicar que los valores críticos varían considerablemente dependiendo de la especie de cultivo, etapa de crecimiento y parte de la planta; a lo que agregamos la influencia de la fertilidad del suelo donde se realizó este estudio. Razones a los cuales se atribuyen la relativa cosecha tardía obtenida a los 210 días después de la defoliación, no repercutiendo en el rendimiento del cultivo, cuando lo comparamos con los testigos de trabajos similares. Esto último, del rendimiento, se explicaría con lo afirmado por VIÉGAS *et al.* (2004), cuando mediante la técnica del elemento faltante, determinó que los tenores foliares adecuados para el camu camu están entre 16.2 y 18.2 g.Kg⁻¹ de Nitrógeno; 1.2 a 1.9 g.Kg⁻¹ de Fósforo; 5.2 a 6.0 g.Kg⁻¹ de Potasio; 1.4 a 3.6 g.Kg⁻¹ de Magnesio; 9.9 a 11.7 g.Kg⁻¹ de Calcio y de 2.4 a 2.8 g.Kg⁻¹ de Azufre; los valores obtenidos en este estudio, son relativamente cercanos, con 22.7 a 17.4 g.Kg⁻¹N; 1.2 a 1.8 g.Kg⁻¹P; 3.4 a 10.6 g.Kg⁻¹K; 6.1 a 16.5 g.Kg⁻¹Ca; 1.3 a 2.2 g.Kg⁻¹Mg y 0.6 a 1.8 g.Kg⁻¹S.

B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)

Los niveles de concentración de micronutrientes en las hojas de camu camu, es variable y en sentidos opuestos, ascendentes para el Zinc y Manganeseo y descendentes para el Cobre, Hierro y Boro (Cuadro 10 y Figura 9). El patrón de concentración total de micronutrientes presenta la tendencia: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Cuadro 10. Concentración de micronutrientes en hojas de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.

Fase	Concentración de Micronutrientes (ppm)				
	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Brotamiento I (44 ddd)	29.50 ⁺	11.25 ⁺	378.75 ⁺⁺	78.50 ⁺	41.25 ⁺
Brotamiento II (88 ddd)	29.00 ⁺	10.75 ⁺	718.50 ⁺⁺	57.50 ⁺	42.25 ⁺
Fructificación (133 ddd)	28.25 ⁺	7.75 ⁺	813.25 ⁺⁺	70.50 ⁺	39.50 ⁺
Llenado de Fruto (181 ddd)	36.75 ⁺	8.25 ⁺	1143.75 ⁺⁺	71.25 ⁺	21.00 ⁺
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	41.50 ⁺	9.25 ⁺	1181.25 ⁺⁺	62.25 ⁺	32.25 ⁺

ddd: Días después de la defoliación.

++ : Nivel Tóxico y + : Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por CORREDO y GARCÍA (2012).

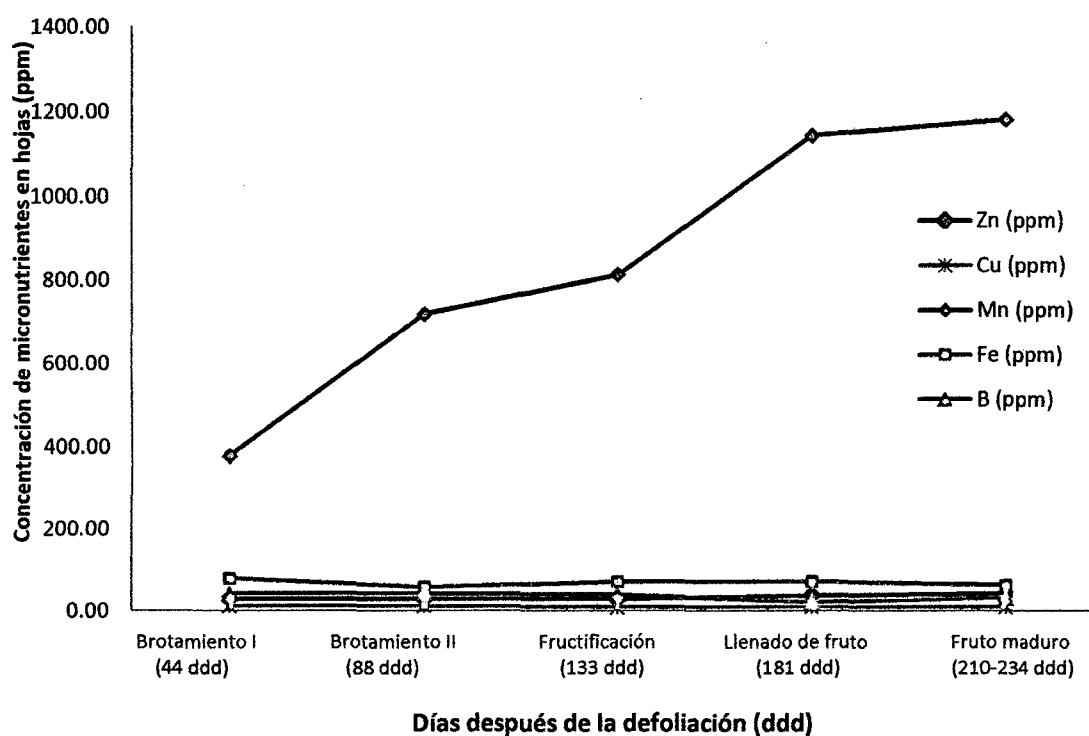


Figura 9. Concentración de micronutrientes en hojas de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.

En cuanto a la concentración de micronutrientes en los frutos, en el Cuadro 11 y en la Figura 10, podemos observar que en todos los casos es variable, que partiendo desde la fase de fructificación disminuye hacia la fase de llenado de fruto y vuelve a

incrementarse en la fase de fruto maduro. El patrón de concentración total de los micronutrientes en los frutos expresa el siguiente orden: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Cuadro 11. Concentración de micronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.

Fase	Concentración de Micronutrientes (ppm)				
	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Fructificación (133 ddd)	31.25 ⁺	20.75 ⁺⁺	328.75 ⁺⁺	68.00 ⁺	34.75 ⁺
Llenado de Fruto (181 ddd)	20.00 ⁺	14.50 ⁺	96.50 ⁺	45.50 ⁺	21.25 ⁺
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	25.50 ⁺	16.50 ⁺	33.50 ⁺	85.75 ⁺	46.00 ⁺

ddd: Días después de la defoliación.

++ : Nivel Tóxico y + : Nivel de Suficiencia. Adaptación de Bennett (1993), citado por CORREDO y GARCÍA (2012).

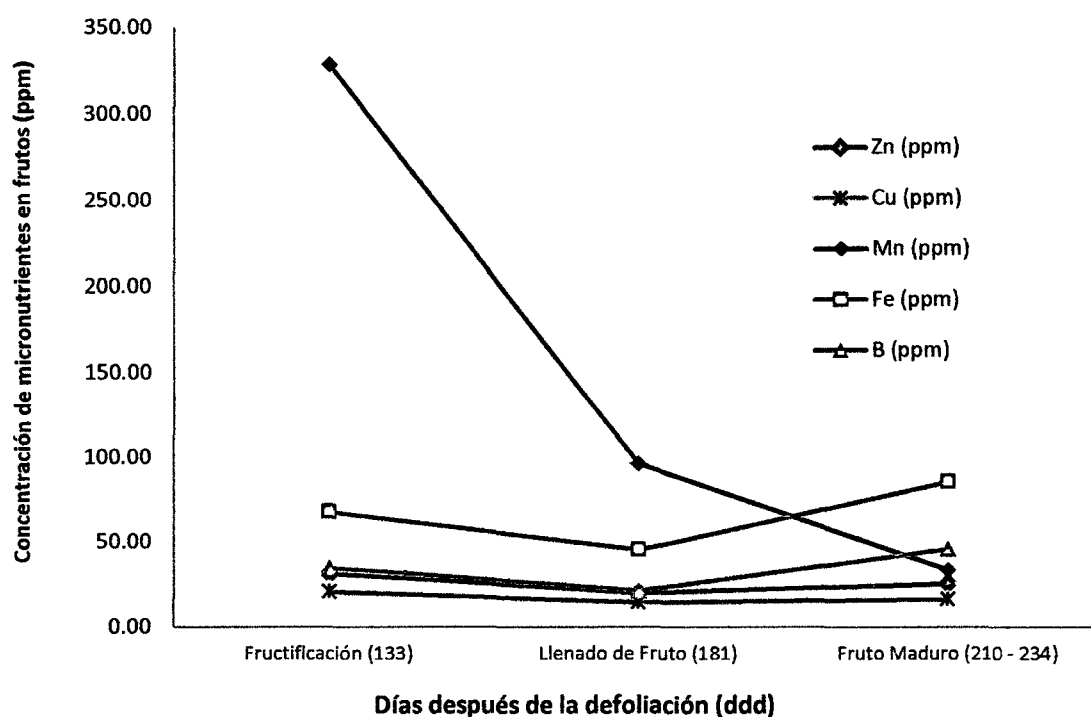


Figura 10. Concentración de micronutrientes en frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.

Contrastando las concentraciones de los micronutrientes de las hojas (Cuadro 11) y frutos (Cuadro 10) del camu camu con la Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales, adaptado por Bennett (1993), citado por CORRENDÓ y GARCÍA (2012), nos percataremos que tanto en hojas y frutos el Boro, Cobre, Hierro (Crítico en la fase de llenado de frutos, en frutos), Manganeso (Tóxico en todas las fases, en hojas y en la fase de llenado de fruto, en frutos) y el Zinc estuvieron en un nivel de Suficiencia, generalmente. Ahora, en cuanto a las tres últimas fases fenológicas (fructificación, llenado de fruto y fruto maduro), tanto a nivel de hojas y frutos podremos notar que los microelementos, en ambos tejidos, tuvieron el mismo patrón de concentración total: $Mn > Fe > B > Zn > Cu$.

Por otro lado, cada microelemento presenta contenidos variables entre las fases y órganos evaluados, resaltando el Manganeso, cuyo contenido en hojas es mayor y ascendente conforme a su maduración, resultando tales concentraciones Tóxicas según Bennett (1993), citado por CORRENDÓ y GARCÍA (2012); sin embargo, DECHEN y NACHTIGALL (2006), citan que las concentraciones de este elemento en las plantas varían entre 5 y 1500 $mg.Kg^{-1}$ de materia seca de la planta, dependiendo de la planta y la especie, además consideran que concentraciones entre 20 y 500 $mg.Kg^{-1}$ son adecuadas para un desarrollo normal de las plantas. Se considera que, estas concentraciones están directamente relacionadas con la necesidad de la planta, dado que el Manganeso cumple, entre otras funciones, la síntesis del ácido ascórbico (DEVLIN, 2000; USON, *et al.*, 2010); por ser un nutriente relativamente inmóvil en el floema y que el camu camu presenta foliación perenne, (SANCHEZ, 2007); así como también a la naturaleza de los suelos, que según DECHEN y NACHTIGALL (2006), la consecuencia de la disponibilidad del Manganeso, es favorecida en suelos con menores potenciales redox (suelos inundables).

En general, los patrones de concentración de macro y/o micronutrientes encontrados en los tejidos de las hojas y frutos del camu camu, obedecen a las modificaciones propias de su especie vegetal y a las condiciones de crecimiento (FERRARIS, 2011). Así mismo, podrían estar relacionadas con algunas de sus propiedades nutraceuticas.

Sin embargo, es importante considerar que la concentración de un nutriente en una planta no es un valor fijo, sino que varía debido a varias causas, por lo que a medida que el crecimiento de una planta progresa, ocurren marcados cambios en la concentración de nutrientes en los tejidos o partes de la planta (BARBAZÁN, 1998); siendo probable que, la disminución de algunos de los nutrientes que se produce conforme al desarrollo fenológico del cultivo, se deba a un efecto de dilución atribuido a un rápido crecimiento de la planta en ese periodo; especialmente de aquellos elementos que son móviles dentro de la planta, tendiendo a disminuir conforme a su madurez para trasladarse hacia los tallos (Bakker, 1999, citado por RENGEL, *et al.*, 2011) u otros órganos.

