



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

USO DE LA FERTILIZACIÓN EN RAMBUTÁN
(*Nephelium lappaceum* L.) PARA MEJORAR
ASPECTOS DE LA CALIDAD DE LOS FRUTOS

MANUEL REYES MORENO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

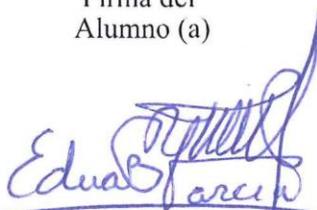
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe MANUEL REYES MORENO, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis
USO DE LA FERTILIZACIÓN EN RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.) PARA MEJORAR ASPECTOS DE LA CALIDAD DE LOS FRUTOS

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 05 de JUNIO de 2018

Firma del
Alumno (a)



DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **USO DE LA FERTILIZACIÓN EN RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.) PARA MEJORAR ASPECTOS DE LA CALIDAD DE LOS FRUTOS** realizada por el alumno: Manuel Reyes Moreno, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)


DR. EDUARDO GARCÍA VILLANUEVA

ASESOR (A)


M. C. ALFONSO MURATALLA LÚA

ASESOR (A)


DR. SERGIO CHÁVEZ FRANCO

ASESOR (A)


DR. JESÚS MAO E. AGUILAR LUNA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio del 2018.

USO DE LA FERTILIZACIÓN EN RAMBUTÁN (*Nephelium lappaceum* L.) PARA MEJORAR ASPECTOS DE LA CALIDAD DE LOS FRUTOS

Manuel Reyes Moreno, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es un frutal con potencial de crecimiento e importancia socioeconómica en la región del Soconusco, Chiapas, México; no obstante, existen problemas tecnológicos relacionados con su nutrición que impiden obtener frutos de alta calidad limitando su entrada a nuevos mercados. En árboles productivos de cinco años, se evaluó el efecto de un biofertilizante de origen orgánico aplicado al suelo en forma de drench al 15% y de un fertilizante foliar (Bayfolan®) al 0.3% sobre la calidad de los frutos producidos. Se evaluaron cuatro tratamientos: T₁: biofertilizante más Bayfolan®, T₂: biofertilizante solo, T₃: Bayfolan® solo y T₄: Testigo, en un diseño experimental completamente al azar, con cinco repeticiones y un árbol por unidad experimental. El biofertilizante más el Bayfolan® (T₁) fue mejor que el testigo pues a los siete días de cosecha produjo el menor daño en el fruto (24.0%), presentó la menor pérdida de peso (23.5%), registró la mayor firmeza (3.9 Nw), mayor contenido de sólidos solubles toales en la pulpa (19.8°Brix) y el mayor peso en fresco (32.0 g). Cuando estos fertilizantes son aplicados de manera independiente, no superan este sinergismo observado. Por otra parte, este tratamiento (T₁) presentó el menor contenido de ácido cítrico al igual que el T₃. Además, no se observaron diferencias en cuanto al color, ni en el diámetro radial y ecuatorial ni en la relación: pericarpio-arilo-semilla. El uso de fertilizantes de origen orgánico (aplicado al suelo) más el fertilizante químico vía foliar como complementos de la fertilización convencional, mejoraron las características de la calidad postcosecha del fruto, confiriéndole una mayor vida de anaquel.

Palabras claves: Biofertilizante, aplicación foliar, postcosecha, nutrición.

**EFFECT OF A BIOFERTILIZER ON QUALITY IN FRUIT OF RAMBUTAN
(*Nephelium lappaceum* L.) IN SOCONUSCO, CHIAPAS, MEXICO**

Manuel Reyes Moreno, M. Sc.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) is a potential potential for growth and socioeconomic importance in the region of Soconusco, Chiapas, Mexico; However, there are technological problems related to nutrition that prevent obtaining high quality fruits by limiting their entry into new markets. In productive trees of five years, the effect of a biofertilizer of organic origin applied to the soil in the form of a drench at 15% and a foliar fertilizer (Bayfolan®) at 0.3% on the quality of the fruits produced was evaluated. Four treatments were evaluated: T₁: biofertilizer plus Bayfolan®, T₂: only biofertilizer, T₃: only Bayfolan® and T₄: Control, in completely randomized experimental design, with five repetitions and one tree per experimental unit. The biofertilizer plus Bayfolan® (T₁) was the best fruit damage (24%), had the least weight loss (23.5%), the most firmness (3.9 Nw), the highest content of soluble solids in the pulp (19.8 °Brix) and the highest fresh weight (32.0 g). When these fertilizers are applied independently, they do not overcome this observed synergism. On the other hand, this treatment (T₁) had the lowest citric acid content, as did T₃. In addition, no differences were observed regarding color, neither in radial and equatorial diameter nor in the relation: pericarp-aril-seed. The use of fertilizers of organic origin is the chemical fertilizer via foliar as complements of the conventional fertilization, improving the characteristics of the postharvest quality of the fruit, confirming a longer shelf life.

Key words: Biofertilizer, foliar application, postharvest, nutrition.

AGRADECIMIENTOS

Antes que a nadie, gracias Dios por permitir cumplir una meta mas en mi vida profesional, agradeciendo también a mi padre Manuel Reyes de la Torre y a mi hermosa madre Gladilú Moreno Tejeda por contar siempre con el apoyo para poder culminar esta etapa en mi vida, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante en mi vida y representar la unidad familiar, a Candy, Fridz, Jesús, Viry y Juan Diego, por estar siempre ahí y apoyarnos mutuamente, a mis sobrinas Frida y Victoria por hacerme la vida muy feliz y divertida.

A mi tío el Ingeniero Exal Moreno por tener la confianza y disponibilidad de su huerta de rambután donde se realizó el presente trabajo de investigación, a mi tío Roelí Moreno por el cariño, por sus consejos y depositar en mí y en mis hermanos su confianza y ser un pilar muy importante en mi familia.

Le agradezco el apoyo, la confianza y dedicación de su tiempo a mis profesores, en especial al Dr. Eduardo García Villanueva, director de esta investigación, por el seguimiento y la orientación de la misma, También quiero agradecer a mis asesores el Dr. Sergio Chávez Franco al Dr. Jesús Mao E. Aguilar Luna y al M. C. Alfonso Muratalla Lúa por la dedicación en la revisión y el aporte científico en este trabajo.

A mis amigos quienes compartimos muchas anécdotas juntos. como clases, convivios y viajes a Uriel, Juan, Ivan, Enrrique, Joshua, Antoño, Flores, Chava, Eucarie, Aide, Fati e Irma. A cada uno de ellos muchas gracias por hacer de esta estancia muy divertida y a su vez, compartir puntos de vista en diferentes temas para crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE CUADRO DE ANEXO	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1. Objetivos	3
2.2. Hipótesis.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Antecedentes del rambután	4
3.2. Posición taxonómica	4
3.3. Origen y distribución.....	4
3.4. Características botánicas del rambután.....	5
3.4.1. Floración	5
3.4.2. Características del fruto.....	8
3.4.3. Formas de consumo y valor nutritivo del fruto	11
3.5. Condiciones agroecológicas requeridas	12
3.5.1. Clima	12
3.5.2. Luz	12
3.5.3. Temperatura y humedad relativa	13
3.5.4. Suelo	13
3.6. Establecimiento y manejo del huerto.....	15
3.6.1. Manejo de plantación.....	15
3.6.2. Riego	16
3.6.3. Poda	18
3.6.4. Fertilización	18
3.6.5. Función de los macronutrientes.....	20
3.6.6. Funciones de los micronutrientes.....	28
3.6.7. Fertilización con materia orgánica	31
3.6.8. Fertilización al suelo.....	32
3.6.9. Fertilización foliar.....	33
3.6.10. Fuentes de fertilizantes	34
3.7. Diagnóstico nutrimental del cultivo	34
3.8. Manejo de la cosecha	36
3.9. Índices de madurez para la cosecha de rambután	37
3.10. Comercialización del rambután	38
3.11. Condiciones para exportar	38

3.12. Biofertilizante liquido fermentado	40
3.13. Bayfolan® Forte	43
3.14. Mecanismo de absorción foliar.....	44
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	46
4.1. Localización del área del experimento	46
4.2. Periodo de estudio.....	46
4.3. Característica de la huerta y material biológico	46
4.4. Elaboración del biofertilizante	46
4.5. Descripción de tratamientos	47
4.6. Muestras de suelo	47
4.7. Análisis foliar en el cultivar de rambután	48
4.8. Análisis del biofertilizante	48
4.9. Cosecha y evaluación de frutos	48
4.10. Variables respuestas	49
4.10.1. Variables fisiológicas	49
4.10.2. Variables físicas	51
4.11. Diseño experimental	51
4.11.1. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales.....	51
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
5.1. Análisis del biofertilizante	52
5.2. Efecto del biofertilizante en el suelo	53
5.3. Concentración nutrimental en el tejido foliar	55
5.4. Variables fisiológicas.....	59
5.4.1. Apariencia de fruto	59
5.4.2. Color	62
5.4.3. Pérdida fisiológica de peso	65
5.4.4. Acidez titulable	68
5.4.5. Firmeza	70
5.4.6. Sólidos solubles totales (SST) o °Brix.....	71
5.5. Variables físicas.....	73
5.5.1. Diámetro radial y diámetro ecuatorial.....	73
5.5.2. Peso fresco.....	74
VI. CONCLUSIONES	78
VII. LITERATURA CITADA.....	79
VIII. ANEXOS.....	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición del fruto de rambután por cada 100 g de pulpa (arilo)...	11
Cuadro 2. Principales funciones de los micronutrientes en las plantas.	30
Cuadro 3. Niveles de suficiencia nutrimental en tejido foliar para árboles de litchi.	35
Cuadro 4. Composición química del Bayfolan® Forte.....	44
Cuadro 5. Categorías de los daños en los frutos rambután.....	49
Cuadro 6. Análisis químico del biofertilizante elaborado.	52
Cuadro 7. Características nutrimentales antes y después de la aplicación del biofertilizante.....	54
Cuadro 8. Concentración nutrimental de macronutrientes en tejido foliar, de hojas de rambután antes de la cosecha.	56
Cuadro 9. Porcentaje de superficie dañada del fruto de rambután a siete días después de su cosecha.	60
Cuadro 10. Comportamiento del índice de saturación (Chroma) y del tono (Hue) de frutos de rambután almacenados a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.....	62
Cuadro 11. Pérdida fisiológica de peso (%) en frutos de rambután durante siete días de almacenamiento a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.	65
Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en la acidez titulable (%) de ácido cítrico (AC).	68
Cuadro 13. Firmeza (Nw) en frutos de rambután durante siete días de almacenamiento a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.....	70
Cuadro 14. Sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de rambután en los diferentes tratamientos.	72
Cuadro 15. Diámetro radial y diámetro ecuatorial (mm) en frutos de rambután en los diferentes tratamientos.....	73
Cuadro 16. Peso fresco (g) en frutos de rambután.	74
Cuadro 17. Proporción pericarpio, arilo y semilla en frutos de rambután.	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas fenológicas del árbol de rambután.	5
Figura 2. Inflorescencia de rambután.	6
Figura 3. Diseño de tratamientos, es decir asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.	51
Figura 4. Desviación del óptimo porcentual (DOP) de cada tratamiento en función de los análisis de suficiencia foliar.	57
Figura 5. Oscurecimiento del pericarpio del fruto de rambután a cinco y siete días después de su cosecha, almacenados a temperatura ambiente 26 ± 2 °C. ...	61
Figura 6. Pérdida de índice de saturación (IS) en el color de los frutos en los diferentes tratamientos a siete días después de la cosecha.	63

LISTA DE CUADRO DE ANEXO

Cuadro A 1. Cálculo del requerimiento de nitrógeno (N) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.	103
Cuadro A 2. Cálculo del requerimiento de fósforo (P) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.	104
Cuadro A 3. Cálculo del requerimiento de potasio (K) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.	105

I. INTRODUCCIÓN

El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) pertenece a la familia sapindaceae, (Martin *et al.*, 1987), está ampliamente distribuido en el sureste de Asia y es cultivado en Tailandia, Malasia, Vietnam, Filipinas e India, principalmente para el consumo de fruta fresca y para procesos industriales de enlatado (Walker, 1988; Watson, 1988). Los principales países producen alrededor de 1,120,000 ton en el mundo (Anónimo, 2004); es una de las frutas más exquisitas y constituye toda una promesa para las áreas de baja altitud en los trópicos húmedos (Godoy y Reyes, 2007); en México se cultivan 883.5 ha, con una producción 9,253.5 ton, siendo Chiapas el principal productor (94.4%), específicamente en la región del Soconusco (SIAP, 2016). Se ha desarrollado este cultivo como alternativa para la transformación de diferentes agroecosistemas que se encuentran degradados debido a la actividad de roza-tumba y quema, el rambután con tan sólo 55 años de producción en México, se ha dado a conocer como un fruto atractivo para los mercados internacionales (Ramírez, 2003).