C. Metales pesados (Pb, Cd y Cr)

En las hojas, solo el Cadmio se encuentra presente en todas las fases evaluadas; pero en los frutos, el Cadmio, Plomo y Cromo, solo fueron encontrados en la fase de fruto maduro (Cuadro 12).

Cuadro 12. Concentración de Cadmio, Plomo y Cromo en hojas y frutos de camu camu, durante las fases fenológicas, en ppm.

Fase	Concentración de Metales pesados (ppm)					
	Cd	Pb		Cr		
	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto	Hoja	Fruto
Brotamiento I (44 ddd)	0.004	---	0.00	---	0.00	---
Brotamiento II (88 ddd)	0.009	---	0.00	---	0.00	---
Fructificación (133 ddd)	0.010	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
Llenado de Fruto (181 ddd)	0.020	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	0.022	0.10*	0.00	23.0*	0.00	13.5**

ddd: Días después de la defoliación.

En negrita: Sobre el límite máximo. Adaptación de Díaz (2014) y de AIJ (1996) citado por CALDERON y CONCHA (s.d). *: Unión Europea y **: Norma Brasileña.

No se pudo determinar, si las concentraciones de las fases precedentes se deben a la limitada sensibilidad de los equipos empleados en el análisis de tejidos o si la capacidad de traslocación de estos metales pesados están ligadas a la mayor acumulación de fotosintatos y agua que se da en esta fase, y aprovechan que el fruto constituye el principal órgano de demanda y que todos los fotosintatos se movilizan

hacia él (USON, *et al.*, 2010). Por lo que al igual que otros cultivos, ha desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias, como algunos metales y metaloides no esenciales debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (LASAT, 2000); ligados a los momentos fisiológicos en los que se llevaron a cabo los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (MIRANDA *et al.*, 2008).

Por otro lado, al no existir literatura específica sobre los límites máximos permisibles (LMP) de concentración de elementos pesados como el Cadmio, Plomo y Cromo en hojas o en frutas del camu camu reportadas en este estudio, referencialmente nos guiaremos por la adaptación realizada por DÍAZ (2014) y Aijn, 1996, citado por CALDERON y CONCHA (s.d), encontrando que para el alimento: pulpa de frutas, los Contenidos Máximos de Plomo es 0.2 ppm, de Cadmio es 0.02 ppm y de Cromo es 0.1 ppm, según la normativa de la Unión Europea y Brasileña respectivamente. Los cuales son rebasados por los valores encontrados en los frutos en la fase de fruto maduro, con 23.0 ppm, 0.10 ppm y 13.5 ppm, de Pb, Cd y Cr, respectivamente; resultando preocupante, dado que el objeto del cultivo de camu camu radica en las propiedades nutraceuticas de su fruto y que estas son consumidas generalmente de manera directa.

4.2.2. Absorción total de nutrientes y metales pesados en el camu camu

A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)

En el Cuadro 13 y en las Figuras 11 y 12, se aprecian los niveles de absorción total de macronutrientes, desde la fase de brotamiento I hasta la fase fruto maduro. El patrón de absorción total de macronutrientes es $N > Ca > K > Mg > P > S$; con 159; 79; 60; 13, 12; 10 $Kg \cdot ha^{-1}$, y una R^2 de: 99.97; 99.86; 96.34; 96.81; 99.94; 79.84 por ciento, respectivamente.

Cuadro 13. Absorción total de macronutrientes, durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg/ha.

Fase	Absorción total de Macronutrientes (Kg.ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Brotamiento I (44 ddd)	25.202	1.973	11.809	6.808	2.223	1.945
Brotamiento II (88 ddd)	29.698	1.901	9.768	8.523	2.032	1.541
Fructificación (133 ddd)	31.617	2.133	8.213	10.858	2.094	0.888
Llenado de Fruto (181 ddd)	33.449	2.703	10.982	16.593	3.109	2.456
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	39.051	3.491	19.382	36.070	3.853	2.989
Total	159	12	60	79	13	10

ddd: Días después de la defoliación.

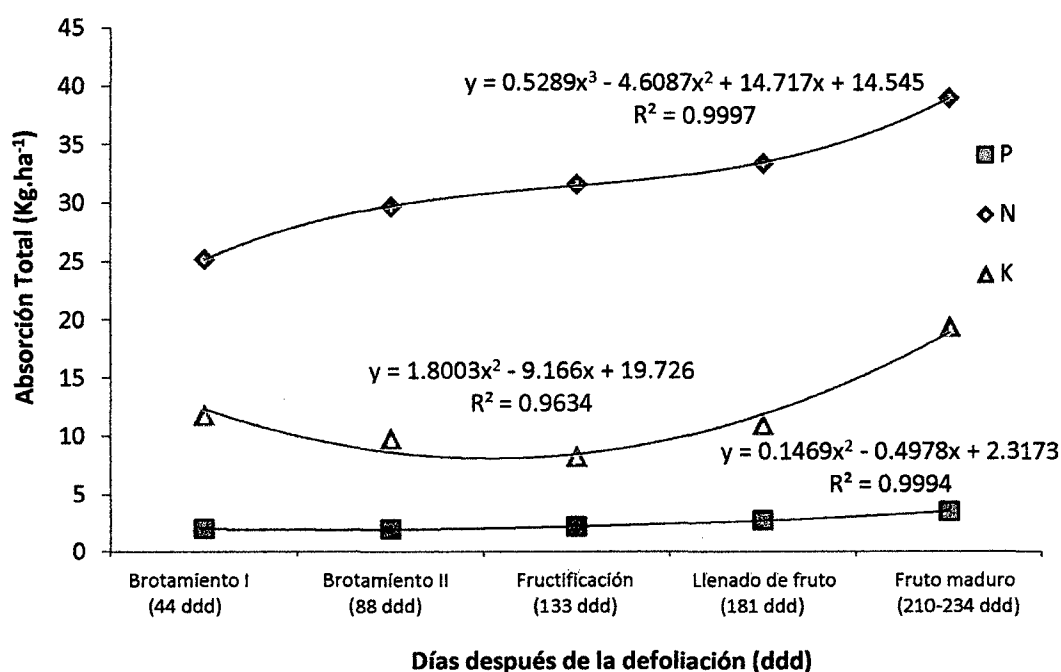


Figura 11. Absorción total de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, durante las fases fenológicas, en Kg.ha⁻¹.

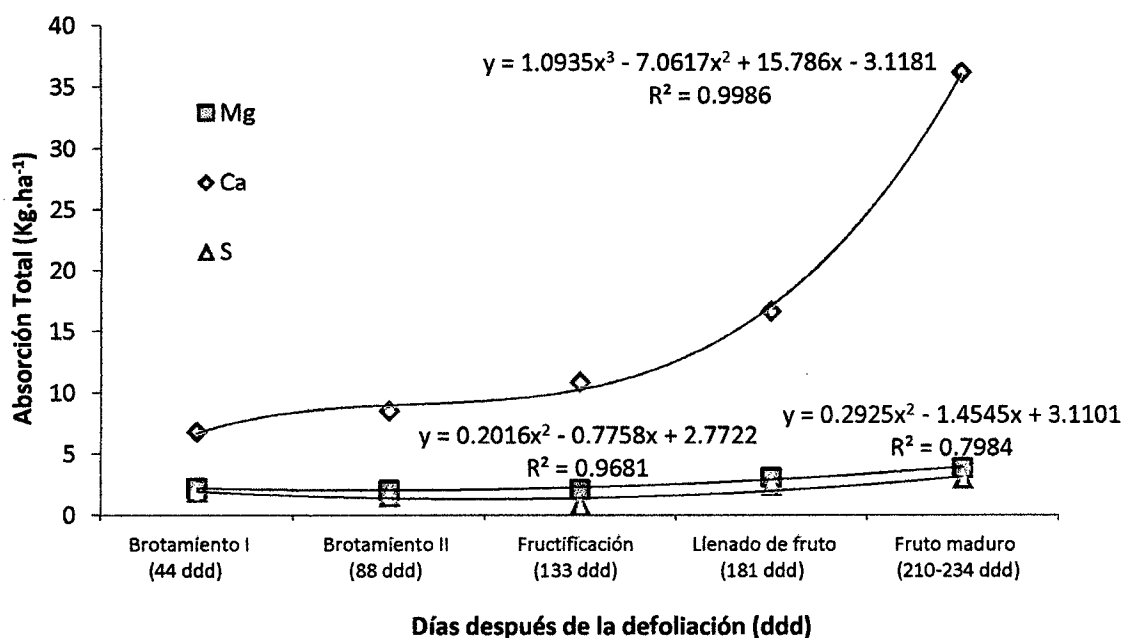


Figura 12. Absorción total de Calcio, Magnesio y Azufre, durante las fases fenológicas, en Kg.ha⁻¹.

La absorción de Nitrógeno y Calcio (Figuras 11 y 12), describen un comportamiento de gradual ascendencia durante todas las fases en evaluación; en cambio, en los otros macronutrientes es variable, por cuanto se registran gradientes de absorción ascendente y descendente. Cabe precisar, que las plantas de camu camu elevaron su absorción de Fósforo, Potasio, Magnesio y Azufre, a partir de la fase de fructificación; luego de que en las dos fases previas fueran descendentes. La mayor demanda de macronutrientes se dio en la fase de fruto maduro. El comportamiento de la absorción total de los macronutrientes, se ha representado mediante el ajuste de curvas, considerando el coeficiente de determinación más alto para cada modelo matemático; en ese sentido, la absorción total de los macronutrientes describen en su mayoría un modelo de regresión cuadrático, a excepción del Nitrógeno y Calcio. Así también, los coeficientes de determinación estimados, expresan un alto grado de asociación entre la absorción total y las fases fenológicas evaluadas.

B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)

Los niveles de absorción total de micronutrientes durante las fases de evaluación (Cuadro 14 y Figuras 13 y 14), describen el siguiente patrón: $Mn > Fe > B > Zn > Cu$; con 6.021; 0.603; 0.311; 0.236; 0.094 $Kg.ha^{-1}$, y una R^2 de: 96.88; 96.92; 60.86; 95.67; 95.77 por ciento, respectivamente.

Cuadro 14. Absorción total de micronutrientes, durante las fases fenológicas del camu camu, en $Kg.ha^{-1}$.

Fase		Absorción total de Micronutrientes (Kg.ha ⁻¹)				
		Zn	Cu	Mn	Fe	B
Brotamiento I (44 ddd)		0.032788	0.012504	0.420962	0.087249	0.045847
Brotamiento II (88 ddd)		0.038025	0.014095	0.942090	0.075393	0.055398
Fructificación (133 ddd)		0.034580	0.013624	1.241377	0.111636	0.062207
Llenado de Fruto (181 ddd)		0.050432	0.019273	1.754705	0.128236	0.041553
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)		0.080422	0.034855	1.662106	0.200550	0.106018
Total	Kg.ha ⁻¹	0.236	0.094	6.021	0.603	0.311

ddd: Días después de la defoliación.

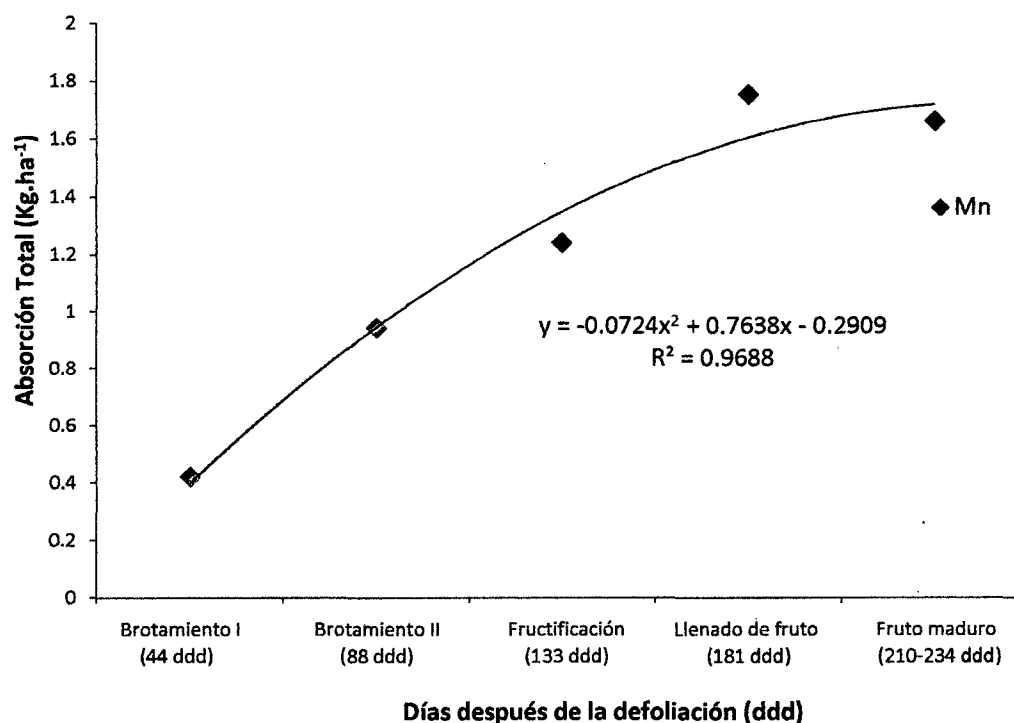


Figura 13. Absorción total de Manganeso, durante las fases fenológicas, en $Kg.ha^{-1}$.

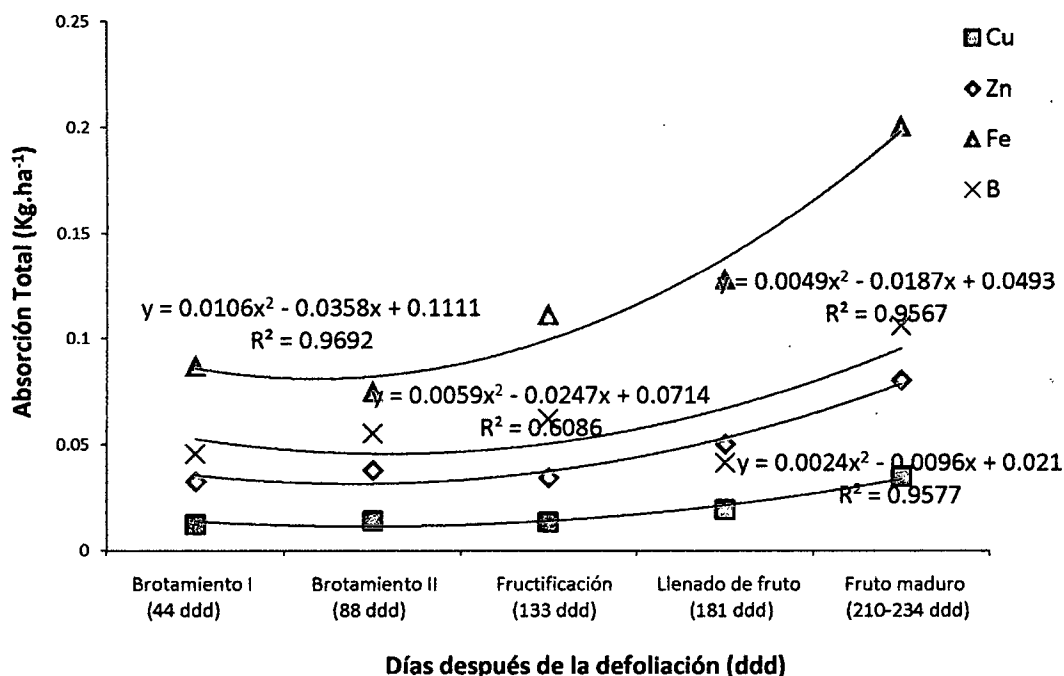


Figura 14. Absorción total de Zinc, Cobre, Hierro y Boro, durante las fases fenológicas en Kg.ha⁻¹.

Las mayores absorciones de Zinc, Cobre, Hierro y Boro, se dieron en la fase de fruto maduro, y del Manganeso en la fase de llenado de fruto; en contraste, las menores absorciones de Zinc, Cobre y Manganeso se dio en la fase brotamiento I, de Hierro en la fase de brotamiento II y de Boro en la fase de llenado de fruto.

El comportamiento de la absorción total de los micronutrientes, describen en su totalidad un modelo de regresión cuadrático, con una fuerte asociación entre la absorción total y las fases fenológicas, según cada coeficiente de determinación estimado.

C. Metales pesados (Pb, Cd y Cr)

En el Cuadro y Figura 15, se puede observar los niveles de absorción total de Plomo, Cadmio y Cromo, durante las fases de evaluación.

El patrón de absorción total de metales pesados es: $Pb > Cr > Cd$, con 31; 18 y 0224 $g.ha^{-1}$ y una R^2 : 32.89; 32.89, 45.49 por ciento; respectivamente.

Cuadro 15. Absorción total de Cadmio, Plomo y Cromo, durante las fases fenológicas del camu camu, en $Kg.ha^{-1}$.

Fases	Absorción total en $Kg.ha^{-1}$		
	Cd	Pb	Cr
Brotamiento I (44 ddd)	3.89008E-06	0.00	0.00
Brotamiento II (88 ddd)	1.11451E-05	0.00	0.00
Fructificación (133 ddd)	1.52241E-05	0.00	0.00
Llenado de Fruto (181 ddd)	3.0248E-05	0.00	0.00
Fruto Maduro (210 – 234 ddd)	0.000164274	0.031	0.018
Total ($g.ha^{-1}$)	0.224	31	18

ddd: Días después de la defoliación

La Figura 15, muestra que el Plomo es el metal pesado que se manifiesta en todas las fases fenológicas; su absorción total es ascendente. El Cd y el Cr, solo se manifestaron en la fase de fruto maduro.

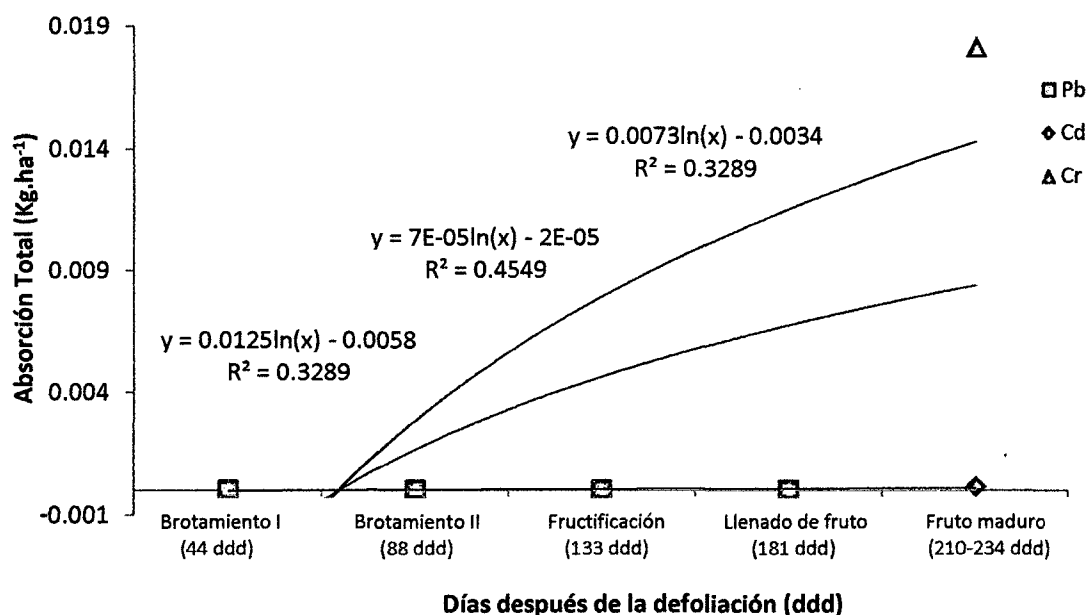


Figura 15. Absorción total de Plomo, Cadmio y Cromo, durante las fases fenológicas, en $Kg.ha^{-1}$.

Por otro lado, el comportamiento de la absorción total de los metales pesados, describen en su totalidad un modelo de regresión logarítmica, denotando una asociación de media a baja entre la absorción total y las fases fenológicas, de acuerdo a su coeficiente de determinación respectivo.

Los resultados de los análisis químicos de ambos órganos del camu camu, ponen en manifiesto el riesgo al que están expuestos los consumidores de este importante cultivo, ello en concordancia a que después de la absorción por los vegetales los metales pesados están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria (John y Leventhal (1995), citado por UNMSM, 2008).

4.2.3. Extracción de nutrientes y metales pesados por el camu camu

Las extracciones de nutrientes y metales pesados que las hojas y frutas del camu camu han realizado, desde la defoliación de la planta hasta el logro de la cosecha, se presentan a continuación.

A. Macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S)

En el Cuadro 16, se puede observar los niveles de extracción de los macronutrientes en hoja, fruto y totales del camu camu, desde la fase de brotamiento I hasta la fase de fruto maduro; con respecto a la materia seca producida.

Las extracciones de macronutrientes, realizadas por las hojas del camu camu (Cuadro 16), refieren que conforme discurren las fases fenológicas, la mayor necesidad de Nitrógeno se da en las fases de brotamiento II y fructificación. El Fósforo y el Potasio describen necesidades descendentes, cuyas mayores extracciones se dieron en la fase de brotamiento I; en cuanto al Calcio, su extracción es ascendente conforme discurren las fases fenológicas, siendo mayor en la fase de fruto maduro; en cambio, la extracción del Magnesio y Azufre, son menores en la fase de fructificación, en sentido contrario a lo que ocurre con el Nitrógeno.

El patrón de extracción de macronutrientes por las hojas del camu camu expresa el siguiente orden: $N > Ca > K > Mg > P > S$.

Cuadro 16. Extracción de macronutrientes durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha⁻¹.

Fase	Órgano	N	P	K	Ca	Mg	S
Brotamiento I (44 ddd)	Hoja	25.20	1.97	11.81	6.81	2.22	1.95
	Fruto	---	---	---	---	---	---
	Total	25.20	1.97	11.81	6.81	2.22	1.95
Brotamiento II (88 ddd)	Hoja	29.70	1.90	9.77	8.52	2.03	1.54
	Fruto	---	---	---	---	---	---
	Total	29.70	1.90	9.77	8.52	2.03	1.54
Fructificación (133 ddd)	Hoja	29.89	1.89	7.06	10.10	1.93	0.82
	Fruto	1.73	0.24	1.16	0.76	0.16	0.07
	Total	31.62	2.13	8.21	10.86	2.09	0.89
Llenado de fruto (181 ddd)	Hoja	26.78	1.79	5.94	15.31	2.73	2.24
	Fruto	6.67	0.91	5.04	1.28	0.38	0.22
	Total	33.45	2.70	10.98	16.59	3.11	2.46
Fruto maduro (210-234 ddd)	Hoja	23.79	1.57	4.62	22.55	3.05	1.71
	Fruto	15.27	1.92	14.76	13.52	0.81	1.28
	Total	39.05	3.49	19.38	36.07	3.85	2.99

ddd: Días después de la defoliación

Así, el Cuadro 17 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la materia seca, según la fenología y la extracción de los macronutrientes por las hojas de camu camu. Nótese que en el caso del Nitrógeno, Calcio y Magnesio, existe un grado de asociación directa positiva entre las fases fenológicas y los niveles de extracción. Es decir, conforme discurren las fases fenológicas la presencia de estos elementos aumentan en la materia seca; sin embargo, el nivel de asociación entre ambas variables, es baja, significativa y no significativa, respectivamente para N, Ca y Mg. Caso contrario se presenta en el Fósforo, Potasio y Azufre, donde existe una correlación inversa negativa con las fases fenológicas, con baja asociación para el Fósforo y el Azufre, pero de alta significancia con el Potasio.