En Costa Rica, el rambután es conocido también como mamón chino (Ortíz y Cordero, 1984) a México fue introducido por la compañía bananera “United Fruit Company” esto probablemente ocurrió mediante el trasiego de germoplasma del jardín botánico “Lancetilla” de Honduras, sitio inicial de siembra, en América Central, al jardín botánico “El Naranjal” en el Pacífico Sur de Costa Rica (Vargas y Quesada, 1996). Esta especie ha alcanzado en los últimos años gran importancia en el mercado, es un cultivo importante en dicha región del Soconusco, Chiapas, México, siendo su mayor consumo en fresco (Morton, 1987).

El consumidor compra los frutos por su buena apariencia, siendo la coloración y el tamaño los factores más importantes. El arilo (porción comestible) debe constituir una alta relación en peso del fruto y se debe separar fácilmente de las semillas; el color externo del pericarpio debe ser un rojo uniforme, además de ser aromático y de textura firme (Thindall *et al.*, 1994).

Este fruto presenta muchos problemas de exportación, uno de los más importantes es su calidad, ya que cada vez el mercado de extranjero exige mejores atributos físicos como mayor tamaño, buena coloración y mayor concentración de sólidos solubles (azúcares principalmente). Un fruto de calidad se vende mejor en el mercado internacional con lo que se mejora el ingreso económico de los productores. Por lo anterior, es importante buscar alternativas que ayuden a los productores a mejorar la calidad del fruto bajo diferentes técnicas de manejo del cultivo. En la presente investigación se propone evaluar el efecto de un biofertilizante aplicado al suelo en combinación con el Bayfolan® vía foliar para obtener frutos de mejor calidad, es decir: de mayor tamaño, más dulces y con una alta relación de pulpa/semilla.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos

- ✓ Evaluar el efecto de un biofertilizante (aplicado al suelo) y del Bayfolan® Forte (fertilizante foliar) en la calidad de los frutos de rambután.
- ✓ Descubrir si la fertilización complementaria (biofertilizante y Bayfolan® Forte) mejoran los principales parámetros de calidad postcosecha en frutos de rambután.

2.2. Hipótesis

El uso de la fertilización complementaria de origen orgánico aplicada al suelo, en combinación con un fertilizante foliar comercial, incrementan el tamaño y mejoran los parámetros de calidad postcosecha de los frutos de rambután.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Antecedentes del rambután

El rambután (*Nephellium lappaceum* L.) es una angiosperma perteneciente a la familia Sapindaceae, procedente del sureste asiático, especialmente de los bosques tropicales húmedos de Malasia, Tailandia e Indonesia. Se ha establecido en Honduras desde hace más de 50 años y sus cualidades como fruta deliciosa y excelente negocio han sido muy poco explotadas. En el mercado occidental es probablemente la menos frecuente de las frutas exóticas, aunque existe un comercio de elite en los mismos circuitos que el litchi. Su aspecto exterior de maraña lo hace inconfundible, por lo que en Francia se le conoce también como “*litchi chevelu*” (litchi peludo; Román, 2002). Según PROFRUTA (2003) su demanda para exportación es grande, principalmente hacia los mercados europeos y asiáticos. Estos últimos no pueden suplir las demandas con las producciones locales actuales.

3.2. Posición taxonómica

El rambután se ubica de la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal (Whittaker, 1996).
División: Magnoliophyta (Cronquist, 1981).
Clase: Magnoliopsida (Cronquist, 1981).
Subclase: Rosidae (Cronquist, 1981).
Orden: Sapindales (Cronquist, 1981).
Familia: Sapindaceae (Cronquist, 1981).
Género: *Nephelium* (Lineo, 1761).
Especie: *N. lappaceum* L.

3.3. Origen y distribución

En el archipiélago Malayo se ha distribuido a todos los países del Asia Tropical y se encontró de manera silvestre en Palawan, Sulu y Basilan (De-León, 1987). Actualmente, se encuentra en grandes plantaciones comerciales en Filipinas, Malasia, Indonesia, Tailandia e Indochina, en América Central se introdujo a través de Hawai a los países de Honduras y Costa Rica, donde se encuentran las mejores

plantaciones del área y cubren parte de los mercados asiáticos, en los cuales tiene buena aceptación (Paz, 1999).

3.4. Características botánicas del rambután

El rambután es un árbol de tamaño mediano que alcanza de 15 a 25 m de altura, el tronco puede llegar a medir de 50 a 60 cm de diámetro, su corteza es de color gris y café-oscuro, con follaje denso y copa un tanto abierta. Son árboles siempre verdes, con hojas pinnaticompuestas que pueden llegar a medir de 7 a 30 cm de longitud. El crecimiento de este árbol es de 2 a 3 años y sus primeras flores y frutos se pueden ver a partir del tercer año, como se muestra en la Figura 1 (Fortuna y Ramos, 1983).

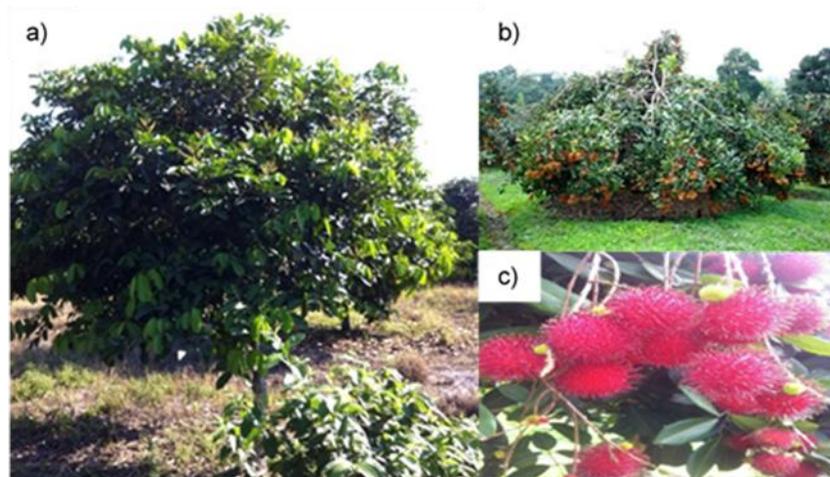


Figura 1. Etapas fenológicas del árbol de rambután.
a) etapa juvenil, b) edad productiva y c) infrutescencia.

3.4.1. Floración

Según Lim (1984), las flores son portadas inflorescencias terminales o axilares (Figura 2) están muy ramificadas, son pubescentes los tricomas son pubescentes de color ocre con muchas flores y de 15 a 20 cm de largo, las brácteas son diminutas y vellosas. Las flores son pequeñas y pueden ser hermafroditas o masculinas, el cáliz es en forma de copa con 4 a 6 lóbulos de color verde amarillento y piloso en su exterior. Hay de 5 a 8 estambres en las flores masculinas, las anteras son pequeñas y ovoides, el ovario rudimentario es pequeño y pubescente (Morton,

1987). En las flores femeninas se presentan de 5 a 6 estaminodios el estilo bilobulado y presenta estambres rudimentarios y no funcionales (Farungsang *et al.*, 1992).

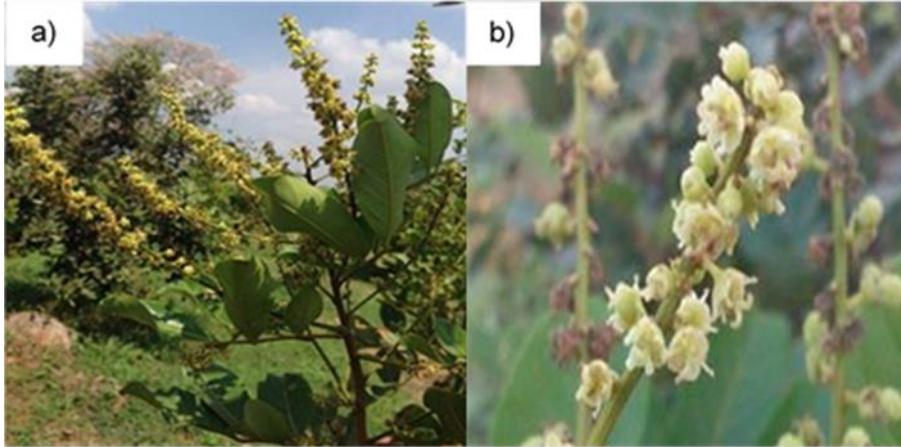


Figura 2. Inflorescencia de rambután.
a) panícula y b) flores en antesis.

Si se conoce poco sobre el proceso de desarrollo del fruto, para lo cual hace falta comprender el desarrollo de las flores femeninas en la planta ya que no todas estas originan un fruto. El primer proceso básico involucrado en la producción del fruto es la diferenciación y formación de las yemas florales que posteriormente se transformarán en inflorescencias con flores femeninas que probablemente formen un fruto, el tiempo de diferenciación de la yema floral varía con las clases de plantas frutales (Schneider y Scarborough, 1987).

En el rambután presenta flores completas y perfectas, tienen un receptáculo, cinco sépalos, cinco pétalos con cinco estambres y un gineceo bicarpelar sincárpico. La parte femenina que es el gineceo consta de tres partes: el estigma, que es la región apical bífida donde los granos de polen son captados después de su transporte (polinización) por los insectos o el viento, el estilo que es la región tubular comprendida entre el estigma y el ovario basal que encierra o contiene a los óvulos. La parte masculina de la flor es el androceo de cinco estambres, cada uno presenta un apéndice denominado filamento y una región apical llamada antera donde se producen los granos de polen (Vidal, 1984).

Las inflorescencias del rambután, se desarrollan de las yemas axilares de los nomófilos, los cuales forman un brote vegetativo corto y luego en su ápice se originará la inflorescencia ramificada hasta un segundo o tercer orden, culminando con la aparición de las flores de las yemas axilares de sus hipsófilos o bracteos. Los ejes de la inflorescencia están cubiertos por pelos cortos o tricomas finos de color cobrizo. Las flores pueden ser femeninas o hermafroditas, presentan cáliz de cinco sépalos fusionados y cinco pétalos blanquecinos libres entre sí. La flor hermafrodita se diferencia por no poseer pistilo funcional (que puede estar reducido y aunque están desarrollados sus estigmas no son funcionales), se desempeña como flor masculina consta de cinco a ocho estambres con filamentos pilosos, sus anteras producen abundantes granos de polen viable (Thindall *et al.*, 1994). La flor femenina presenta gineceo totalmente funcional y sus estambres suelen no producir polen. Un disco nectario está presente entre la corola y los estambres de todas las flores (Coronel *et al.*, 1983, Heywood, 1985).

Cabe mencionar que cada árbol de rambután puede tener de 2,000 a 4,000 inflorescencias y puede producir de 1,000 a 5,000 flores cada una, pero sólo el 0.1% de las flores producidas llegarán a formar frutos, esto dado a que la mayoría de las flores no logran cuajar o amarrar, no se polinizan y en muchos de los casos caen de los árboles por acción de los vientos fuertes (Thindall, 1994). Las flores que logran amarrar llegan a producir frutos que maduran aproximadamente entre los seis y los siete meses, esto dependiendo de las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolle la planta (Garner, 1988).

Algunos autores como (Pham *et al.* 2015), mencionaron que con base en sus características y el orden cronológico en que emergen las flores de litchi y longan se clasifican en tres tipos. Las de tipo I, aparecen primero y funcionan como masculinas porque carecen de ovario o está atrofiado con un estilo reducido, y presentan entre 4 y 12 estambres funcionales. Las flores tipo II aparecen enseguida de las tipo I en la inflorescencia; poseen un estilo bien desarrollado con dos lóculos que se bifurcan en su ápice para formar el estigma bifido, y tienen de 4 a 12 estambres rudimentarios cuyas anteras que no liberan polen; se les considera como

bisexuales, pero funcionalmente se comportan como femeninas. Las flores tipo III son las últimas en formarse y en aparecer, son consideradas flores funcionalmente masculinas (hermafroditas de tipo III) tienen pistilo prominente con un estilo que termina en el estigma bifido. Al momento en que ocurre la antesis, cerca del 20% de los óvulos contienen un saco embrionario maduro. Su ovario presenta dos lóculos con un óvulo en cada uno (Gazit y Stern, 2003).

3.4.2. Características del fruto

Ha sido considerado como una drupa redonda u ovoide de 3 a 6 cm de largo y de 3 a 4 cm de ancho (Watson, 1988); no obstante se trata de una nuez, ya que el pericarpio del rambután es seco e indehiscente y contiene una sola semilla en su interior (Reyes-Moreno, 2017). El pericarpio puede variar entre una coloración rosa a carmesí como en los cultivares 'Binjai', 'R-162' y 'R-134'; o bien en los cultivares como 'Atjeh koonig' presentan frutos de color amarillo o naranja sin embargo, las cultivares de este color aún carecen de calidad comercial (Lye *et al.*, 1987). El pericarpio presenta un grosor de 2 a 4 mm y está cubierto de protuberancias carnosas denominadas espiternos (Van-Welzen y Verheij, 1991).

La parte comestible (arilo) del fruto es color blanco translúcido con un sabor ácido-dulce y en algunas cultivares comerciales se adhiere a la semilla (Thindall *et al.*, 1994). La semilla es grande de color café brillante (Ong *et al.*, 1998). Las cultivares más conocidas son las de frutos rojos (Vargas, 2003). Los espiternos son largos y según el cultivar, pueden ser de color similar a la del pericarpio o pueden permanecer verdes, amarillentos o rojizos.

El rambután es un fruto no climatérico, es decir, que no continúa madurando una vez retirado del árbol. En consecuencia debe ser cosechado cuando ha llegado a un tamaño, calidad y apariencia visual adecuados para su comercialización y consumo (Mendoza *et al.*, 1972; Leong, 1982).

Wanichkul y Kosiyachinda (1982) reportaron que la apariencia es aceptable entre los 16 y 18 días después del cambio de color, cuando el pericarpio y los espiternos son más brillantes y el fruto posee una coloración rojo uniforme. Aunque

la pulpa puede ser aceptable fuera de ese periodo, el fruto no tiene una buena aceptación en el mercado debido a la coloración rojo pobre del pericarpio, por otra parte, el fruto demasiado maduro presenta más seca la pulpa, además de una cámara de aire entre la pulpa y el pericarpio (Kosiyachinda *et al.*, 1987).

Según Strong (1992) el mercado de exportación exige sólo frutos de la más alta calidad. Para el consumidor, los atributos que le confieren calidad a los frutos son principalmente el aspecto visual (tamaño, color, forma, firmeza), así como el aroma y el sabor (Wills *et al.*, 1981).

Aunque el rambután generalmente se cosecha con base en el color del pericarpio, el sabor también debe ser el óptimo. En los cultivares rojos no necesariamente existe una relación proporcional entre el óptimo de sólidos solubles totales (SST) y la mayor intensidad de color (Watson, 1988). Se sabe que en la medida en la que el fruto madura en el árbol, se va incrementando la cantidad de SST y va disminuyendo su acidez titulable (AT) (Lee y Leong, 1982; Wanichkul y Kosiyachinda, 1982).

En consecuencia, el fruto cosechado demasiado pronto resulta ácido y falto de azúcares, mientras que en la cosecha tardía el fruto puede ser muy suave por pérdida de la firmeza. Dependiendo del cultivar, los frutos tienen una concentración de SST y AT de 17 a 21% y de 0.7 a 5.5%, respectivamente en la madurez de cosecha (Kosiyachinda *et al.*, 1987).

Los estándares internacionales establecidos en la norma CODEX STAN (2005) para rambután, indicaron: color rojo uniforme y libre de lesiones, de daños por insectos y de enfermedades, con un peso superior a 30 g y un contenido de SST de 16 a 18% para considerar que el fruto es calidad comercial (Landrigan *et al.*, 1996).

El fruto de rambután es altamente perecedero ya que los espiternos y el pericarpio se deshidratan y oxidan rápidamente dando una apariencia indeseable (Kosiyachinda *et al.*, 1987). Los cambios que se presentan durante la senescencia

son: la deshidratación del pericarpio, la pérdida de color (oscurecimiento), el incremento en la acidez titulable y de los sólidos solubles totales (Paull y Chen, 1987; Kader, 2001).

La pérdida del color rojo de los frutos en postcosecha, se ha atribuido principalmente a la deshidratación, a la reducción de peso que es una respuesta de la pérdida de agua (Wells y Bagshaw, 1989). Esto ocurre principalmente a través de los espiternos ya que presentan de 15 a 20 haces vasculares con gran cantidad de estomas que frecuentemente están abiertos. Esta estructura “peluda” o pilosa del pericarpio facilita la pérdida de agua al presentar una gran superficie expuesta al ambiente (Landrigan *et al.*, 1994). Al mismo tiempo, el pericarpio se agrieta y se degradan las células provocando la acción de las enzimas oxidantes sobre las antocianinas (Lichter *et al.*, 2000).

El oscurecimiento del pericarpio se puede evitar si se controla la desecación y se retrasa la degradación enzimática de las antocianinas, con atmósferas controladas como una alternativa factible que permite limitar el oxígeno (O₂) que actúa como sustrato de las reacciones enzimáticas (Gil *et al.*, 2005).

La respiración es el proceso mediante el cual las reservas orgánicas (carbohidratos y grasas) son degradadas a productos finales simples con una liberación de energía. El O₂ es usado como sustrato y el bióxido de carbono (CO₂) es producido en este proceso. La pérdida de las reservas orgánicas durante la respiración significa una aceleración de la senescencia. Esta degradación o metabolización también tiene un efecto en la reducción del valor nutritivo del fruto, al perder la calidad del sabor, especialmente en lo dulce y en la acidez (Kader, 1992).

La energía metabólica liberada como calor, conocida como calor vital, afecta las consideraciones en el uso de tecnologías postcosecha, así como a las estimaciones de los requerimientos de enfriamiento y ventilación (Kader, 1992).

3.4.3. Formas de consumo y valor nutritivo del fruto

Según Fraire (2001) por el sabor dulce y en ocasiones ligeramente ácido de la pulpa, el fruto se consume en fresco o se utiliza para hacer mermeladas, dulces, aguas frescas y jarabes. En el Cuadro 1, se muestra que el agua es el mayor componente de esta pulpa, aunque también tiene proteínas, carbohidratos y vitaminas, entre otros componentes (Lam, 1990).

Cuadro 1. Composición del fruto de rambután por cada 100 g de pulpa (arilo).

Composición	Cantidad
Agua	83 g
Valor calórico	63 cal
Proteína	0.8 g
Carbohidratos	14.5 g
Calcio	25 mg
Vitamina C	20-45 mg
Hierro	3 mg
Fibra	1.1 g
Grasa	0.1 g
Valor energético	264 kJ 100 g ⁻¹

Fuente: Watson, 1984; Van-Welzen y Verheij, 1991.

La cosecha se realiza cortando de los árboles los racimos enteros utilizando tijeras largas o atadas a palos de bambú. Dependiendo del cultivar pueden ser dos veces a la semana, por un periodo de 2 a 8 semanas (Van-Welzen y Verheij, 1991). El rendimiento es variable, por ejemplo, en Tailandia existen huertos con rendimientos de 2 a 5.6 ton ha⁻¹, hasta huertos con rendimientos de 20 ton ha⁻¹ a los once años de plantación con árboles que producen hasta 170 kg cada uno. En cultivares como el R168 en el noreste de Queensland el rendimiento por árbol es de 88 kg en el sexto año. En esta labor es conveniente no dañar las ramas, hay que dejarle el pedúnculo a los frutos y hay que evitar golpearlos y exponerlos al sol (Fraire, 2001).

El principal factor que afecta la pérdida del color debida a la oxidación de las antocianinas ocasiona el deterioro del fruto dentro de los tres o cuatro días de postcosecha. Esto no afecta la calidad comestible del fruto sino que en gran medida

provoca la reducción de su valor comercial en los mercados occidentales siendo, al mismo tiempo, la causa principal de las pérdidas postcosecha (Caballero-Pérez *et al.*, 2011).

3.5. Condiciones agroecológicas requeridas

3.5.1. Clima

En Costa Rica el rambután se ha desarrollado muy bien en un clima tropical húmedo similar al de su origen. Se siembra desde nivel del mar hasta los 1,200 m, en donde las precipitaciones anuales son de 3,000 mm con una temperatura anual que va de los 26 a los 32 °C con una buena luminosidad durante todo el año pero más necesaria durante la maduración del fruto de abril a mayo (Ramírez, 2003).

La humedad relativa es importante que sea alta para evitar la deshidratación de los frutos. Una de las zonas con una mayor área sembrada en Costa Rica son los distritos de Canoas y Corredores, en donde la distribución de las lluvias muestran cuatro meses con precipitaciones menores a los 100 mm, esto contribuye a una buena floración y por consiguiente a buenas cosechas, la estación seca no debe de exceder a los tres meses (Morton, 1987).

3.5.2. Luz

Las horas luz y la calidad lumínica son muy importantes para los tejidos vegetales ya que con ello se almacena energía, se adquiere CO₂ inorgánico por medio de los estomas para ser fijado una molécula orgánica y posteriormente formar azúcares y ATP (Salisbury y Ross; 2000).

La luz afecta el desarrollo del color del pericarpio, de hecho, la síntesis de las antocianinas depende de la intensidad lumínica. Los frutos maduros de la parte interna de los árboles tienen colores menos intensos y brillantes que los ubicados en la parte exterior expuestos directamente a la luz solar (FHIA, 2006).

3.5.3. Temperatura y humedad relativa

La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo del árbol oscila entre los 26 y 32 °C, los árboles de rambután no toleran heladas pero pueden soportar períodos cortos con bajas temperaturas de hasta 4 °C (Watson, 1981). La humedad relativa debe mantenerse por encima del 70% para evitar la deshidratación de los frutos (Arias y Calvo, 2014).

El árbol de rambután prospera mejor con una humedad relativa elevada. Los cultivares R137 y Jitlee son recomendados para zonas de baja humedad relativa y vientos frecuentes porque presentan hojas más pequeñas con una mejor capacidad para el cierre de los estomas. Los cultivares R4, R7 y R99 no se desarrollan adecuadamente en estas condiciones pues los estresan demasiado (Watson, 1981).

3.5.4. Suelo

El rambután puede ser cultivado en varios tipos de suelo, se recomiendan bien drenados y con profundidad de más de 1 m, de textura media (con 30 a 35% de arcilla) que permita una buena circulación del aire y del agua (FHIA, 2006); su mejor desarrollo se presenta en suelos profundos, limosos, areno-limosos, francos con una tendencia ácida y muy ricos en materia orgánica y con un buen drenaje (Ketsa y Kleawkasetkorn, 1992). Una buena proporción de materia orgánica es importante y el pH debe de estar en el intervalo de 5.5 a 6.5. Topográficamente son adecuados los terrenos planos o ligeramente ondulados para que las labores culturales y la cosecha se faciliten. En terrenos con pendientes de un 10 a 25% se deben hacer terrazas individuales para facilitar la aplicación de enmiendas y darle un soporte adecuado al árbol (Ramírez, 2003).

3.5. Manejo en vivero con énfasis en la fertilización

Los clones de rambután propagados por los productores de Chiapas son mayoritariamente regionales (66.6%), en seguida se encuentra el cultivar Seechoompoo con 22.2% y los clones de Exmund y Mustang con 5.5% cada uno.

Se destaca que el 16.6% del total de los productores cuentan con dos clones, de los cuales todos son provenientes de los cultivares Seechoompoo y Exmund (Martínez *et al.*, 2006).

Los patrones utilizados por los productores son totalmente originarios de la región y generalmente son propios del productor, de ellos un 52.6% conoce la Norma de Producción y Movilización del Rambután (NOM-FITO-2002), mientras que el restante la desconoce por completo (Martínez *et al.*, 2006).

Es necesario obtener patrones de semilla criolla, de árboles sanos, productivos y resistentes a enfermedades del suelo (ya que no se acostumbra injertar esta especie); las semillas deben provenir de frutos completamente maduros y sanos y se seleccionan con respecto de su tamaño, peso y vigor, el patrón debe tener una edad de 12 meses o más y una altura de 90 cm para ser injertado (Ávila, 2011).

Es recomendable establecer plantaciones injertadas y no de pie franco, ya que de esta manera las plantas producirán frutos homogéneos y se tendrá uniformidad productiva en la plantación, además de reducir la etapa de juvenilidad, no obstante, esta práctica no es común en las zonas de producción (Arias y Calvo, 2014).

Uno de los injertos más utilizados y el más eficaz en el rambután es el de yema lateral. Los injertos se observan a las tres semanas si han prendido, si están verdes y sanos, entonces se procede a eliminar la cinta de amarre, en caso contrario, se injerta nuevamente. Cuando el patrón crece 10 cm se corta o se dobla por encima de la unión, para forzar el crecimiento del injerto (Ávila, 2011).

La fertilización de plantas frutales a nivel de vivero es una labor importante para el desarrollo de las futuras plantaciones, puede ser mineral u orgánica, o una bien una combinación de ambas. Los nutrimentos que en mayor cantidad extrae la planta en esta fase de vivero son: el nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio y el magnesio (Mesa, 2004).

El nitrógeno interviene directamente en el crecimiento y desarrollo de la planta, el fósforo favorece el desarrollo del sistema radical, el crecimiento y desarrollo de la planta, el potasio favorece la osmorregulación, apertura y cierre de estomas. La fertilización orgánica es benéfica cuando se aplica desde la fase de vivero y siempre que sea posible debe utilizarse materia orgánica, pues se ha demostrado un efecto positivo en el crecimiento, además hay un aporte de microorganismos al suelo, que son benéficos para las plantas durante todo su desarrollo (Mesa, 2004).

3.6. Establecimiento y manejo del huerto

3.6.1. Manejo de plantación

El rambután se debe plantar a una densidad que va desde los 7 por 7 m, hasta los 15 por 15 m, pero la más recomendable es la de 8 por 8 m. Es importante mencionar que cuando se siembra por semilla a pie franco, la producción comienza entre los 4 y 6 años, siempre y cuando el árbol resulte ser hermafrodita. Si los patrones son injertados, la producción inicia a los 2 años aproximadamente y todos los árboles serán productivos y homogéneos (Thindall *et al.*, 1994).