Cuadro 17. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de macronutrientes en hojas, en Kg.ha⁻¹.

	Macronutrientes (Kg.ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Coeficiente de correlación (r)	0.367	-0.396	-0.802	0.446	0.176	-0.278

La extracción de macronutrientes por los frutos de camu camu, vistas en el Cuadro 16, refieren que todos los macronutrientes son requeridos cada vez en mayores cantidades conforme varía el crecimiento y desarrollo de los frutos. El patrón de extracción total de macronutrientes en los frutos, expresa el siguiente orden: N > K > Ca > P > S > Mg.

El Cuadro 18, muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la materia seca, según la fenología y la extracción de los macronutrientes por los frutos de camu camu. Nótese que en todos los casos, existe un alto grado de asociación directa positiva entre las fases fenológicas y los niveles de extracción; es decir, conforme discurren las fases fenológicas la presencia de estos elementos aumentan en la materia seca.

Cuadro 18. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de macronutrientes en frutos, en Kg.ha⁻¹.

	Macronutrientes (Kg.ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Coeficiente de correlación (r)	0.998	0.994	0.999	0.965	0.999	0.982

Así, el Cuadro 16 muestra que las extracciones totales de Nitrógeno y Calcio, son ascendentes conforme el discurrir de las fases, en contraste a la extracción de Fósforo, Potasio, Magnesio y Azufre, que es variable; siendo la fase Fruto maduro donde hubo una mayor extracción total de todos los macronutrientes.

El patrón de extracción total de los macronutrientes expresa el siguiente orden: N > Ca > K > Mg > P > S.

El Cuadro 19, muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la materia seca, según la fenología y la extracción total de los macronutrientes en el camu camu. Nótese que en todos los casos, existe un alto grado de asociación directa positiva entre las fases fenológicas y los niveles de extracción; es decir, conforme discurren las fases fenológicas la presencia de estos elementos aumentan en la materia seca.

Cuadro 19. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de macronutrientes, en Kg.ha⁻¹.

	Macronutrientes (Kg.ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Coeficiente de correlación (r)	0.973	0.981	0.785	0.974	0.941	0.716

B. Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, B y Cu)

Las extracciones de micronutrientes realizadas por las hojas del camu camu (Cuadro 20), manifiestan que el Zinc, Cobre, Hierro y Boro fueron extraídos en cantidades similares entre las fases, con ligeros incrementos en algunas de ellas, sin seguir un aparente patrón de extracción conforme el discurrir de la fenología del cultivo; caso contrario ocurre con el Manganeseo, que conforme al discurrir de las fases fenológicas su extracción se incrementa con cierta moderación.

El patrón de extracción de micronutrientes realizadas por las hojas del camu camu, describe el siguiente orden: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Cuadro 20. Extracción de micronutrientes durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha⁻¹.

Fase	Órgano	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Brotamiento I (44 ddd)	Hoja	0.033	0.013	0.421	0.087	0.046
	Fruto	---	---	---	---	---
	Total	0.033	0.013	0.421	0.087	0.046
Brotamiento II (88 ddd)	Hoja	0.032	0.014	0.942	0.075	0.055
	Fruto	---	---	---	---	---
	Total	0.032	0.014	0.942	0.075	0.055
Fructificación (133 ddd)	Hoja	0.031	0.012	1.208	0.105	0.059
	Fruto	0.003	0.002	0.033	0.007	0.004
	Total	0.035	0.014	1.241	0.112	0.062
Llenado de fruto (181 ddd)	Hoja	0.041	0.012	1.708	0.106	0.031
	Fruto	0.010	0.007	0.046	0.022	0.010
	Total	0.050	0.019	1.755	0.128	0.042
Fruto maduro (210-234 ddd)	Hoja	0.046	0.013	1.617	0.085	0.044
	Fruto	0.034	0.022	0.045	0.115	0.062
	Total	0.080	0.035	1.662	0.201	0.106

ddd: Días después de la defoliación.

Así, el Cuadro 21 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre la materia seca, según la fenología y la extracción de micronutrientes efectuados por las hojas de camu camu; pudiéndose observar que el Cobre y Boro presentan un grado de asociación inversa negativa entre las fases fenológicas y los niveles de extracción; es decir que, conforme discurren las fases fenológicas la presencia de estos elementos disminuyen en la materia seca; sin embargo, el nivel de asociación es baja para el Cu y no significativo con el B.

Ahora, en el caso del Zinc, Manganeseo y Hierro, el grado de asociación es directa positiva, con un nivel de asociación baja, altamente significativa y significativa, respectivamente para Zn, Mn y Fe.

Cuadro 21. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de micronutrientes en hojas, en Kg.ha⁻¹.

	Micronutrientes (Kg.ha ⁻¹)				
	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Coeficiente de correlación (r)	0.286	-0.378	0.848	0.652	-0.116

Visto el Cuadro 20, éste describe una necesidad creciente de extracción de micronutrientes conforme el desarrollo y crecimiento de los frutos; es así que el patrón de extracción de micronutrientes por los frutos, expresa el siguiente orden: Fe > Mn > B > Zn > Cu.

Ahora, en el Cuadro 22 se muestra que los coeficientes de correlación de Pearson entre la materia seca, según la fenología y la extracción de micronutrientes por los frutos de camu camu, denotan asociación directa positiva; es decir que conforme discurren las fases fenológicas la presencia de estos elementos se incrementa en la materia seca; con alta significancia para el Zn, Cu, Fe y B, y significativo para el Mn.

Cuadro 22. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de micronutrientes en frutos, en Kg.ha⁻¹.

	Micronutrientes (Kg.ha ⁻¹)				
	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Coeficiente de correlación (r)	0.995	0.998	0.674	0.985	0.981

La extracción total de micronutrientes que se observa en el Cuadro 20, denota el incremento gradual de éstos conforme a las fases fenológicas y que el patrón presenta el siguiente orden: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Así, el Cuadro 23 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre el contenido de los micronutrientes en la materia seca de ambos órganos y su extracción durante las fases fenológicas, revelando un alto grado de asociación directa positiva, lo que demuestra que la

extracción de nutrientes encontrados en las hojas y frutos es progresivo en la materia seca conforme discurren las fases fenológicas, aun cuando los coeficientes del B y Mn sean menores a los del Cu, Zn y Fe.

Cuadro 23. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de micronutrientes, en Kg.ha⁻¹.

	Micronutrientes (Kg.ha ⁻¹)				
	Zn	Cu	Mn	Fe	B
Coeficiente de correlación (r)	0.958	0.955	0.847	0.973	0.781

C. Metales pesados (Cd, Pb y Cr)

En el Cuadro 24, se observa los niveles de extracción de Cadmio, Plomo y Cromo en hoja, fruto y totales, desde la fase de brotamiento I hasta la fase de fruto maduro.

Cuadro 24. Extracción de Cadmio, Plomo y Cromo durante las fases fenológicas del camu camu, en Kg.ha⁻¹.

Fase	Órgano	Cd	Pb	Cr
Brotamiento I (44 ddd)	Hoja	3.890E-06	0.000	0.000
	Fruto	---	---	---
	Total	3.890E-06	0.000	0.000
Brotamiento II (88 ddd)	Hoja	1.115E-05	0.000	0.000
	Fruto	---	---	---
	Total	1.115E-05	0.000	0.000
Fructificación (133 ddd)	Hoja	1.522E-05	0.000	0.000
	Fruto	0.000	0.000	0.000
	Total	1.522E-05	0.000	0.000
Llenado de fruto (181 ddd)	Hoja	3.025E-05	0.000	0.000
	Fruto	0.000	0.000	0.000
	Total	3.025E-05	0.000	0.000
Fruto maduro (210-234 ddd)	Hoja	2.977E-05	0.000	0.000
	Fruto	1.345E-04	3.094E-02	1.816E-02
	Total	1.643E-04	3.094E-02	1.816E-02

ddd: Días después de la defoliación.

A nivel de hojas (Cuadro 24), se observa que solo el Cadmio fue detectado, siendo la fase de llenado de fruto en la que hubo mayor extracción. Así también, al determinar el coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0.719$), este denota un alto grado de asociación directa positiva entre las fases fenológicas y la extracción de Cd.

En cuanto a la extracción de Cadmio, Plomo y Cromo realizado por los frutos de camu camu, su presencia se dio solo en la fase de fruto maduro y el patrón de extracción total, denota el siguiente orden $Pb > Cr > Cd$.

El Cuadro 25, muestra los altos grados de asociación directa positiva, existente entre el contenido de estos metales pesados en la materia seca y el nivel de desarrollo de los frutos, conforme transcurren las fases fenológicas del camu camu.

Cuadro 25. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción de metales pesados en frutos, en $Kg.ha^{-1}$.

	Metales pesados ($Kg.ha^{-1}$)		
	Cd	Pb	Cr
Coeficiente de correlación (r)	0.955	0.955	0.955

Por otro lado, la extracción total de metales pesados realizados por el camu camu observados en el Cuadro 24, muestran que conforme discurren las fases fenológicas mayor es la extracción de Cadmio, Plomo y Cromo y que además es el Plomo el metal pesado que en mayor cantidad se extrajo, siendo el patrón: $Pb > Cr > Cd$.

Asimismo, en el Cuadro 26 se observa que existe un alto grado de asociación directa positiva, entre el contenido de estos metales pesados en la materia seca y el nivel de desarrollo de los frutos, conforme transcurren las fases fenológicas del camu camu.

Cuadro 26. Coeficiente de correlación de Pearson (r), entre la materia seca y la extracción total de metales pesados, en Kg.ha⁻¹.

	Metales pesados (Kg.ha ⁻¹)		
	Cd	Pb	Cr
Coeficiente de correlación (r)	0.923	0.860	0.860

Las concentraciones de Cadmio, Plomo y Cromo reportadas a nivel de hojas y frutos de camu camu, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP), y pueden originar efectos negativos en las plantas y animales donde se pueden concentrar y causar efectos tóxicos al ser humano, al consumirlas; en concordancia con Gulson *et al.* (1996) citados por VELIT y LAZO (2013), al mencionar que excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos.

4.3. Rendimiento

A partir de los 210 días después de la defoliación (ddd), se inició la cosecha; sin embargo, los resultados de Rendimiento total, se obtuvieron a los 234 ddd, correspondiente a la fase Fruto maduro (cosecha).

En el Cuadro 27, se muestran el Rendimiento total con 8,422.01 Kg de fruta.ha⁻¹; Rendimiento neto con 7374.26 Kg de fruta.ha⁻¹ y Rendimiento perdido (frutas no comerciales) con 1047.75 Kg fruta.ha⁻¹.

Cuadro 27. Rendimiento neto, rendimiento perdido y rendimiento total (Kg.ha⁻¹).

Rendimiento en Kg.ha ⁻¹		
Neto	Perdido	Total
7,374.26	1,047.75	8,422.01

Asimismo, en el Cuadro 28, se puede observar que por cada tonelada de fruto producido este extrajo: en Kg.t^{-1} , Nitrógeno 18.88, Fósforo 1.45, Potasio 7.14, Calcio 9.36, Magnesio 1.58 y Azufre 1.17; y en g.t^{-1} , Zinc 28.02, Cobre 11.16, Manganeseo 714.91, Hierro 71.60, Boro 36.93, Cadmio 0.03, Plomo 3.68 y Cromo 2.14. En cuanto al patrón de extracción, este describe el siguiente orden: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$.