Para fines comerciales, es recomendable recurrir a la propagación vegetativa, los métodos más importantes son: el acodo aéreo, el acodo de aproximación y el injerto de yema de ventana abierta o cerrada, este último injerto es con el que mejores resultados se han obtenido en cuanto al prendimiento (Hiranpradit *et al.*, 1992). También es recomendable hacer un análisis de suelo para determinar la fórmula de fertilización más adecuada.

El riego es imprescindible también y se requiere de sombra durante el crecimiento y desarrollo de la planta (Thindall *et al.*, 1994). Los árboles adultos llegan a producir de 100 a 300 kg de fruta a los dos años provienen de propagación asexual; sin embargo, el período de cosecha es breve pues no se prolonga más allá de un mes (Pérez, 1994).

Las cepas deben realizarse en el campo a 0.60 x 0.60 x 0.60 m, se aconseja agregar un poco de materia orgánica mezclada con fertilizante fosfatado e incorporarlo al fondo antes de introducir la planta. Al inicio de las lluvias es la mejor época para plantar. Se deben proteger de los rayos disectos del sol durante seis meses, para lo cual se suelen utilizar hojas de palma, o bien, se emplea la asociación por corto tiempo con siembras de banano o maíz entre las hileras del rambután, las cuales deberán eliminarse antes de que el frutal empiece a producir (Martínez *et al.*, 2006).

3.6.2. Riego

El manejo apropiado del riego requiere una evaluación por parte del agricultor y sus necesidades de riego con base en medidas de varios parámetros físicos del suelo. Algunos productores utilizan equipos sofisticados mientras que otros se basan en métodos empíricos, en el sentido común o en las disponibilidad del agua (Martin, 2010).

Para determinar cuándo regar es indispensable registrar la disminución de agua en el suelo con un tensiómetro. La planta crece utilizando el agua disponible en torno a su zona radical. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comenzará a estresarse (Martin, 2010).

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua y alcanza su capacidad de campo, se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0.1 bares de tensión que es una medida de la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua. A capacidad de campo, el agua no es retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraerla. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta (Martin, 2010).

Se han planteado tres rutas en las que los nutrimentos llegan a la zona de la rizosfera: por intercepción, acceso por flujos de masas y por difusión. El agua juega un papel muy importante para llevar los nutrimentos mediante flujo de masas, en

esta ruta los nutrimentos disueltos en la solución del suelo viajan desde la matriz hasta la raíz. Es un proceso pasivo y la cantidad de iones que se acumulen en la raíz dependerá de su concentración en la solución del suelo y de la tasa de evapotranspiración de la planta (Alcántar *et al.*, 2016).

El rambután es una especie sensible a la sequía y requiere mucha agua durante todo su periodo de crecimiento. El momento más crítico es la primera estación seca después de su trasplante al campo. Por ello, en zonas con periodo de sequía prolongado, es imprescindible tener un sistema de riego. Además, el riego permite eliminar síntomas de deficiencias de potasio. Se ha observado en huertas que empezaron a utilizar riego, la floración se adelanta lo que permite anticipar la cosecha (Martínez *et al.*, 2006).

El rambután se puede establecer en campo siempre y cuando se cubran sus requerimientos de agua: 1,600 mm anuales de precipitación bien distribuidos durante el año (Martínez *et al.*, 2006).

En los huertos se recomienda realizar riego por microaspersión o por goteo para asegurar la calidad y tamaño uniforme en los frutos, evitando el anegamiento y con ello la pudrición radical (Martínez *et al.*, 2006).

El déficit hídrico en frutales tropicales provoca la inducción de la floración, controlando la época, la intensidad, la duración y su distribución (Davenport, 2000). También afecta la floración del manzano y del duraznero, debido a que estos árboles disponen de mayores reservas para la diferenciación floral y menos para el crecimiento vegetativo (Davies *et al.*, 2005).

El efecto del estrés hídrico en los frutos depende de la severidad y el tiempo al que se someta la planta, pero su carga sí afecta al tamaño del fruto (Parra-Quezada, 2008). Por otra parte, al producirse un déficit de agua en durazno, disminuye su rendimiento y se obtienen frutos de menor tamaño (Kubota y Kudo, 1992).

La técnica del déficit hídrico ha sido utilizado en muchos cultivos por ejemplo, promueve un buen rendimiento y una alta calidad de las bayas en vid, controlando el tamaño del fruto y provocando un aumento en el contenido de fenoles (Dry *et al.*, 2001). Durante el estrés hídrico en los tejidos se genera una acumulación activa de solutos como azúcares y prolina, ésta última actúa como agente osmótico protegiendo a la planta contra la desecación (Harsh, 2003).

En árboles de rambután sometidos a estrés hídrico durante una semana, se provocó la inducción de la floración y se produjo un aumento en el número de brotes. Esto sugiere que un déficit de riego controlado puede generar dos producciones de frutos al año (Rodríguez-Rodríguez, 2008).

3.6.3. Poda

La poda en rambután es una práctica muy importante y debe hacerse inmediatamente después de la cosecha, ya que se inicia con el corte del racimo de frutos maduros. Al cortar toda la infrutescencia a unos 10 a 15 cm antes del inicio de su primera ramificación, se eliminan los residuos de tejido indeseable, ya que al infectarse con hongos y otros patógenos puede producir una floración heterogénea el siguiente año. Esta poda también estimula la nueva brotación vegetativa, la cual será la base de los próximos sitios de fructificación (Mendoza *et al.*, 1972).

La poda, además de darle al árbol una estructura apropiada, se asegura una mayor calidad de los frutos cosechados (Crane *et al.*, 2005). Se ha demostrado que una poda severa de árboles viejos provoca un aumento en el tamaño del fruto, alterando satisfactoriamente su producción (Huang, 2002). De la misma manera ocurren en otras especies como en los cítricos y el mango (Vázquez *et al.*, 2009; Gil *et al.*, 2000).

3.6.4. Fertilización

Es una práctica considerada como controlable dentro de un sistema de producción, pero no existen datos específicos que permitan precisar la dosis óptima de fertilización, por lo que no se puede establecer una nutrición balanceada que

favorezca la obtención de rendimientos altos y constantes. Es necesario conocer la dinámica de crecimiento y las tendencias de extracción nutrimental del frutal, que permitan establecer programas aplicación de fertilizantes e identificar los momentos críticos de demanda (Alejo-Santiago *et al.*, 2015).

Los árboles que presentan alternancia en su producción, se atribuye a diversas causas, entre las que se encuentran el escaso conocimiento sobre la fenología floral, sobre sus plagas, sus enfermedades y sobre su demanda nutrimental. Una baja en la cosecha provoca un incremento en los costos de producción y disminuye la rentabilidad del cultivo (Osuna *et al.*, 2008).

Un desbalance nutrimental en litchi, tal como sucede en los cítricos, disminuye el rendimiento y la calidad de los frutos. En las etapas de crecimiento vegetativo, de floración y de desarrollo del fruto se utilizan grandes cantidades de carbohidratos. Se recomienda entonces, realizar un plan de nutrición adecuado, ya que después de una alta producción, se registrará un déficit de nutrientes que provoca un siguiente ciclo de cosecha baja (García y Martins, 2006).

En litchi cv. Brewster, el momento crítico de alta demanda nutrimental ocurre durante la floración, presentándose a mediados de diciembre y principios de enero en el norte de Oaxaca (Aburto-González *et al.*, 2017). Por otra parte, los árboles acumulan nutrientes en las hojas antes de la floración, presentando concentraciones altas de N, P y K y después son traslocados hacia los órganos de demanda como los frutos, por lo que se debe auxiliar al cultivo a través de aplicaciones foliares si hay una deficiencia de estos nutrientes (Maldonado-Peralta *et al.*, 2012).

Durante los dos primeros años de establecida la plantación de rambután es muy importante el manejo adecuado de la nutrición. Es recomendable ajustar una formulación, una dosis y las épocas de aplicación de acuerdo con las condiciones agroecológicas y fenológicas del cultivo para cada diferente zona productora (Arias, 2004). Para ajustar la fórmula, debe recurrirse a un análisis del suelo. La interpretación del análisis mostrará las cantidades que de cada elemento debe

agregarse de acuerdo con los requerimientos del cultivo y en función de su etapa fenológica. Además, permite conocer el pH y la acidez del suelo, de esta manera se pueden definir las enmiendas a realizar (Arias, 2004).

En el rambután conviene fertilizar cada 3 meses durante el primer año y cada 6 meses en los siguientes. Cuando el árbol esté en plena producción se debe hacer un análisis foliar para posteriormente diseñar una formulación adecuada. De manera general se puede aplicar una formulación completa por ejemplo triple 17 (N, P y K). Además, es conveniente adicionar elementos menores a través de fertilizaciones foliares para mejorar la calidad del fruto (Ramírez, 2003).

La determinación del nivel crítico de un elemento es muy importante para valorar su grado de disponibilidad para las plantas. Se realiza por medio de estudios de correlación entre los rendimientos relativos sensibles en la producción. Cuando un elemento se encuentra en niveles críticos, o valores inferiores probablemente corresponderán a producciones pobres y la probabilidad de incrementos de la producción debido a la aplicación del elemento que se encuentra en déficit es favorable para el cultivo, esto en relación con el método analítico utilizado y con la respuesta del cultivo cuando se aplica un determinado nutrimento (Cabalceta y Molina, 2006).

Aunque la composición de los suelos es variable, en general se recomienda aplicar mezclado con el suelo en la cepa, tres meses antes del trasplante, 30 kg de abono orgánico, 50 g Urea, 50 g de superfosfato triple y 50 g de sulfato de potasio, más 500 g de cal. Posteriormente, cada tres meses, durante el primer año se debe fertilizar con 100 g de N-P-K. Los años siguientes se suele fertilizar tres veces por año, aumentando la cantidad hasta llegar a 250 g por aplicación (Martínez *et al.*, 2006).

3.6.5. Función de los macronutrientes

Los macronutrientes o nutrientes primarios: nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K, respectivamente) se necesitan en grandes cantidades, y tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser

naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a su extracción por los cultivos a lo largo de los años (Flores, 2004).

El N es el nutriente principal para el desarrollo y el rendimiento del litchi (Menzel y Waite, 2005). Su deficiencia afecta el crecimiento general presentando las hojas de color verde pálido disminuyendo la tasa fotosintética (Menzel, 2002). El N junto con el P, el boro (B) y el zinc (Zn) limitan la producción de frutos. El N representa del 1 al 4% del extracto seco de la planta, es absorbido del suelo como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). En la planta se combina con otros elementos nutritivos, durante el metabolismo primario, para formar aminoácidos y proteínas (Cánovas y Díaz, 1993).

El metabolismo del N y del carbono (C) está estrechamente relacionado y existe cierta sobreposición entre sendas rutas metabólicas. Actualmente las investigaciones sobre el N se enfocan en las de las plantas al adicionar NO_3^- , particularmente en la señalización a larga distancia y en las respuestas de sus transportadores siendo un elemento fundamental de biomoléculas como nucleótidos y proteínas (Canfield *et al.*, 2010).

El N participa en el crecimiento que finalmente promoverá el incremento del tamaño de las hojas, con lo que se aumenta la fotosíntesis y con ello, la síntesis de nuevos aminoácidos; el N es un constituyente importante de las moléculas de ciertas hormonas como las citocininas y las auxinas, por lo que indirectamente estimula el aumento en el tamaño de hojas, de los tallos y de los frutos (Díaz-Montenegro, 2002).

Las formas orgánicas del N presentes en el suelo son: aminoácidos, péptidos y nucleótidos. En suelos aireados predomina el NO_3^- , mientras que en suelos inundados y ácidos es el NH_4^+ . En la rizosfera las raíces liberan O_2 y exudados que influyen en su potencial redox, así como en la densidad y en la actividad de sus poblaciones microbianas, las cuales a su vez afectan la interconversión de las formas de N disponibles. Algunas especies de plantas en suelos inundados liberan O_2 a través de los espacios intercelulares del aerénquima cortical de la raíz,

acelerando la nitrificación y absorbiendo nitratos (NO_3^-) a la misma velocidad que el amonio (NH_4^+) mediante la activación de diferentes transportadores (Yan *et al.*, 2011).

La absorción de NH_4^+ ó NO_3^- del suelo por las raíces ocasionan acidificación o alcalinización de la rizosfera respectivamente, lo que provoca cambios en la disponibilidad del N para la planta. Ante esto, las plantas han generado diferentes mecanismos fisiológicos para la absorción, el transporte y la asimilación de las diferentes formas iónicas del nitrógeno (Alcantar-Gonzalez *et al.*, 2016).

En la mayoría de las plantas parte del NO_3^- es absorbido y asimilado por las células de las raíces, pero la mayor proporción es transportada a la parte aérea donde es reducido a nitrito (NO_2^-) por la acción de la enzima nitrato reductasa en el citoplasma y posteriormente a NH_4^+ por la actividad de la nitrito reductasa en los plastidios o a glutamina en los plastidios y el citoplasma por la acción de la glutamino sintetasa. La asimilación del NH_4^+ por las rutas de la glutamina sintetasa/glutamato sintasa asegura la producción de aminoácidos y de la mayor parte de las moléculas orgánicas que contienen nitrógeno (Alcantar-Gonzalez *et al.*, 2016).

El amonio (NH_4^+) derivado del nitrato (NO_3^-) reducido o de su absorción directa del suelo por actividad de los transportadores del amonio, es asimilado en aminoácidos. La NADH-glutamato sintetasa se expresa más en raíces y cotiledones y actúa en el reciclaje de NH_4^+ proveniente del catabolismo de los aminoácidos. Otra enzima de importancia en la asimilación del N es la Fdx-glutamato sintetasa la cual predomina en las hojas y también participa en el reciclaje de NH_4^+ que se libera durante la fotorespiración (Yuan *et al.*, 2009).

Una vez que el N es absorbido (ya sea en forma de NO_3^- o NH_4^+) su metabolismo implica procesos de transporte, asimilación y movilización. Tal es el caso del grupo amino del glutamato (Glu) que puede ser transferido a otros aminoácidos por medio de la actividad de diferentes aminotransferasas. La enzima asparagina sintasa cataliza la formación de la asparagina y el glutamato a partir de glutamina y del aspartato. Además, de manera alterna la enzima NADH-glutamato

deshidrogenasa mitocondrial puede incorporar NH_4^+ en el glutamato en respuesta a altos niveles de NH_4^+ en condiciones de estrés (Masclaux-Deubrese *et al.*, 2010).

En plantas C_3 la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCO) representa el 50% del total del contenido de proteínas solubles en hojas y el 20% en plantas C_4 . En plantas C_3 la actividad oxigenasa de la RuBisCO ocasiona liberación de CO_2 y producción de NH_3^+ a partir de la fotorrespiración. El NH_3^+ también es producido por procesos catabólicos en plantas, tales como la degradación de proteínas y la desaminación de aminoácidos, en tanto que los esqueletos de C producidos por la fotosíntesis son requeridos para asimilar el N inorgánico en aminoácidos. Las hojas funcionan como fuentes de N durante la fase vegetativa, más tarde, en la senescencia, este N es movilizado para su nuevo uso en las semillas en desarrollo, principalmente en la síntesis de aminoácidos, hasta un 95% de las proteínas en las semillas deriva de los aminoácidos que son exportados después de la degradación de las proteínas en hojas (Sohlenkamp *et al.*, 2002).

El fósforo (P) juega un papel importante en la transferencia de energía, presentándose en compuestos ricos en energía como la guanina trifosfato, los cuales funcionan como eslabones comunes uniendo procesos exergónicos (intercambio de energía). La estructura del pirofosfato, con su unión de alta energía, determina la cantidad de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos como la síntesis de proteínas como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD). El P es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos. Por otra parte, el P es deficiente en la mayoría de los suelos agrícolas o dónde la fijación limita su disponibilidad (Canovas y Díaz, 1993).

Es un nutriente importante en la conformación los nucleótidos que integran los ácidos nucleicos ADN y ARN; activa las reacciones enzimáticas y en conjunto con los lípidos el P es un componente importante de las membranas celulares (Díaz-Montenegro, 2002).

Una vez absorbido por el sistema radical y transportado a corta distancia en la planta, el P se mueve hacia los órganos superiores, incluyendo las flores y los frutos. En la solución del suelo, el fósforo inorgánico (Pi) llega hacia las raíces vía difusión y posteriormente es incorporado en el simplasto a través de la rizodermis, incluyendo los pelos radicales, después de que el Pi se incorpora al simplasto radical, el ion puede tomar cinco destinos diferentes: 1) puede entrar al reservorio metabólico (citoplasma y organelos celulares), donde su principal entrada en los compuestos orgánicos ocurre vía la formación de enlaces anhidro como los grupos γ -fosfato en el ATP; 2) una pequeña fracción del Pi puede ser incorporada a rutas biosintéticas de fosfolípidos, de ADN y ARN, respectivamente; 3) otras cantidades variables se pierden vía eflujo cuando hay una alta disponibilidad, esta actividad decrece cuando hay deficiencia; 4) el influjo y su almacenaje ocurre en la vacuola con el fin de regular la homeostasis del Pi al interior de la célula y 5) finalmente, es transportado vía simplasto a las células del parénquima y posteriormente puede ser secretado hacia el xilema (apoplasto) por medio de la translocación a larga distancia a los órganos superiores (Ávila *et al.*, 2012).

El transporte en el xilema es conducido por un gradiente de presión hidrostática y por el potencial hídrico, este último entre las raíces y la parte aérea es abrupto durante el día, cuando los estomas están abiertos, el flujo de los solutos en el xilema es unidireccional. La inducción de genes para la síntesis de carboxilatos en plantas con deficiencias de P, puede ser explicada por el reciclaje del mismo P a partir de intermediarios fosforilados, esto es soportado por el incremento de sacáridos y el decremento de los intermediarios fosforilados (Morcuende *et al.*, 2007). En plantas con baja disponibilidad de P se observan cambios más restringidos, como la inducción de la síntesis de aminoácidos aromáticos. La deficiencia de P reprime la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, así como la expresión de genes implicados en la fotosíntesis. Esta deficiencia también ocasiona un nuevo arreglo de los componentes de la pared celular, y también se observa una inducción significativa en la expresión de genes implicados en la síntesis de galacto y sulfolípidos, lo que es indicativo de una sustitución de los fosfolípidos por estos nuevos lípidos sintetizados (Huang *et al.*, 2008).

La actividad de las auxinas también regula la arquitectura de la raíz en respuesta a deficiencias de P, incluyendo la estimulación de la elongación de las últimas ramificaciones radicales (Nacry *et al.*, 2005).

El K⁺ tiene diversas funciones tales como: la osmorregulación, la síntesis de almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas y el movimiento estomático participando en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica Marschner (2012). El potasio es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas, su deficiencia se manifiesta en una disminución de absorción del CO₂ atmosférico, lo que reduce la fotosíntesis, al inducir una resistencia al intercambio gaseoso en el mesófilo (Terry y Ulrich, 1973; Canovas y Díaz 1993).

En la fisiología de las plantas se requiere una concentración alta y relativamente estable del K⁺ en ciertos compartimentos celulares (como en el citosol, en el interior del núcleo, en el estroma del cloroplasto y en la matriz mitocondrial), para la activación enzimática, para la estabilización de la síntesis de proteínas, para la generación del potencial de membranas en cooperación con los flujos protónicos y para el mantenimiento de la homeostasis y del pH en el citosol (Dreyer y Uozumi, 2011).

Este elemento regula el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, a las heladas y a la salinidad, ya que estabiliza diversas estructuras y las mantiene en condiciones óptimas para las reacciones enzimáticas. El potasio también promueve una eficiente translocación de fotosintatos desde las hojas; ésta disminuye cuando se acumulan en la hoja, por lo que, su rápida exportación unidos al K⁺, podría ser importante para mantener una alta tasa de fotosíntesis neta en la hoja. Las plantas bien provistas con K⁺ son más tolerantes al daño causado por plagas y patógenos (Dreyer y Uozumi, 2011).

El K⁺ en el suelo se clasifica generalmente en cuatro formas: 1) el estructural (potasio de reserva), 2) el fijado, 3) el intercambiable y 4) el presente en la solución del suelo. La forma intercambiable, es la disponible en el suelo, en la que las plantas

lo pueden absorber fácilmente, esta fracción de K^+ está absorbida en la superficie de las partículas de arcilla y de la materia orgánica, se encuentra en equilibrio con la solución del suelo y se desplaza rápidamente. Cuando las plantas lo absorben está disuelto en la solución del suelo, sin embargo, las cantidades presentes son muy pequeñas y su concentración se repone inmediatamente por el K^+ intercambiable (Aguado-Lara *et al.*, 2002).

El potasio es esencial para el desarrollo de las plantas y es el catión más abundante en las células vegetales, puede alcanzar hasta el 10% del peso de la biomasa seca (Véry y Sentenac, 2003). Las plantas poseen una amplia variedad de sistemas para la adquisición de K^+ ya que existe un gran espectro de concentraciones externas a las cuales puede ser absorbido (desde 0.1 a 10 mM) (Hawkesford y Miller, 2004). La extracción de K^+ del suelo y su distribución dentro de la planta requiere la presencia de proteínas de transporte localizadas en la plasmalema, las cuales pueden intervenir en su influjo y su compartimentalización (Dreyer y Uozumi, 2011).

El potasio es altamente móvil en la planta y muestra reciclaje entre las raíces y los tallos en el xilema y el floema. Este fenómeno es evidente en el cotransporte del K^+ con el NO_3^- hacia el tallo y su subsecuente movilización hacia las raíces con el malato cuando las plantas son abastecidas con NO_3^- . También es observado en su cotransporte con los aminoácidos en el xilema (Jeschke *et al.*, 1985). La recirculación del K^+ constituye un abastecimiento importante para las raíces, particularmente en plantas que crecen con abastecimiento de N en forma de NO_3^- . La alta permeabilidad relativa de las células vegetales al K^+ , confiere a este ion la capacidad de imponer modificaciones en el diferencial del potencial eléctrico de membrana, establecido y mantenido primeramente por la enzima H^+ -ATPasa. Este efecto es evidente cuando los cambios en la concentración externa de K^+ ocasionan hiperpolarización permanente (en respuesta a decrementos de su concentración) o despolarización (debida a incrementos) del diferencial en el potencial eléctrico de la membrana (Alemán *et al.*, 2011).

Se conocen 50 sistemas enzimáticos diferentes que son activados en mayor o menor grado de especificidad por el K^+ (Epstein, 1992). Actúa como factor asociado a las enzimas cinasas y oxidoreductasas que involucran al ATP o bien, al NAD o NADP como coenzima. La actividad de la piruvato cinasa en raíces normales de chícharo, es cerca de tres veces mayor que la actividad que en aquellas raíces deficientes de K^+ . Además, favorece la liberación de las proteínas sintetizadas en los ribosomas y facilita la unión del RNAm con el ribosoma (Evans y Sorger, 1996).

El calcio (Ca^{2+}), es necesario para la construcción de las paredes celulares y para el mantenimiento de las membranas y sirve como un mensajero intracelular en el citosol y como un contra catión para los ácidos orgánicos (White y Broadley, 2003). El Ca^{2+} participa en el equilibrio electrostático de la célula, debido a la alta cantidad en que normalmente se encuentra en las vacuolas, donde contribuye al balance iónico (Marschner, 2002).

El ion bivalente de calcio (Ca^{2+}) tiende a formar compuestos quelatados. El incremento en la elasticidad de las paredes celulares se ve favorecido por el Ca^{2+} , y es debido a que éste forma un complejo quelatado muy estable unido a los pectatos de la lámina media (Marschner, 2002).

Se conocen muy pocas enzimas que sean activadas por el Ca^{2+} , además puede ser reemplazado en su acción por otros cationes divalentes principalmente por Mg^{2+} y Mn^{2+} . El Ca^{2+} ha traído un gran interés por su función como segundo mensajero en la conducción de señales, entre los factores ambientales y el crecimiento y desarrollo de la planta (Cheval *et al.*, 2013).

El calcio participa en la formación de las paredes celulares contribuyendo a las propiedades mecánicas de los tejidos y es el elemento factor nutricional más estudiado en relación con las características de firmeza de los frutos (Huang *et al.*, 2005).

El transporte de calcio absorbido por la raíz y transportado a los órganos aéreos es casi exclusivamente vía el apoplasto (xilema), impulsado por la transpiración (Bangerth, 1979; White y Broadley, 2003).

El calcio juega un papel importante en la calidad de los frutos, concentraciones bajas en ellos puede provocar agrietamiento del pericarpio, por lo que es necesario hacer aplicaciones directas de calcio en los frutos para prevenirlo (Saure, 2005).

3.6.6. Funciones de los micronutrientes

Los micronutrientes, aunque se requieran en menor cantidad por las plantas, son fundamentales en su metabolismo, le confieren calidad a los frutos mejorando los rendimientos, forman parte constitutiva de las enzimas, o bien funcionan como activadores enzimáticos, que pueden ser parcialmente reemplazados en su función por otros iones (Gross y Domínguez, 1992).

Las concentraciones más bajas de los micronutrientes se reflejan en su función como constituyentes de los grupos proteicos en las metaloproteínas y como activadores de reacciones enzimáticas; su presencia en grupos prostéticos permite que éstos catalicen procesos redox por transferencia de electrones (principalmente los elementos de transición Fe, Mn, Cu y Mo). Los micronutrientes también forman complejos enzimáticos ligando una enzima con un sustrato (Fe y Zn) (Kirkby y Römheld).