Cuadro 28. Nutrientes y metales pesados extraídos por el fruto en Kg/ha .

		Absorción		Extracción
		Total	Fruto*	1t de fruto
Nutriente		Kg.ha^{-1}		Kg.t^{-1}
	N	159	15.27	18.88
	P	12	1.92	1.45
	K	60	14.76	7.14
	Ca	79	13.52	9.36
	Mg	13	0.81	1.58
	S	10	1.28	1.17
		g.ha^{-1}		g.t^{-1}
	Zn	236	34	28.02
	Cu	94	22	11.16
	Mn	6021	45	714.91
	Fe	603	115	71.60
Metal pesado	B	311	62	36.93
	Cd	0.22	0.13	0.03
	Pb	31	30.94	3.68
	Cr	18	18.16	2.14

*: Rendimiento total de frutos = $8422.01 \text{ Kg.ha}^{-1}$.

Sin embargo, si consideramos la fertilidad natural del suelo donde se realizó el estudio y que el material vegetal utilizado corresponde a plantas francas de camu camu de 7 años, sembradas a una densidad de 1650 plantas/ha, produjo $8422.01 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ($5.10 \text{ Kg fruto.planta}^{-1}$), los resultados obtenidos superan los reportados por LÓPEZ *et al.* (2005), quienes al probar el efecto de cinco niveles de nitrógeno en el rendimiento de camu camu arbustivo de 7 años e injerto en un entisol de Pucallpa, de clase textural arcillo limosa, pH mayor de 6.7 y menor de 7.0, CIC entre 10.16 y 19.4 meq.100 ml^{-1} , suelo de excelentes características químicas y físicas, bajo contenido de materia orgánica y por consiguiente niveles bajos de nitrógeno total (0.07–0.09 %) y nitrógeno disponible ($55\text{--}70 \text{ Kg.ha}^{-1}$), sembradas a una densidad de 833 plantas. ha^{-1} , solo alcanzaron con el Testigo, 3.58 t.ha^{-1} ($4.30 \text{ Kg fruto.planta}^{-1}$); recomendado el

Tratamiento 3 (90 Kg N.ha⁻¹). Así también, ABANTO (2010) en un Ultisols deficiente en materia orgánica (1.4%), fósforo (0.4ppm) y potasio (25ppm), con un pH = 4.58, alta toxicidad de aluminio (6 meq.100 g⁻¹) y CIC = 6.72 meq.100 g de suelo⁻¹, donde aplicó 5 tratamientos mediante la técnica del Fertirriego en un sistema de riego por goteo en plantas de camu camu de siete años de edad, sembradas a una densidad de 833 plantas.ha⁻¹, obtuvo con el Testigo 2.7 t.ha⁻¹, no existiendo diferencias significativas con los demás tratamientos para la variable rendimiento, pero sí para la variable concentración de ácido ascórbico, recomendando el Tratamiento 2 [60-40-80/N-P-K].

Es probable que los mejores rendimientos obtenidos, en comparación a los logrados por LÓPEZ *et al.* (2005), y ABANTO (2010), pueden deberse al tipo de plantas (injertas: menor número de ramas=menor número de frutos), a la calidad de los suelos donde ejecutaron sus respectivas investigaciones o que las escalas propuestas en la Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales (Bennett (1993), citado por CORRENDON y GARCÍA (2012), ameritan su revisión y consideren que las concentraciones reportadas en los tejidos evaluados, se encuentran dentro de los rangos de suficiencia para la especie *Myrciaria dubia*; pudiéndose adaptar lo determinado por VIEGAS, *et al.*, (2014).

Sin embargo, lo que resalta de estos resultados no es netamente la capacidad del suelo para sostener una productividad de 8422.01 Kg.ha⁻¹, aun a 210 días después de la defoliación (relativamente tardía, según lo reportado por ABANTO, 2011), sino que estos son fuente de metales pesados traslocados hacia los frutos (objetivo de la producción), en la fase de Fruto maduro, superando los Límites máximos permisibles de las normas respectivas; se cree que el origen del Plomo Cadmio y Cromo encontrados, proceden de los residuos y efluentes de la vida urbana, el uso de vehículos de combustión interna (PAIS y BENTON - JONES, 2000; PRASAD, 2004), cuyas consecuencias ambientales derivadas de la generación de los residuos mencionados es la elevación del tenor de metales en los suelos (ADRIANO, 2001); en concordancia a lo informado por el GOREU (2010), refiriendo que los principales agentes de contaminación en la laguna se deben a que es el receptor final de aguas servidas del Hospital Amazónico de Yarinacocha, urbanización Pedro Portillo (FONAVI) y Malecón Yarinacocha (viviendas y comercio).

V. CONCLUSIONES

En el cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), bajo condiciones de un entisols de Yarinacocha, conforme discurren las fases fenológicas, la formación de Materia seca total, es ascendente, produciéndose en la fase de fructificación su redistribución desde las hojas hacia los frutos.

En el cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), bajo condiciones de un entisols de Yarinacocha, la dinámica de absorción de nutrientes expresa un alto grado de asociación con las fases fenológicas evaluadas; definiendo el patrón: $N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu$; donde la fase de fruto maduro, fue la de mayor absorción de nutrientes, exceptuando al Mn, que fue en la fase de llenado de fruto. El patrón de absorción total de metales pesados es: $Pb > Cr > Cd$; superando los límites máximos permisibles. El nivel de fertilidad química del suelo del área en estudio influyó en las concentraciones de los elementos nutritivos durante las fases evaluadas, repercutiendo directamente en la capacidad de absorción y extracción de los nutrientes por las plantas de camu camu.

El rendimiento de frutos alcanzado fue de $8422.01 \text{ Kg.ha}^{-1}$ a 234 días después de la defoliación y por cada tonelada de fruto producido, este extrajo: en Kg.t^{-1} , Nitrógeno 18.88, Fósforo 1.45, Potasio 7.14, Calcio 9.36, Magnesio 1.58 y Azufre 1.17; y en g.t^{-1} , Zinc 28.02, Cobre 11.16, Manganeseo 714.91, Hierro 71.60, Boro 36.93, Cadmio 0.03, Plomo 3.68 y Cromo 2.14; describiendo el patrón: $N > Ca > K > Mg > P > S > Mn > Fe > B > Zn > Cu > Pb > Cr > Cd$.

VI. RECOMENDACIONES

Efectuar este tipo de investigación en plantaciones injertadas considerando la amplia variabilidad genética del cultivo.

Efectuar el análisis de tejidos de los órganos de sostén (raíz, tallo y ramas) para determinar la concentración y absorción total del cultivo en una campaña.

Realizar ensayos de fertilización, a partir de los niveles de extracción de nutrientes reportados en el presente trabajo.

Realizar estudios sobre el origen y efectos de los metales pesados presentes en los suelos, agua y plantas de la cercanía del Lago de Yarinacocha, que incluya elementos medioambientales (suelo, aire y agua), así como un estudio de dispersión de los contaminantes metálicos de tipo dinámico en el tiempo.

Sugerir a las instancias correspondientes, establecer los niveles de concentración de nutrientes suficientes, críticos o tóxicos para el cultivo de camu camu.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO, C. 2010. Efecto del fertirriego sobre la productividad del camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh) en la Región Ucayali. IIAP – Pucallpa, Perú. Tesis para optar el título de Ing. forestal. UNALM. Lima. Perú. 95 pp.
- ABANTO, R.; OLIVA, C.; DOMÍNGUEZ, T.; MEZA, A. y CHAGAS, E. 2011. Efecto del fertirriego sobre la producción de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh) en la Región Ucayali. Pucallpa. Perú. En: II Congreso Nacional del Camu camu 19-21/09/2011.
- ADRIANO, C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of heavy metals. 2nd ed. Springer-Verlag, New York. 867pp.
- ACOSTA, M. 2007. Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle de Mezquital. Hgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. México. 101 pp.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA – ANA. 2012. Compendio de los Recursos Hídricos Superficiales de Ucayali. Lima – Perú. 155 pp.
- BARBAZAN, M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutriente. Montevideo (UR): Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 27 p.
- BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica, 307 p.

- BERTSCH, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. En: Informaciones agronómicas. San José, Costa Rica. 7 p.
- BIOAGROLAT. 2012. Nutrición mineral. [En línea]: ALBION Plant Nutrition METALOSATE®(<http://www.bioagrolat.com/Paginas/nutricionmineral.html>). Visitado el 15 de enero de 2015.
- BUGARIN-MONTOYA, R., A. GLAVIS-SPINOLA, P. SANCHEZ-GARCIA y D. GARCÍA-PAREDES. 2002. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. Terra 20(4):401-409.
- BURTON, D. y COOPER, L. 2009. Agrociencia: fundamentos y aplicaciones. Mexico. 4ta Edición. Cengage Learning Editores S.A. 788 pp.
- CALDERÓN, E. y CONCHA, R. s.d. Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Departamento Académico de Ingeniería Química - Universidad Nacional de Piura. Piura. 10 pp.
- CASAS, J. 2014. Curva de absorción de nutrientes en la biomasa estacional del cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* HBK Mc Vaugh) en suelos de Yarinacocha (Pucallpa). Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 80 pp.
- CORRENDO, A. y GARCÍA, A. 2012. Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos. En: Archivo Agronómico #14 – Marzo 2012. IPNI. Buenos Aires. Argentina. 8 pp.
- DECHEN, R. y NACHTIGALL, R. 2006. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap. 13.p.327-354.
- DEVLIN, M. 2000. Fisiología vegetal. Edic. Omega. Barcelona. España. 50 pp.

- DÍAZ, A. 2014. Metales pesados: Revisión Agosto 2014. CATICE de Valencia Secretaría de Estado de Comercio. España. 26 p.
- EPSTEIN, E. y BLOOM, J. 2004. Mineral nutrition of plantas: principles and perspectives. 2th Ed. Sunderland: Sinahuer Assosiates.
- FERRARIS, G. 2011. Micronutrientes en cultivos extensivos. Necesidad actual o tecnología para el futuro. Desarrollo Rural INTA E.E.A. Pergamino. Buenos Aires.
- GIUFFRÉ, L.; S. RATTO; L. MARBÁN; J. SCHONWALD Y R. ROMANIUK. 2005. Riesgo por metales pesados en horticultura urbana. Ciencia del Suelo 23(1), 101-106.
- GARCÍA, I. y DORRONSORO. C. 2005. Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, Granada, España.
- GOREU. 2010. Estudios de impacto ambiental semi detallado – Anexos: Proyecto de acondicionamiento turístico del Lago de Yarinacocha. Pucallpa. Perú. 199 pp.
- KABATA – PENDIAS y PENDIAS 2000. Trace Elements in Soils and Plants. (3rd edition) CRC Press. Boca Ratón. Florida 432 pp.
- Laboratorios A-L de México. 2011. Análisis foliares. Guadalajara. México. 21 pp.
- LASAT, M.M. 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Sciencie, Environmental Protection Agency (EPA), Washington DC.
- LÓPEZ, A.; ROMERO, W.; VARGAS, V. y DÍAZ, E. 2005. Efecto de cinco niveles de nitrógeno en el rendimiento de *Myrciaria dubia* (HBK Mc Vaugh), camu camu arbustivo, en un entisol de Pucallpa. IIAP - Folia Amazónica 14 (2). p 37 – 41.