El Hierro (Fe) es absorbido por la planta como Fe^{3+} ó Fe^{2+} , pero también puede ser absorbido como quelato, como moléculas transportadoras de Fe han sido identificadas: los ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y flavinas, su función se basa en el cambio de valencia de este elemento, por lo que está capacitado para ganar y entregar electrones en reacciones redox (Alcantar *et al.*, 2016).

El Mn se puede presentar en las plantas en diversos estados de oxidación, pero la forma predominante es como Mn^{2+} . Su mecanismo de acción es similar a

las reacciones de fosforilación estableciendo un enlace entre el pirofosfato, el sustrato y la enzima (Alcantar *et al.*, 2016).

Para Flores (2004) el manganeso, parece ser necesario para que la planta realice la síntesis de la clorofila. Su acción parece ser de orden catalítica, estando en relación con procesos redox, actividad respiratoria, ejerciendo una influencia en el transporte y la utilización del hierro en la planta. Ya que es constituyentes de algunas enzimas como: sintetasas, ATP-asas, cinasas, deshidrogenasas, oxidadas, y activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración, cataliza la liberación de oxígeno en la fotólisis (Alcantar *et al.*, 2016).

La deficiencia ligera de manganeso se manifiesta semejante a la carencia leve de zinc origina manchas verdes a lo largo de los haces vasculares principales de la hoja y zonas cloróticas más pequeñas entre los haces vasculares secundarios, aunque las zonas de color más claro no amarillean cómo ocurre en las carencias de zinc. Cuando existe carencia aguda de manganeso se observa una reducción de desarrollo, ni causa la muerte de brotes y ramas, solo provoca en el árbol un aspecto débil y ralo (Canovas y Díaz, 1993).

El cobre (Cu) es absorbido por las plantas en cantidades muy pequeñas, en la célula se encuentra principalmente en forma divalente ya que es muy inestable como ion monovalente, su principal función en los vegetales es asociado con enzimas de la clase oxidoreductasa, en la oxidación terminal de la célula con Cu^{2+} (metaloproteínas) son las que reaccionan directamente con el oxígeno molecular (Marschener, 2002)

El molibdeno (Mo) es absorbido por la planta en forma de ion molibdato (MoO_4^{2-}) en su máximo estado de oxidación, a diferencia de otros nutrimentos, el Mo puede ser absorbido en cantidades altas, sin que se presenten síntomas de toxicidad, en las plantas superiores solamente se han reportado pocas enzimas que contienen Mo como cofactor, en esas enzimas tiene como funciones estructurales como catálicas y también participa en reacciones de óxido reducción (Alcantar, *et al.*, 2016).

Las principales funciones del Mo se encuentran estrechamente con la asimilación del N, por lo que el requerimiento de este micronutriente depende del abastecimiento del N en las plantas (Marschener, 2002). En el Cuadro 2 se muestra un resumen de las funciones principales también en que enzimas intervienen y procesos que realizan los micronutrientes.

Cuadro 2. Principales funciones de los micronutrientes en las plantas.

Elemento	Función	Enzimas	Procesos
Fe, Mn, Cu, Ni	Constituyente de enzimas (metalproteínas).	Reductasas, cinasas, oxidasas, ureasas.	Fotosíntesis, absorción iónica, metabolismo de N.
Mn, Zn	Activación de enzimas.	Enolasas, anhidrasas.	Respiración, síntesis de proteínas
Fe, Cu, Mn, (Cl)	Involucrado en el transporte de electrones en la fotosíntesis.	Reductasas, oxidasas, cinasas, fotolisis del agua.	Fotosíntesis, respiración, fotolisis del agua.
Mn, Zn, Mo	Involucrado en la tolerancia al estrés.	Sintetasas, carboxilasas, reductasas.	Síntesis de proteínas, respiración, reducción del nitrato.
Cu, Mn, Zn, B	Involucrado en el crecimiento reproductivo (inducción al floración, polinización, Establecimiento de fruto).	Polifenoloxidasas, ATP-asas, ribonucleasas, Sinteasas.	Metabolismos de compuestos secundarios, absorción iónica, síntesis de lignina y celulosa.
B, Zn	Constituyente de paredes celulares y membrana.	ATPasa, anhidrasas.	Transporte de carbohidratos, respiración.

Fuente: Kirkby y Römheld.

Se conoce también que varios micronutrientes como el Mn, Zn y Cu, están presentes en las isoenzimas superóxido dismutasa (SD), las cuales actúan como sistemas de barrido para neutralizar radicales de oxígeno tóxicos, protegiendo las biomembranas, el ADN, la clorofila y las proteínas. Para los no metales como B y Cl no existen enzimas u otros compuestos orgánicos esenciales bien definidos que

contengan como componentes estructurales de su molécula, sin embargo, se sabe que el B es un constituyente esencial de las paredes celulares (Kirkby y Römheld).

3.6.7. Fertilización con materia orgánica

Cruz (2009) mencionó que la aplicación de abonos orgánicos ofrece beneficios para las plantas, almacenan los nutrientes necesarios para su desarrollo como es el caso de nitratos, los fosfatos, los sulfatos, entre otros, y ayudan a aumentar la capacidad de cationes en proporciones de 5 a 10 veces más que las arcillas; también amortiguan los cambios rápidos de acidez, alcalinidad, salinidad del suelo y contra la acción de pesticidas y metales tóxicos pesados, proporcionan “alimento” a los organismos benéficos como lombriz de tierra y las bacterias fijadoras de nitrógeno.

La agricultura orgánica es un sistema de producción integral que utiliza insumos naturales, promueve la conservación de suelo, control natural de plagas, entre otras prácticas, manteniendo un alto reciclaje de los materiales empleados, sin presentar residualidad tóxica en los productos obtenidos (Garza, 2010). Los fundamentos de la agricultura orgánica se basan en el uso de procedimientos que reutilicen al máximo los desechos orgánicos, para aplicarlos en el requerimiento de fertilización de los suelos. Además de reducir el uso de fertilizantes químicos y abonos inorgánicos, sustituyéndolos por los orgánicos. Tiene cuatro principios básicos: atención, ecología, equidad y atención (Alarcón-Cedeño, 2015).

Se puede aplicar a cada árbol de 2 a 4 kg de composta ó 1 a 2 kg de gallinaza mineralizada ó 3 a 5 kg de estiércol de ganado previamente composteado, agregando a cualquiera de estos materiales 5 onzas por árbol de roca fosfórica, con el fin de evitar el daño a raíces jóvenes de las plantas, es preferible mezclar la fuente de materia orgánica con suelo superficial del sitio en una proporción de dos partes de suelo por una parte de materia orgánica (Martínez, *et al.*, 2006).

Los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados por los cultivos, el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos con NO_3^- ,

eutroficación, lluvia ácida y calentamiento global. Una alternativa para frenar esto es el uso de biofertilizantes, preparados con microorganismos aplicados al suelo y/o planta, con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Armenta-Borjoquez *et al.*, 2010).

3.6.8. Fertilización al suelo

Molina (2013) mencionó que los suelos ácidos y de baja fertilidad requieren de un tratamiento de enmiendas para mejorar su fertilidad. Según Pathak y Mitra, (2010) el requerimiento de potasio por este cultivo es mayor que lo que requiere de nitrógeno y fósforo, uno de los efectos que se han observado cuando se aplica K en otoño, es la reducción de crecimiento vegetativo e incremento de floración. Se ha demostrado en Malasia, que una plantación de rambután, de una superficie de 1 ha produciendo 6,720 kg de frutas por año, extraía del suelo 13.4 kg de N, 1.80 kg de P, 10.2 kg de K, 4.84 kg de Ca y 2.47 kg de Mg. Estas cifras indican que, como en la mayoría de los frutales, el rambután extrae una gran cantidad de nitrógeno y potasio del suelo. En consecuencia, la fertilización no es solamente importante para asegurar un buen crecimiento vegetativo sino también para incrementar la producción (Martínez, *et al.*, 2006).

Además se demostró que la fertilización permitía producir frutas de tamaño más grande y más jugoso. En la ausencia de análisis específico de suelo y foliar, se pueden hacer solamente recomendaciones generales de fertilización para el cultivo de rambután basadas en sus requerimientos (Martínez *et al.*, 2006).

Con el fin de asegurarse que el fertilizante quede en contacto con el suelo, debe limpiarse debajo de la copa del árbol. El fertilizante se aplica en banda circular de 5 a 10 cm de ancho, alrededor del tronco, a la mitad de la distancia entre la parte terminal de las ramas bajas y el tronco. Para evitar pérdidas por lixiviación y volatilización, se recomienda cubrirlo con hojarasca o residuos de materia orgánica. En terrenos de ladera y donde no se ha construido terrazas individuales, se aconseja aplicar el fertilizante en media luna en el lado de arriba e incorporarlo,

haciendo pequeños agujeros de 3 a 5 cm de profundidad para que no sea lavado por las aguas de precipitaciones o de escurrimiento (Martínez *et al.*, 2006).

3.6.9. Fertilización foliar

Autores como Rosen y Eliason (2005) mencionaron que la fertilización foliar para frutales debe de ser un complemento al suministro de la fertilización al suelo, la principal absorción de nutrimentos minerales es a través de las raíces, nutrimentos aplicados a las hojas pueden ser absorbidas y utilizadas por la planta, sin embargo, para N, P y K⁺ la cantidad absorbida en cualquier momento es pequeño en relación con los niveles requeridos por el crecimiento de la planta.

La aplicación foliar de estos tres nutrimentos no se puede esperar que proporcione la cantidad total requerida para producción. Un momento apropiado para considerar la fertilización foliar sería cuando existe una deficiencia de un nutrimento y es evidente como se indica en el análisis de tejido o síntomas visuales. En estas situaciones, la fertilización foliar proporciona los medios más rápidos para corregir el problema. Ciertas condiciones del suelo, tales como pH extremo, exceso de humedad o temperaturas frías, pueden hacer que uno o varios nutrimentos no estén disponibles en la raíz de la planta. Si estas condiciones existen, el problema puede ser corregido por aplicaciones foliares (Rosen y Eliason, 2005).

Maldonado-Peralta *et al.* (2012) concluyó que al aumentar el contenido de N foliar hay incrementos en el peso de brotes nuevos y en área foliar, dicha relación indica que por cada decimo de porcentaje de incremento de N en la hoja hay un incremento de 4.55 kg por árbol de peso de materia seca.

Se recomienda complementar los programas de fertilización al suelo con aplicaciones foliares de boro y zinc, en forma general, ambos micronutrimentos contribuyen a obtener una mejor floración y desarrollo de los frutos, así como un crecimiento normal en los entrenudos de las ramas. Para incrementar la absorción de estos micronutrimentos, se debe agregar a la mezcla nitrógeno y potasio. La aplicación de fertilización foliar se realiza cada año a partir del primer año de producción (Martínez *et al.*, 2006).

3.6.10. Fuentes de fertilizantes

Según Flores (2004) en el mercado de fertilizantes es posible encontrar una gran diversidad de fuentes de posible utilización en frutales. Un concepto que podría utilizarse a la hora de definir un fertilizante para frutal, es contemplar la relación Fósforo (P) Nitrógeno (N) y Potasio (K^+). De este modo, si la fertilización se realiza con un criterio de reposición, la aplicación de una dosis apropiada podría restituir de manera equivalente la extracción realizada para estos nutrimentos.

3.7. Diagnóstico nutrimental del cultivo

Los árboles, para su adecuado crecimiento, su buen desarrollo, producción y una buena calidad en fruto, requieren de un suministro continuo, bien ajustado, de nutrimentos minerales esenciales; si cualquiera de estos nutrimentos se encuentra en cantidades limitadas, el comportamiento del cultivo disminuye y finalmente, resulta en desórdenes nutrimentales, es decir, las carencias de nutrimentos minerales se manifiestan en términos de reducción del rendimiento o de mala calidad del órgano de interés (Aldama, 2011).

Los análisis pueden ser utilizados para monitorear los problemas de exceso o deficiencia de los nutrimentos en el árbol, pero muchos agricultores no pueden pagar el costo de los análisis. Sin embargo, las muestras servirán para generar una guía sobre el manejo de la nutrición en las diferentes áreas (Menzel, 2002., Li *et al.*, 2001., Kotur y Singh, 1993).

El análisis de suelo puede ser utilizado para evaluar el estado nutrimental de los árboles frutales; se puede garantizar que un sitio en particular no está fuera del intervalo de la fertilidad adecuado si se consideran niveles adecuados para ese cultivo. Con los análisis del suelo se pueden corregir o evitar problemas como la acidez, salinidad e interacciones de nutrimentos y toxicidad, que no están directamente relacionados con la composición de la planta, el análisis del suelo se puede complementar de manera integral con el análisis de tejido foliar (Menzel y McConchie, 2000; Menzel *et al.*, 1992). En Cuadro 3 se muestran los índices de

suficiencia nutrimental en tejido foliar para árboles de litchi (*Litchi chinensis* Soon.), considerando que este cultivo presenta características similares que en rambután.

Cuadro 3. Niveles de suficiencia nutrimental en tejido foliar para árboles de litchi.