- MENDOZA, M. 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón. Publicaciones Server. Universidad de Valencia, Valencia, España.
- MENGEL, K. y KIRKBY, E. 2000. Principles of plant nutrition. International Potash Institute. Berna Suiza. 692 pp.
- MENGEL, K. y KIRKBY, E. 2001. Principles of plant nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. 849 pp.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE – MINAM. 2013. Indicadores ambientales UCAYALI. Lima. Perú. 155 pp.
- MIRANDA, D., CARRANZA, C y G. FISCHER. 2008. Calidad del agua de riego en la Sabana de Bogotá. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- MONTENEGRO, O. 2002. Contaminación química de suelos y cultivos. Estrategias para la productividad de los suelos agrícolas. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Capítulo Tolima, Bogotá
- NAVARRO, G. y NAVARRO, S. 2000. Química agrícola. El suelo y los elementos esenciales para la vida vegetal. Editorial Mundi prensa. Madrid España 488p.
- ÑÚSTEZ, C., SANTOS, M. y SEGURA, M. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). En: Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 62(1): 4823-4834. 2009.
- PADILLA, J., RAMÍREZ, E., BARRA, R. y J. BARRETO. sd. Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz. Perú. 6 pp.

- PAIS, I. y BENTON-JONES, J. 2000. The Handbook of Trace Elements. Editorial St. Lucie. Press, Boca Raton, Florida.
- PARRY, J., FLEXAS, J. y MEDRANO, H. 2005. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147: 211-226.
- PEIL, R. y GALVEZ, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. En: *Revista Brasileira. Agrobiência*, v.11, n. 1, p. 05-11, jan-abr, 2005.
- PETERS, CH. y VÁSQUEZ, A. 1986. Estudios Ecológicos de Camu camu *Myrciaria dubia*. I. Producción de Frutos en Poblaciones Naturales. En: *Acta Amazónica* 16 -17 (Número único). Brasil. pp. 161-174.
- PINEDO, M., DELGADO, C., FARROÑAY, R., DEL CASTILLO, D., IMAN, S., VILLACREZ, J., FACHIN, L., OLIVA, C., ABANTO, C., BARDALES, R., VEGA, R. Y LINARES, C. 2010. Camu camu (*Myrciaria dubia*, *Myrtaceae*) Aportes para su aprovechamiento sostenible en la amazonía peruana. IIAP. Iquitos. Perú. 137 pp.
- PRASAD, V. 2004. Heavy metal stress in plants: from biomolecules to ecosystems. 2nd Editorial Narosa Publishing House, 22 Daryaganj. New Delhi.
- QUEIROLO, F.; S. STEGEN; M. RESTOVIC; M. PAZ; P. OSTAPCZUK; M.J. SCHWUGER and L. MUÑOZ. 2000. Total arsenic, lead, and cadmium levels in vegetables cultivated at the Andean villages of northern Chile. *Sci. Total Environ.* 255, 75-84.
- REILLY, C. 2002. Metal contamination of food. Its significance for food quality and human health. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK.

- RENGEL, M., GIL, F., y MONTANO, J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. macronutrientes. Bioagro [online]. 2011, vol.23, n.1, pp. 43-50. ISSN 1316-3361.
- RIVA, R. y GONZÁLEZ, I. 1997. Tecnología del cultivo de camu camu en la Amazonía Peruana. INIA - EE – Pucallpa - Perú.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas: Conceptos básicos. Lima. Perú. 19 pp.
- SÁNCHEZ, E.; RAMÍREZ, N.; VERDE, W. y CASAS, J. 2007. Evaluación de enfermedades del cultivo de Camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc. Vaugh) determinando factores climáticos y de fertilidad incidentes y etapas fenológicas susceptibles en Pucallpa. Pucallpa. Perú. 38 pp.
- TEKALIGN, T. and P.S. HAMMES. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth I. Stomatal conductance, rate of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. *Scientia Horticulturae* 105(1): 13–27.
- TOMASSINI, L. y GARCIA, S. 2003. Fertilidad de Suelos: Lecturas de Prácticas. UNALAM. Lima. Perú. 121 pp.
- UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS – UNMSM. 2008. Boletín electrónico informativo sobre productos y residuos químicos Año 4 N° 37, Editor: Ing. Jorge Eduardo Loayza Pérez MSc. Lima. Perú. 4 pp.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI – UNU. 2012. Boletín meteorológico. Estación de la Universidad Nacional de Ucayali. 14 pp.
- USON, A., BOIXADERA, J. y MARTIN, A. 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Editorial Zaragoza Prensa Universitaria de Zaragoza. España. 515 pp.

- VAIERETTI, M.V, S. DIAZ, E. VILLE and E. GARNIER. 2007. Two measurement methods of leaf dry matter content produce similar results in a broad range of species. *Ann. Bot.* 99(5):955–958.
- VELIT, C. y LAZO, E. 2003. Evaluación de la contaminación de cadmio en suelos dedicados a la agricultura en el distrito de Pilcomayo. Informe final. UNCP. Huancayo. Perú. 25 pp.
- VERDE, W. 2013. Estudio de suelos potenciales para el cultivo de camu camu (*Myrciaria dubia* H.B.K. Mc Vaugh) en la Provincia de Coronel Portillo, región Ucayali. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. UNALM
- VIÉGAS, I., THOMAZ, M., SILVA, J., CONCEIÇÃO, H., y NAIFF, A. 2004. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2), 315-319. Retrieved April 21, 2015, from <http://www.scielo.br/scielo.php>.
- VILLACHICA, H. 1996. Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía. FAO, Tratado de Cooperación Amazónica. Lima-Perú. p. 77-84.
- YUYAMA, K. 2011. A cultura de camu-camu no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33 (2), 335-690. Retrieved June 06, 2014, from <http://www.scielo.br/scielo.php>.

VIII. ABSTRACT

DYNAMIC OF THE ABSORPTION OF THE NUTRIENTS AND HEAVY METALS IN THE BIOMASS OF THE SEASONAL CROP OF CAMU CAMU (*Myrciaria dubia* HBK) IN AN ENTISOLS OF YARINACOCHA *

Nadia Masaya Panduro – Tenazoa¹, Hugo Huamani – Yupanqui²

In a plantation rootstock of *Myrciaria dubia* (HBK), seven years old, located in an alluvial soil, in order to understand the dynamics of absorption of nutrients and heavy metals in seasonal crop biomass of camu camu (*Myrciaria dubia* HBK), under conditions of a entisols of Yarinacocha; It was evaluated in leaves and fruits, in the sprouting phases I, sprouting II, flowering, fruiting, fruit filling and ripe fruit: dry matter (Kg.ha^{-1}), yield (t.ha^{-1}) and total absorption (Kg.ha^{-1}), N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Pb, Cd and Cr, according to the respective protocols of the Laboratory of Soil and Tissue of the UNAS. Pearson's correlation between phenological phases and the absorption of nutrients and heavy elements and their respective mathematical model was made. The dynamics of absorption of macronutrients, expressed a high degree of association; defining the pattern: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$; it is the phase of mature fruit, the higher absorption of nutrients, except for the Mn, which was in the process of filling fruit. The pattern of total absorption of heavy metals is $\text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$; exceeding the maximum permissible limits at the stage of mature fruit. The total yield, obtained 234 days after defoliation was $8422.01 \text{ Kg.ha}^{-1}$ fruits.

Key words: Camu camu, *Myrciaria dubia* (HBK), nutrients, analysis of tissues, nutrients absorption, lead, cadmium, chromium, phenology, absorption pattern.

¹ Tesista de Maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Sede Pucallpa. Perú. E-mail: nmpt80@gmail.com

² Asesor de Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María – Sede Pucallpa. Perú. E-mail: hhuamani@hotmail.com

* Sustentado en la Ciudad de Tingo María, EPG-UNAS, el 10 de Abril de 2015.

IX. ANEXOS

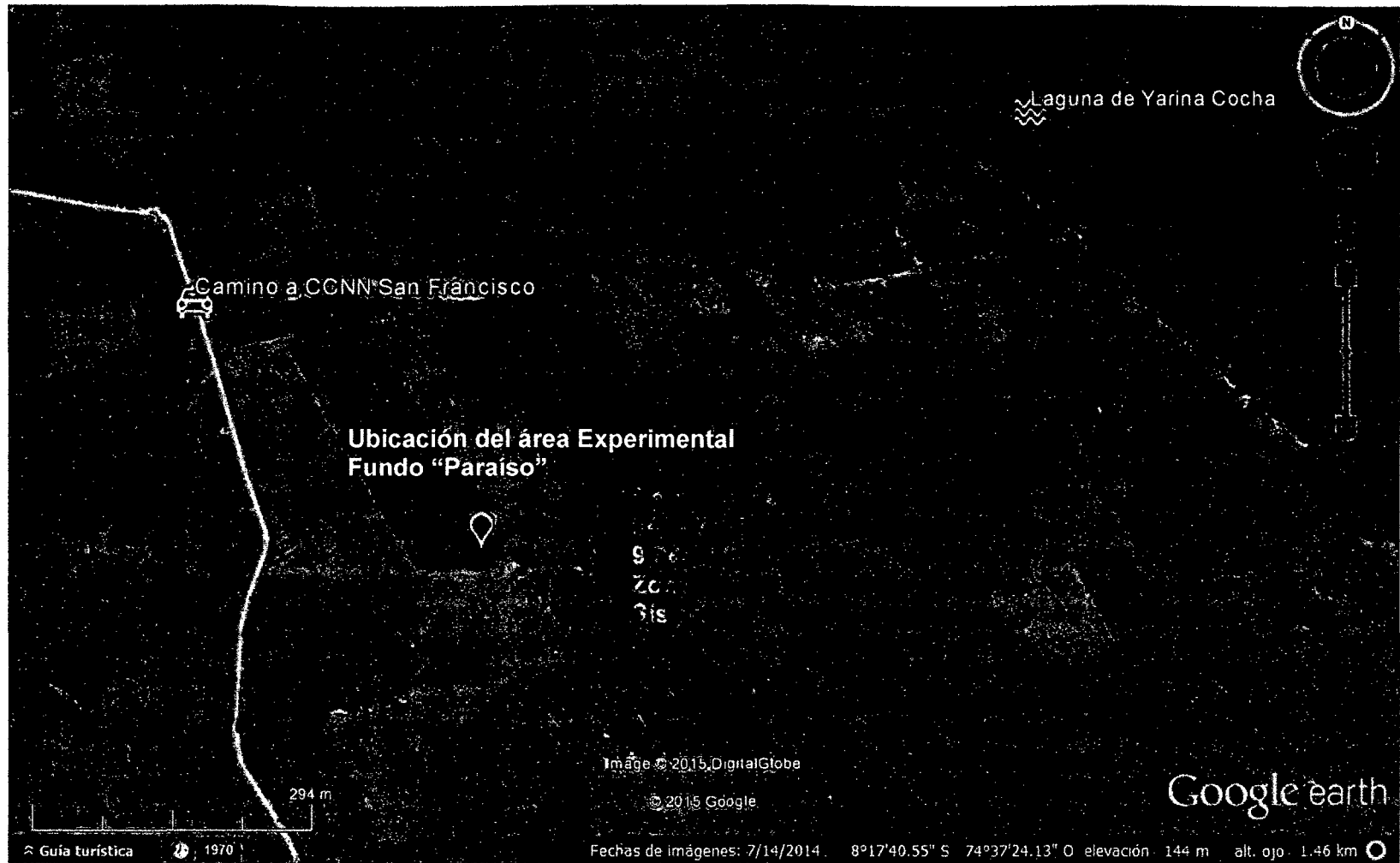


Figura A 1. Ubicación del área experimental. Fuente: Google Earth. Versión 2015.

Cuadro A 1. Características fisicoquímicas de las muestras de suelos, por bloque en estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com



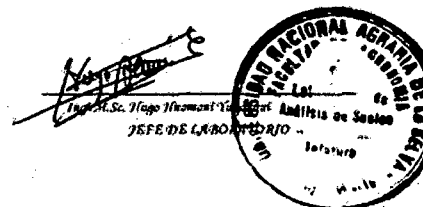
ANALISIS DE SUELOS

Cod. Lab	DATOS DEL USUARIO		ANALISIS MECANICO				pH	C.E	M.O.	Disp. ppm		ClCe	Camb. meq/100 gr de suelo					Sat. Bases %
			Arena	Limo	Arcilla	Textura	1:1	dS/cm	%	P	K		Ca	Mg	K	Na	Al + H	
			%	%	%		%	%	%	%	%		%	%	%	%		
M1806	NADIA PANDURO TENAZOA	BITI	11	53	36	Franco arcillo limoso	4,81	0,38	2,59	11,7	151	22,08	16,97	2,78	0,37	0,11	0,2	92
M1807	NADIA PANDURO TENAZOA	BIITI	21	57	22	Franco limoso	4,76	0,33	2,80	7,8	36	21,44	16,87	2,40	0,26	0,10	0,2	91,1
M1808	NADIA PANDURO TENAZOA	BIITI	15	61	24	Franco limoso	4,97	0,33	1,71	9,8	116	16,96	14,05	2,35	0,26	0,10	0,2	99
M1809	NADIA PANDURO TENAZOA	BIVTI	12	56	32	Franco arcillo limoso	4,63	0,52	2,94	13,0	156	20,32	15,38	2,72	0,33	0,13	0,2	91

Fecha: Jueves, 14 de Noviembre de 2013

Recibo Nº: DEPOSITO BANCARIO

Muestreado por: El solicitante



Cuadro A 2. Concentración de elementos en las fases fenológicas, según análisis de tejidos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

Av. Universitaria s/n Telef. 562342 - Fax 561156 Aptdo. 156

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS FOLIAR

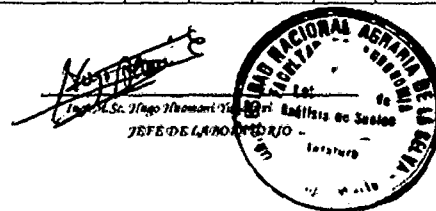
Solicitante: **Nadia Masaya Panduro Tenazoa**

N° de Muestra del Laboratorio	Datos del Usuario				Porcentaje (%)		Porcentaje (%)		Porcentaje (%)	
	JHCV	FASE FENOLOGICA	BLOQUE	PLANTA	Materia seca	Humedad	Ceniza en base Húmeda	Materia Orgánica en Base Húmeda	Ceniza en Base Seca	Materia orgánica en Base Seca
1810	H1I1	BROTAMIENTO I	BI	1, 8, 11, 7	87.60	12.40	3.70	83.90	4.23	95.77
1811	H1II	BROTAMIENTO I	BII	1, 3, 6, 8	88.00	12.00	3.41	84.59	3.87	96.13
1812	H1III	BROTAMIENTO I	BIII	1, 6, 7, 10	88.06	11.94	3.83	84.23	4.35	95.65
1813	H1IV	BROTAMIENTO I	BIV	1, 3, 5, 9	88.81	11.19	4.33	84.48	4.87	95.13
1814	39383	BROTAMIENTO II	BI	2, 3, 5, 6	89.92	10.08	4.17	85.75	4.64	95.36
1815	1410	BROTAMIENTO II	BII	2, 4, 7, 9	89.98	10.02	5.01	84.97	5.57	94.43
1816	1413	BROTAMIENTO II	BIII	2, 4, 5, 8	89.93	10.07	4.57	85.36	5.08	94.92
1817	1416	BROTAMIENTO II	BIV	2, 4, 6, 7	89.88	10.12	4.35	85.54	4.84	95.16
1818	39384	INIC. FRUCT.	BI	4, 9, 10, 12	90.53	9.47	4.61	85.92	5.10	94.90
1819	1422	INIC. FRUCT.	BII	5, 10, 11, 12	90.35	9.65	5.03	85.32	5.57	94.43
1820	1425	INIC. FRUCT.	BIII	3, 9, 11, 12	89.96	10.04	4.79	85.17	5.33	94.67
1821	1428	INIC. FRUCT.	BIV	8, 10, 11, 12	90.45	9.55	4.70	85.75	5.20	94.80
1822	39385	LL. FRUTO	BI	13, 14, 15, 17	90.59	9.41	5.68	84.90	6.27	93.73
1823	1434	LL. FRUTO	BII	13, 14, 15, 16	91.11	8.89	6.03	85.08	6.62	93.38
1824	1437	LL. FRUTO	BIII	13, 14, 15, 16	90.67	9.33	5.94	84.73	6.55	93.45

1825	1440	LL. FRUTO	BIV	13,14,15,16	89.26	10.74	5.47	83.79	6.13	93.87
1826	39386	COSECHA	BI	16,18,19,20	89.63	10.37	6.63	83.00	7.40	92.60
1827	1446	COSECHA	BII	17,18,19,20	90.15	9.85	6.97	83.18	7.73	92.27
1828	1449	COSECHA	BIII	17,18,19,20	89.85	10.15	6.26	83.58	6.97	93.03
1829	1452	COSECHA	BIV	17,18,19,20	88.87	11.13	5.58	83.29	6.27	93.73
1830	39387	INIC. FRUCT.	BI	4, 9, 10, 12	90.59	9.41	5.68	84.90	6.27	93.73
1832	1458	INIC. FRUCT.	BII	5, 10,11,12	90.67	9.33	5.94	84.73	6.55	93.45
1833	1461	INIC. FRUCT.	BIII	3, 9, 11, 12	89.26	10.74	5.47	83.79	6.13	93.87
1834	1464	INIC. FRUCT.	BIV	8,10,11,12	89.63	10.37	6.63	83.00	7.40	92.60
1835	39388	LL. FRUTO	BI	13,14,15,17	90.15	9.85	6.97	83.18	7.73	92.27
1836	1470	LL. FRUTO	BII	13,14,15,16	89.85	10.15	6.26	83.58	6.97	93.03
1837	1473	LL. FRUTO	BIII	13,14,15,16	88.87	11.13	5.58	83.29	6.27	93.73
1831	1476	LL. FRUTO	BIV	13,14,15,16	91.11	8.89	6.03	85.08	6.62	93.38
1841		COSECHA	BI	16,18,19,20	87.25	12.75	4.86	82.39	5.57	94.43
1839		COSECHA	BII	17,18,19,20	84.30	15.70	3.85	80.45	4.57	95.43
1840		COSECHA	BIII	17,18,19,20	87.07	12.93	6.76	80.31	7.76	92.24
1838		COSECHA	BIV	17,18,19,20	87.33	12.67	6.16	81.17	7.05	92.95

N° de Muestra del Laboratorio	Datos del Usuario				N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	Na (%)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Cr (ppm)
	JHCV	FASE FENOLOGICA	BLOQUE	PLANTA															
1810	H1I1	BROTAMIENTO I	BI	1, 8, 11, 7	2.32	0.16	0.99	0.61	0.23	0.18	0.03	31	10	375	72	40	0.007	0.0	0.0
1811	H1II	BROTAMIENTO I	BII	1, 3, 6, 8	2.10	0.17	0.89	0.58	0.16	0.17	0.03	25	10	360	62	41	0.001	0.0	0.0
1812	H1III	BROTAMIENTO I	BIII	1, 6, 7, 10	2.38	0.19	1.12	0.57	0.19	0.16	0.03	30	12	405	66	41	0.005	0.0	0.0
1813	H1IV	BROTAMIENTO I	BIV	1, 3, 5, 9	2.27	0.19	1.25	0.69	0.22	0.19	0.03	32	13	375	114	43	0.001	0.0	0.0
1814	39383	BROTAMIENTO II	BI	2, 3, 5, 6	2.32	0.14	0.86	1.02	0.19	0.15	0.03	29	10	586	50	24	0.007	0.0	0.0
1815	1410	BROTAMIENTO II	BII	2, 4, 7, 9	2.38	0.14	0.76	0.65	0.17	0.14	0.02	29	10	802	66	46	0.008	0.0	0.0
1816	1413	BROTAMIENTO II	BIII	2, 4, 5, 8	2.32	0.15	0.71	0.48	0.12	0.03	0.02	29	12	748	61	62	0.008	0.0	0.0

1817	1416	BROTAMIENTO II	BIV	2, 4, 6, 7	2.04	0.15	0.65	0.45	0.14	0.15	0.02	29	11	738	53	37	0.011	0.0	0.0
1818	39384	INIC. FRUCT.	BI	4, 9, 10, 12	1.93	0.12	0.46	0.68	0.15	0.07	0.02	28	8	702	69	50	0.014	0.0	0.0
1819	1422	INIC. FRUCT.	BII	5, 10,11,12	1.90	0.12	0.41	0.7	0.14	0.09	0.02	34	8	832	62	37	0.005	0.0	0.0
1820	1425	INIC. FRUCT.	BIII	3, 9, 11, 12	1.90	0.13	0.51	0.72	0.13	0.02	0.02	28	7	960	65	31	0.013	0.0	0.0
1821	1428	INIC. FRUCT.	BIV	8,10,11,12	2.32	0.14	0.52	0.62	0.1	0.04	0.02	23	8	759	86	40	0.009	0.0	0.0
1822	39385	LL. FRUTO	BI	13,14,15,17	1.65	0.11	0.33	1.02	0.19	0.15	0.02	34	7	983	58	24	0.024	0.0	0.0
1823	1434	LL. FRUTO	BII	13,14,15,16	1.40	0.12	0.39	1.12	0.18	0.17	0.02	49	9	1019	76	16	0.015	0.0	0.0
1824	1437	LL. FRUTO	BIII	13,14,15,16	2.13	0.12	0.40	1.00	0.16	0.13	0.01	31	9	1513	81	18	0.024	0.0	0.0
1825	1440	LL. FRUTO	BIV	13,14,15,16	1.99	0.13	0.47	0.96	0.2	0.15	0.02	33	8	1060	70	26	0.018	0.0	0.0
1826	39386	COSECHA	BI	16,18,19,20	1.54	0.11	0.32	1.33	0.25	0.1	0.02	40	9	1132	65	36	0.03	0.0	0.0
1827	1446	COSECHA	BII	17,18,19,20	1.60	0.10	0.31	1.52	0.24	0.1	0.02	49	9	1395	67	38	0.034	0.0	0.0
1828	1449	COSECHA	BIII	17,18,19,20	1.85	0.12	0.32	1.74	0.22	0.15	0.02	47	9	1422	58	31	0.015	0.0	0.0
1829	1452	COSECHA	BIV	17,18,19,20	1.96	0.13	0.4	2.00	0.18	0.15	0.02	30	10	776	59	24	0.008	0.0	0.0
1830	39387	INIC. FRUCT.	BI	4, 9, 10, 12	1.82	0.22	1.11	0.86	0.18	0.06	0.02	32	22	289	70	19	0.0	0.0	0.0
1832	1458	INIC. FRUCT.	BII	5, 10,11,12	1.46	0.24	1.19	0.87	0.19	0.08	0.02	31	24	391	55	54	0.0	0.0	0.0
1833	1461	INIC. FRUCT.	BIII	3, 9, 11, 12	1.60	0.24	1.14	0.64	0.13	0.07	0.03	31	19	326	64	21	0.0	0.0	0.0
1834	1464	INIC. FRUCT.	BIV	8,10,11,12	1.9	0.24	1.11	0.61	0.14	0.07	0.02	31	18	309	83	45	0.0	0.0	0.0
1835	39388	LL. FRUTO	BI	13,14,15,17	1.09	0.16	0.99	0.32	0.08	0.03	0.02	18	12	95	32	6	0.0	0.0	0.0
1836	1470	LL. FRUTO	BII	13,14,15,16	1.62	0.2	1.03	0.26	0.08	0.04	0.02	21	16	83	37	13	0.0	0.0	0.0
1837	1473	LL. FRUTO	BIII	13,14,15,16	1.4	0.19	1.12	0.26	0.08	0.06	0.02	21	15	115	75	24	0.0	0.0	0.0
1831	1476	LL. FRUTO	BIV	13,14,15,16	1.46	0.21	1.07	0.23	0.08	0.05	0.02	20	15	93	38	42	0.0	0.0	0.0
1841		COSECHA	BI	16,18,19,20	1.15	0.14	1.38	1.04	0.06	0.09	0.02	33	29	27	94	41	0.4	15	12
1839		COSECHA	BII	17,18,19,20	1.15	0.14	1.03	0.94	0.06	0.08	0.02	25	13	28	90	52	0.0	41	16
1840		COSECHA	BIII	17,18,19,20	1.12	0.14	0.96	1.16	0.06	0.11	0.03	24	13	52	97	55	0.0	16	7
1838		COSECHA	BIV	17,18,19,20	1.12	0.15	1.02	0.88	0.06	0.1	0.02	20	11	27	62	36	0.0	20	19



25/11/2013 11:04
RECIBO N°: Depósito Bancario

Cuadro A 3. Guía general para el criterio de rangos: niveles críticos (deficiencia), de suficiencia, y tóxicos de los nutrientes vegetales.