	Cull, 1977	Anon, 1983
N (g kg⁻¹)	13.0-14.0	13.0-14.0
P (g kg⁻¹)	0.8-1.0	1.7-2.0
K (g kg⁻¹)	10.0	8.0-12.0
Ca (g kg⁻¹)	15.0-25.0	5.6
Mg (g kg⁻¹)	4.0-7.0	2.1
Cl (g kg⁻¹)	NR	<2.5
Na (µg g⁻¹)	NR	<200
Mn (µg g⁻¹)	50-200	30-500
Fe (µg g⁻¹)	50-200	50-200
Zn (µg g⁻¹)	15	30-150
B (µg g⁻¹)	27-75	50-100
Cu (µg g⁻¹)	10	5-15

Los horticultores en Australia desarrollaron estándares nutrimentales en la hoja de litchi. Estos se basaron de estudios en huertos de alto rendimiento en el sur de Queensland, pero tienen aplicación en otros lugares. El tiempo recomendado para el muestreo es una a dos semanas después de la emergencia de la inflorescencia (mayo a agosto en Australia), dependiendo del cultivar y la temporada (Menzel *et al.*, 1992). Se han desarrollado también estándares en otros países, el período equivalente en México es de diciembre a febrero.

La muestra de suelo se debe tomar anualmente a una profundidad de 15 cm, esta se debe tomar a la mitad de la distancia existente entre el tronco y la línea de goteo de la copa. Las muestras se deben tomar considerando el huerto, según el tipo de suelo y el cultivar (Menzel, 2002). Los resultados deben ser apoyados por un registro de color de las hojas, el vigor del árbol y el rendimiento, para que la aplicación de los fertilizantes se pueda ajustar en la próxima cosecha. El programa de fertilización final depende del tamaño del árbol, la carga del cultivo, cultivares, tipo de suelo y estos pueden variar considerablemente entre las diferentes regiones y el año de producción (Menzel, 2002).

3.8. Manejo de la cosecha

En la región del Soconusco se han observado tres tipos de fructificación: precoz, normal y tardía. La cosecha precoz inicia a principios de mayo y termina a fines de junio; la cosecha normal es de finales de julio a finales de agosto, y la tardía se inicia a principios de agosto y termina a fines de octubre. Los árboles adultos de 5 años llegan a producir de 100 a 300 kg de frutos (Pérez y Pohlan, 2004).

Para llevar a cabo la recolección de los frutos existen varios tipos de ganchos, cuchillas y tijeras podadoras, las cuales se atan a varas largas de bambú o a tubos de aluminio. A estos instrumentos se les debe acoplar una red para evitar que el fruto caiga. El corte del fruto se puede hacer por racimo o de manera individual, siempre y cuando se conserve el pedúnculo para evitar que la pericarpio se dañe después de la cosecha, los frutos dañados se tornan rápidamente a un color oscuro del pericarpio. Para conservar el color del pericarpio y la calidad gustativa de la pulpa se requieren dos condiciones de almacén: un ambiente húmedo y la conservación de temperatura entre 5 y 10 °C (Pérez y Pohlan, 2004).

Como resultado de un estudio de mercado, en México, se supo que el rambután empieza a conocerse cada vez más en el país y que el fruto es sumamente apreciado por todos aquellos que lo han consumido. Es por ello que los productores de pequeña escala, los ejidatarios y muchos empresarios agropecuarios están interesados en lograr altas producciones de rambután para comercializarlo primero en México y posteriormente, exportarlo a mercados extranjeros, donde le reconoce una fuerte demanda potencial (Pérez y Pohlan, 2004).

La floración del rambután no se presenta al mismo tiempo en el árbol y por lo tanto, la cosecha se realiza en forma escalonada, en huertos de 200 a 300 árboles, la cosecha se realiza tres veces por semana durante el periodo más productivo (Martínez *et al.*, 2006).

Esta práctica debe realizarse en las primeras horas de la mañana o en las horas frescas de la tarde, cuando la temperatura es fresca, es muy importante evitar exponer las frutas al sol, en caso de usar bolsas de plástico para bajar las frutas, es importante no dejarlas mucho tiempo en ellas para evitar su calentamiento. No se deben sobrellenar ni realizar presión buscando abultar las frutas en las bolsas, ya que se dañan los espinaretes o espiternos, lo que acelera la pérdida de agua y disminuye la calidad (apariencia). Posteriormente, los racimos deben ser colocados en canastas plásticas y llevados a la empacadora para su preparación y tratamiento (Martínez *et al.*, 2006).

Durante esta labor, no se deben dañar los escapos; si los frutos se separan, se debe conservar el pedúnculo, hay que evitar golpearlos, finalmente se deben separar según el grado de madurez y eliminando los frutos dañados o deformes. Los frutos de rambután son altamente perecederos, lo que hace difícil su comercialización después de tres días después de la cosecha (Martínez *et al.*, 2006).

3.9. Índices de madurez para la cosecha de rambután

El fruto de rambután tiene que ser cosechado en madurez fisiológica, es decir cuando el pericarpio presente un rojo uniforme (Van-Welzen y Verheij, 1991). El rambután es un fruto no climatérico, es decir, no continúa madurando después de que se ha cosechado, razón por la cual, debe cosecharse cuando ha alcanzado las condiciones óptimas de calidad comestible y apariencia visual. No obstante muchos productores cosechan las frutas en un estado inmaduro para obtener los precios más altos, por no tener las condiciones apropiadas de almacenamiento o por la influencia de los compradores (Martínez *et al.*, 2006).

Un parámetro importante y que puede ayudar a definir el estado de madurez del fruto es el conteo del número de días después de la floración. Por ejemplo, en países como Tailandia, la cosecha se realiza entre los 90 y 120 días después de la floración; en Indonesia, se cosecha entre los 90 y 100 días y en Malasia entre los 100 y 130 días, sin embargo el comportamiento de cada cultivar es determinante;

su color constituye la guía principal, sobre todo cuando se tienen diferentes cultivares en la misma finca. Normalmente los frutos tienen una aceptable apariencia para el mercado entre los 16 y los 28 días después del inicio del cambio de color (de verde al color definitivo de madurez de la variedad al nivel de la cáscara y los espinaretes (Martínez *et al.*, 2006).

La madurez poco uniforme de la fruta, en un árbol o en un racimo, constituye un problema al momento de la cosecha porque obliga al productor a realizar varias cosechas, alargando el tiempo e incrementando los costos de producción, sin embargo, es bueno considerar que varias cosechas permiten una mejor distribución de la oferta, evitando tener un exceso de fruta en el pico de producción (Martínez *et al.*, 2006).

3.10. Comercialización del rambután

Los propios productores se pueden constituir en comercializadoras eliminando puntos o los agentes intermediarios, el desarrollo de una campaña promocional del producto debe considerarse por los propios productores y sólo es posible con su organización tanto al interior como al exterior del país (Martínez *et al.*, 2006).

3.11. Condiciones para exportar

Arias y Melvin (2004) mencionaron que la producción se debe manejar con el objetivo de obtener mejores precios en mercados exigentes; para ello se debe cambiar las formas de cosecha y manejo postcosecha de la fruta, incrementando su vida de anaquel, un aspecto muy importante en la comercialización.

Saborío (2010), mencionó que las principales características de calidad a tomar en cuenta para exportación son: Tamaño (peso mayor de 30 g), color (rojo intenso uniforme), firmeza y color de la pulpa, acidez (4 a 18%), pH (4.0 y 4.5), facilidad de desprendimiento de la pulpa en la semilla, tamaño de semilla (menor tamaño, mayor presencia de pulpa) la dulzura que está relacionada con el contenido de azúcares (el promedio es 10% sucrosa + 3% fructosa + 3% glucosa = 16% total).

El transporte se realiza en cajas de cartón o plásticas de acuerdo con los requerimientos del comprador, estas son generalmente de 1 lb (454 g) en caja plástica y de 2 hasta 4 lbs en cajas de cartón. El fruto va con parte del pecíolo que es cortado con tijera en campo y luego recortado dejándolos unos 6 mm a cada fruto para evitar deshidratación prematura y protección de enfermedades postcosecha. Generalmente el fruto es limpiado con cepillos o pinceles, luego es lavado y secado para ser empacado. Las cajas son trasladadas en vehículos con refrigeración hasta el aeropuerto; los frutos destinados al mercado internacional son empacados en cajas de cartón, conformadas por un fondo y una tapa, la caja integrada mide 34 cm de largo por 30 cm de ancho y 8.6 cm de espesor, con una capacidad neta de 3 kg de frutos por caja (Pérez y Pohlan 2002).

Pérez y Pohlan (2002) mencionaron que el empaque se realiza de la siguiente forma:

a) se coloca en el fondo de la caja una tira de papel china color blanco de 30 cm de ancho por 70 cm de largo, de tal manera que los extremos de la tira de papel salgan a ambos lados de la caja.

b) inmediatamente se colocan en forma alineada los frutos, con una previa inspección ocular para evitar algún tipo de materiales físicos contaminantes, frutos dañados y deteriorados.

c) una vez llena la caja se coloca encima de los frutos otra tira de papel de 34 x 30 cm, sobre esta se coloca un segundo nivel de frutos, de la misma forma que el primer nivel.

d) cuando se ha concluido con las dos capas de frutos, se tapa la caja con los extremos de la tira de papel sobrantes y posteriormente se tapa con la tapa de la caja.

3.12. Biofertilizante líquido fermentado

Se denomina como biofertilizante líquido fermentado al producto que se origina a partir de la fermentación de materiales orgánicos como estiércol, plantas verdes y frutos. Comúnmente se llaman biofermentos y en algunos lugares se les conoce con el nombre de “bioles” o “biofertilizantes”. Popularmente se cree que los mismos contienen sustancias que favorecen el crecimiento vegetal a la vez que contribuyen a mejorar la vida microbiana del suelo (Restrepo, 2001).

Los biofertilizantes líquidos fermentados, en su mayoría, son fabricados a partir de estiércol, melaza, microorganismos y agua, para después ser sometidos a un proceso de fermentación antes de aplicarlos, vía foliar o al suelo, en los cultivos (Uribe *et al.*, 2004).

Los agricultores que han incorporado las prácticas de la agricultura orgánica en sus parcelas, favorecen los procesos naturales y de las interacciones biológicas del suelo, reducen considerablemente el uso de recursos externos y aumentan la eficiencia de los recursos básicos disponibles (Restrepo, 2001). Eghball *et al.* (2004) mencionaron que los biofertilizantes (fermentados líquidos) al aplicarse al suelo tienen importantes beneficios entre los que destacan, el aumento en el contenido nutrimental del suelo, mejora la capacidad para retener agua, así mismo favorece condiciones físicas para el desarrollo de las raíces.

Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y eficientes (Fregoso *et al.*, 2001). Una alternativa que emplea la agricultura ecológica es el uso de biofertilizantes, lo cual en los sistemas productivos es una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sustentable, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Elein *et al.*, 2005).

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos (Acuña, 2003). Los biofertilizantes líquidos son bioproductos obtenidos mediante fermentación anaeróbica y transformación química de residuos animales, vegetales y minerales, estos bioproductos son ampliamente utilizados en agricultura y su efecto está estrechamente relacionado con su calidad (Chávez *et al.*, 2011).

Los abonos orgánicos fermentados de mayor uso es el Bocashi, termino en japonés que significa “fermentación suave”. A diferencia de los abonos composteados, es un producto que posee materia orgánica y minerales sin transformar totalmente. Por lo cual, los agricultores lo utilizan principalmente para aumentar los microorganismos benéficos del suelo, como también mejorar características físicas y químicas, reflejándose en la sanidad y crecimiento de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2005; Boudet *et al.*, 2015).

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (Soubes, 1994).

Este proceso se realiza en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores, estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anóxica (gases y sólidos), ya que al haber en su interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (Salazar, 1993).

El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, el proceso bioquímico y la acción bacteriana que ocurren simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica produce grandes burbujas que forzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980).

El material orgánico producto de la biodegradación es líquido y al aplicarse en forma líquida en suelos permeables existen muchas pérdidas por lixiviación. Es necesario tener el suelo húmedo para realizar la aplicación del efluente porque si el suelo está seco existe gran pérdida de nitrógeno por volatilización (Feigin *et al.*, 1991).

Los nutrientes siempre son absorbidos por las raíces de las plantas, en las mismas formas iónicas, independientemente si provienen de fuentes orgánicas o inorgánicas (Salazar, 2002). La composición química de los biofertilizantes varía debido a múltiples factores, esto depende de los materiales que son utilizados en su elaboración y las cantidades de los mismos, esto le aportará diferentes cantidades de nutrientes al producto final (Ortega, 2012).

La respuesta de los biofertilizantes varía considerablemente, dependiendo de los microorganismos, tipo de suelo, especies de plantas y condiciones ambientales. Los microorganismos aplicados deben competir con microorganismos nativos mejor adaptados a condiciones ambientales adversas, incluyendo falta de humedad en el suelo, alta salinidad y pH extremos, que pueden disminuir rápidamente la población de cualquier especie microbiana introducida (Armenta-Borjoquez, 2010).