	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	%						mg Kg ⁻¹					
Crítico	< 2.0	< 2.0	< 1.0	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 10	< 3 -5	< 50	< 10 - 20	< 0.1	< 15-20
Suficiencia	2.0 – 5.0	2.0 – 5.0	1.0 – 5.0	0.1 – 3.0	0.1 - 1.0	0.1 – 0.4	10 – 100	5.0 – 20	50 – 250	20 – 300	0.1-0.5	20-100
Toxicidad	No tóx.	No tóx.	No tóx.	No tóx.	No tóx.	No tóx.	> 100	> 20	No tóx.	> 300	> 0.5	> 400

Adaptado de Bennett (1993), citado por CORRENDY y GARCÍA (2012).

Cuadro A 4. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios en peso fresco.

Norma	Alimento	Pb	Cd	Cr
Unión Europea	Frutas y bayas pequeñas	0.20 mg/Kg	n.m	n.m
	Pulpa de frutas	0.2 ppm	0.02 ppm	n.m
Australian new Zealand Food Standard Code	Frutas	0.1ppm	n.m	n.m
Brasileña	Zumos de frutas y jarabes naturales	n.m	0.5 ppm	n.m
	Cualquier alimento	n.m	n.m	0.1 ppm
	Frutas (excepto zumos, néctares, confitadas o glaseadas)	0.5 ppm	n.m	n.m
Canadiense	Zumo de frutas, néctar de frutas, bebidas listas para servir y agua en envases cerrados distinta de agua mineral	0.2 ppm	n.m	n.m
Codex alimentarius de metales pesados	Pequeñas frutas, bayas y uva	0.2 mg/Kg	n.m	n.m
Japonesa	Patata, tomate, pepino, natsudaikai (pulpa),melocotón, fresa, uva	1 mg/Kg	n.m	n.m
Rusa	Hortalizas, patata, sandía, melón, calabaza, frutas, bayas	0.5 mg/Kg	0.03 mg/Kg	n.m
Sudafricana	Frutas y hortalizas	n.m	0.05 mg/Kg	n.m
	Frutas pequeñas y bayas	0.2 mg/Kg	n.m	n.m
Suiza	Bayas	0.5 mg/Kg	0.05 mg/Kg	n.m

Nota: El contenido máximo se aplica después de lavar las frutas o las hortalizas y separar la parte comestible.

n.m= No menciona. Adaptado de DÍAZ (2014) y de AIJN (1996), citado por CORRENDY y GARCÍA (2012).

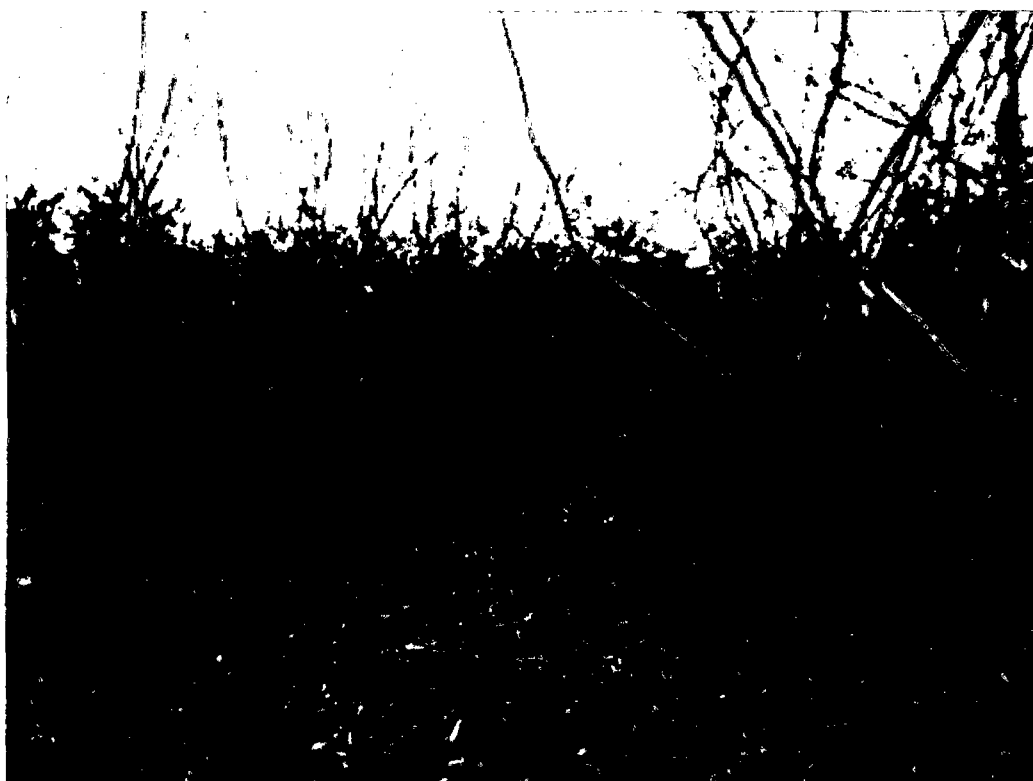


Figura A 2. Vista de la plantación de camu camu defoliada, al inicio de la investigación.

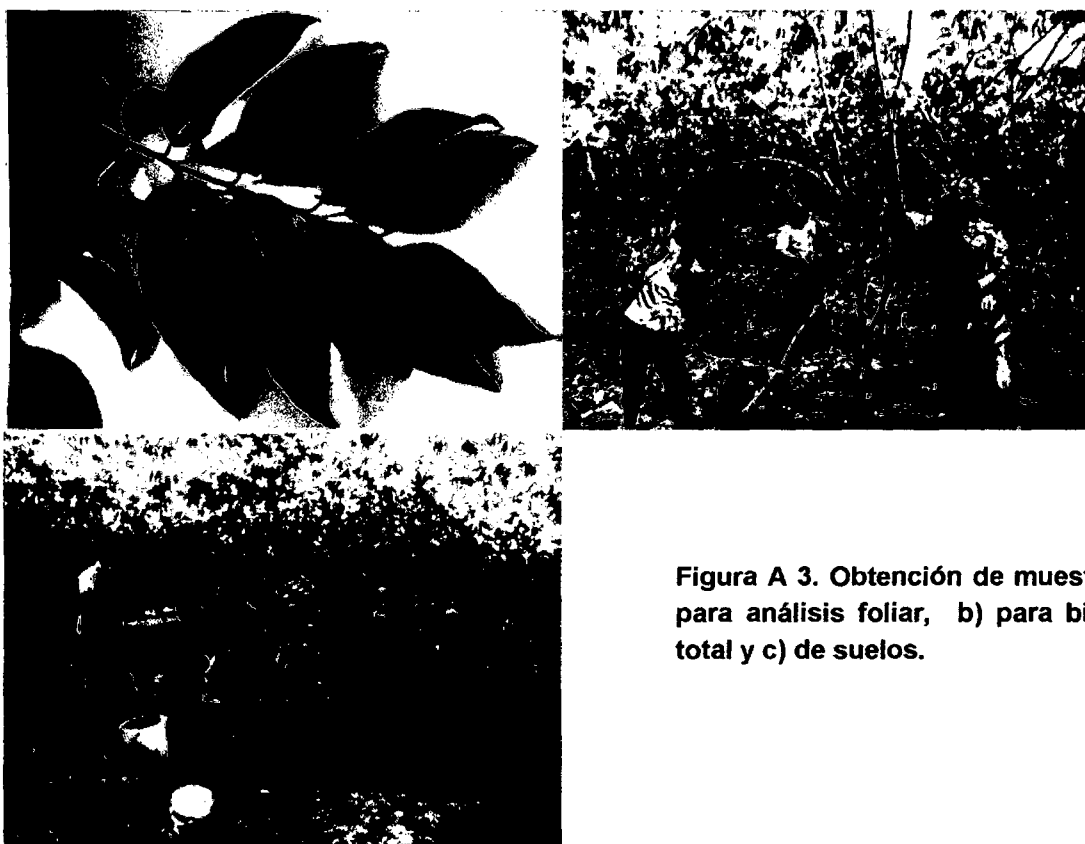


Figura A 3. Obtención de muestras. a) para análisis foliar, b) para biomasa total y c) de suelos.



Figura A 4. Planta en observación: codificada y señalizada.

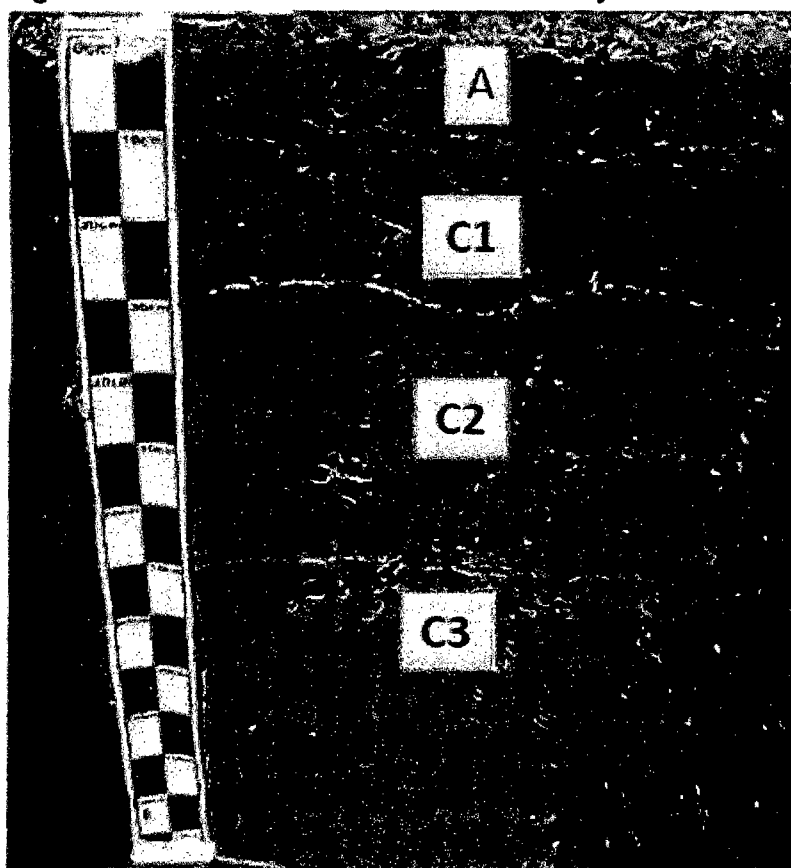


Figura A 5. Vista de la calicata S-2, que representa al suelo del área estudiada.



Figura A 6. Asesor y tesista en visita al campo experimental, durante la ejecución de la investigación.



Figura A 7. Coasesor, tesista y colaboradores en un día de colecta de datos y visita del Dr. Oscar Loli Figueroa – UNALM.