En los tiempos en los que el estiércol era prácticamente el único abono conocido y los conocimientos de química agrícola eran rudimentarios, se pensaba que las plantas tomaban sus “alimentos” del suelo en forma orgánica. Fue en 1823 cuando Liebig demostró que la planta no utilizaba el estiércol tal cual, sino que absorbía las sales minerales resultantes de su descomposición después de disolverse en la solución del suelo. El principio de la nutrición mineral de la planta queda, pues, establecido, sin que ello disminuya en nada el importante papel de la materia orgánica en el suelo (Gros y Domínguez, 1992). Aunque después de Liebig, se ha puesto de manifiesto que la planta era capaz de absorber, en cantidades mínimas, algunas moléculas orgánicas complejas, conocidas como factores de crecimiento, lo cierto es que, prácticamente, la totalidad de los nutrientes tomados del suelo lo son en estado mineral y no de otra forma. Estos elementos minerales se absorben en forma de aniones y cationes (Gros y Domínguez, 1992).

Las sales minerales en solución del suelo constituyen el “alimento” necesario para la planta, las cuales proceden de la mineralización de las reservas orgánicas del suelo, bien de su aporte al suelo en forma de abonos. No existe oposición fundamental entre lo orgánico y lo mineral, que corresponde a dos fases sucesivas, igualmente útiles, para la nutrición de la planta (Gros y Domínguez, 1992).

Desde la antigüedad se sabe que el uso de abonos orgánicos para el manejo del suelo, permite mejorar sus características físicas, químicas, biológicas y sanitarias, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende la productividad de los cultivos (FONAG, 2010; Piedrahita y Caviedes 2013 Boudet *et al.* 2015).

Ortega (2012) sugiere que los abonos orgánicos son de importancia para la agricultura ya que la materia orgánica presente en ellos nutre a los microorganismos descomponedores del suelo, que la mineralizan y ponen a disposición los nutrimentos para la absorción por parte de las plantas.

Armenta *et al.* (2010) mencionaron que la aplicación de biofertilizantes, debe hacerse inicialmente como un complemento a la fertilización química, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones de suelo, manejo y respuesta del cultivo.

3.13. Bayfolan® Forte

Es una fórmula especial concentrada de nutrimentos para las plantas que contiene minerales, vitaminas y fitohormonas (Cuadro 4); actúa estimulando los procesos metabólicos, vigorizándolas al proporcionarles los nutrimentos indispensables para su buen desarrollo, la planta los aprovecha íntegramente y su efecto se manifiesta en cultivos vigorosos, cosechas más abundantes y de calidad. También ayuda a resolver deficiencias de microelementos, frecuentes en zonas con aguas duras. La aplicación se realiza cuando los cultivos estén en etapa de desarrollo vegetativo o en producción intensiva (Bayer, 2003).

Cuadro 4. Composición química del Bayfolan® Forte.

Ingredientes	Forte (g kg⁻¹)
Nitrógeno total	11.47
Fósforo como P.O.	8
Potasio como K.O.	6
Azufre	0.023
Boro	0.36
Calcio	0.0025
Cobre	0.04
Cobalto	0.002
Fierro	0.05
Manganeso	0.036
Molibdeno	0.005
Magnesio	0.025
Zinc	0.08
Ácido indolacético	0.003
Carbohidrato de tiamina	0.004

Fuente: Bayer, 2003.

Una de las características más importantes del Bayfolan® es su alta capacidad de penetrar en la célula vegetal, lo que hace más eficiente la fertilización foliar, (Borges, 2005).

Puede emplearse en todos los cultivos, ya que todas las plantas son capaces de absorber nutrimentos a través de las hojas. La aplicación de este producto resulta especialmente ventajosa en los aquellos cultivos cuya masa foliar se desarrolla rápidamente en las etapas juveniles (Bayer, 2003).

3.14. Mecanismo de absorción foliar

La fertilización foliar es una práctica efectiva para la corrección de deficiencias nutrimentales en plantas que se encuentran bajo condiciones de estrés o en suelos con baja disponibilidad de nutrimentos. Consiste en aplicar disoluciones de nutrimentos directamente sobre las hojas. Esta absorción en la hoja se desarrolla mayormente a través de la epidermis, por difusión, debido al gradiente de concentración del nutrimento que se establece entre la superficie de la hoja y en el interior de la epidermis. Una vez que el nutrimento ha ingresado al citoplasma de

las células epidermales, la movilización de este ocurre en forma relativamente expedita. La principal barrera que el mineral debe atravesar es la cutícula, la cual está compuesta de ceras. Las características físico-químicas del nutrimento, tales como tamaño y polaridad controlan la tasa de absorción (Murillo-Castillo *et al.*, 2013). Existen tres etapas principales del mecanismo de absorción nutrimental por parte de la hoja de la planta:

Etapa 1: Retención del producto en la hoja, en esta etapa, los nutrimentos o compuestos son aplicados por aspersión sobre la superficie de la hoja; es recomendable que estos se mantengan en contacto con la hoja el mayor tiempo posible, preferiblemente de 3 a 4 h, lo que aumenta la probabilidad de ser absorbido (Fageria *et al.*, 2009). Generalmente, condiciones de alta humedad relativa favorecen la permeabilidad de la cutícula; la temperatura media (20°C) y el uso de agentes tensoactivos ayuda a que la gota que contiene estas sustancias se mantenga por más tiempo en contacto con la superficie foliar (Tarango, 1992).

Etapa 2: Transporte del nutriente a las células, en esta fase posteriormente los compuestos son transportados a través de la cutícula, la pared celular y la plasmalema de las células epidermales de la hoja, hasta llegar al citoplasma las células epidermales (Fageria *et al.*, 2009).

Etapa 3: Movimiento de las sustancias y elementos hasta los órganos, estos son transportados desde las células epidermales hasta los órganos donde la planta los requiera, para lo cual atraviesan espacios intercelulares (apoplasto) o células de diferentes tejidos (simplasto). Una vez que llegan al tejido vascular (especialmente al floema), se acelera su movilidad hasta los tejidos destino (Fageria *et al.*, 2009).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del área del experimento

La presente investigación se realizó en un huerto de rambután comercial, ubicado en la localidad de Zaragoza, municipio de Frontera Hidalgo, Chiapas, México. Este municipio se ubica al sur del estado de Chiapas a una altitud de 46 m, geográficamente se encuentra en torno a las siguientes coordenadas geográficas: latitud 14° 44', N., longitud 92° 10' W; el clima es cálido subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, empezando en el mes de mayo y terminado en octubre, con una temperatura media anual de 27 °C, con una precipitación de 2,209 mm anuales. Los tipos de suelos predominantes son: nitosol, y planosol, su uso principalmente es agrícola correspondiendo aproximadamente el 20% a terrenos ejidales y el resto está constituido por propiedad privada (INADED, 2016).

4.2. Periodo de estudio

La investigación duró 11 meses, desde el 15 de julio del 2016 que se realizó la elaboración del biofertilizante, hasta el 12 de junio del 2017 cuando se realizaron las mediciones de los frutos en el laboratorio.

4.3. Característica de la huerta y material biológico

Los tratamientos propuestos fueron aplicados en árboles de rambután (*Nepheium lappaceum* L.) cv. "seechampo", estos con una edad de cinco años de ser establecidos. El marco de plantación de la huerta es de 5 x 7 m entre hileras y plantas, respectivamente, con un total 238 plantas por hectárea, estas cuentan con sistema de riego por microaspersión, manteniendo la parcela a capacidad de campo durante el año, cada árbol fue fertilizado 300 g del fertilizante comercial triple 17 (N, P y K⁺).

4.4. Elaboración del biofertilizante

Para la elaboración del biofertilizante se utilizaron 50 L de agua, 5 kg de estiércol de bovino, 2 kg de materia orgánica (hojas de rambután), 5 L de melaza, 1 kg de ceniza, 500 g de urea y 50 g de levadura; los cuales se agregaron a un

recipiente de plástico de 60 L, se agitó hasta que se homogenizó la mezcla. Posteriormente se mezclaron todos los ingredientes y se dejó reposar durante 30 días en condiciones anaeróbicas, el recipiente fue sellado herméticamente colocando una manguera en la parte superior y fue introducida en un recipiente con agua, lo que permitió dejar salir los gases producidos en la fermentación anaeróbica e impedirá la entrada de O₂.

4.5. Descripción de tratamientos

El biofertilizante fue diluido al 15% y aplicado antes del riego, cada dos meses en el periodo agosto 2016 – febrero 2017, en forma de drench, a la altura de la copa del árbol. En lo que respecta a la fertilización foliar, se utilizó el producto comercial Bayfolan® Forte de la empresa Bayer, las aplicaciones fueron realizadas en el mismo periodo y en las mismas fechas (agosto – febrero) a una concentración de 0.3%, esto mezclado con el adherente comercial BOND®. La primera aplicación de tratamientos se realizó el 15-08-2016, la segunda el 15-10-2016, la tercera el 15-12-2016 y la última el 15-02-2017.

Los tratamientos antes descritos fueron estudiados de manera separada y su combinación, teniendo como tratamiento (T₁) la combinación del biofertilizante y Bayfolan®, como T₂ solo la aplicación del biofertilizante, como T₃ solo la aplicación de Bayfolan® y finalmente el testigo o blanco absoluto (sin ninguna aplicación) como tratamiento 4 (Figura 3).

4.6. Muestreos de suelo

Se realizó un análisis de suelo previo a la aplicación de los tratamientos (15 de julio del 2016) en forma de zigzag en la huerta experimental a 20 cm de profundidad, obteniendo 25 submuestreos de 1 kg de suelo, posteriormente se homogenizó y se utilizó 1 kg de la muestra compuesta para su análisis. El segundo análisis se realizó el 15 de marzo del 2017, 30 días después de haber aplicado el último tratamiento al final del experimento, se realizó el mismo procedimiento para la colecta de la muestra de suelo, en el área de goteo de los árboles, las muestras

de suelo se analizaron en BELTEC laboratorios, los métodos utilizados estuvieron acorde con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

4.7. Análisis foliar en el cultivar de rambután

Para el análisis foliar se colectaron hojas maduras y sanas de la parte media de los árboles de cada tratamiento el 15 de marzo del 2017, las cuales fueron depositadas en bolsas de plástico e identificadas con los números de los tratamientos, las muestras de cada tratamiento se homogenizaron hasta obtener una sola muestra, las cuales se analizaron en el laboratorio Salvador Alcalde Blanco del Colegio de Postgraduados.

Para la interpretación de los análisis foliares y la generación de los índices de desviación del óptimo porcentual (DOP) o de requerimiento, se utilizó la ecuación: $DOP = A - a/a \times 100$. Donde "A" es la concentración del nutrimento en hojas obtenido en el análisis químico y "a" es la media del intervalo de suficiencia para litchi, según Benton-Jones y Mills (1996).

4.8. Análisis del biofertilizante

Para el análisis del biofertilizante elaborado, a los 30 días se colectó 1 L de muestra, colocándola en un recipiente de plástico y manteniendo la muestra a una temperatura de 20 °C en refrigeración, posteriormente se mandó a analizar al laboratorio Fertlilab - Fertilidad de Suelos S. de R. L. (Celaya, Guanajuato).

4.9. Cosecha y evaluación de frutos

Los frutos de rambután fueron cosechados el 20 de mayo del 2017 por la tarde, cuando presentaron su madurez comercial, considerando como índice de cosecha el color externo del pericarpio del fruto, siendo en este caso un rojo uniforme.

Posteriormente los frutos se transportaron en un recipiente de unicel previamente enfriados con hielo al laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio

de Postgraduados en Montecillo, Texcoco, Estado de México en un lapso no mayor de 13 h.

En el laboratorio, los frutos fueron uniformizados y clasificados en cuanto a tamaño, color y grado de madurez, una vez seleccionados se colocaron en cestos de plástico a temperatura ambiente.

4.10. Variables respuestas

4.10.1. Variables fisiológicas

Apariencia de los frutos de rambután: Esta variable se determinó fotográficamente con base en la apariencia externa del fruto, considerando como frutos dañados aquellos que presentaron áreas color café en el pericarpio o espiternos necróticos. Las imágenes fueron tomadas por una cámara Nikon. A una distancia de 15 cm de los frutos. La fruta fue clasificada en cuatro categorías dependiendo del porcentaje de superficie dañada, considerado la escala presentada en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Categorías de los daños en los frutos rambután.

Nivel	Descripción	% del pericarpio dañado
1	Ningún síntoma	0
2	Ligero	Menos de 25
3	Moderado	De 25 a 50
4	Severo	Más de 50

Fuente: Kondo *et al.*, 2002.

Color del pericarpio: En lo que respecta al color del pericarpio, fue medido de acuerdo a las cartas de color RHS (The Royal Horticultural Society) y los datos fueron transformados en la página rhscf.orgfree.com, obteniendo los valores L, a y b, se expresaron en valores de Luminosidad (L), Chroma y Hue (McGuire, 1992); en esta se considera que la luminosidad es la capacidad de reflejar la luz y viene descrita por L, el color negro presenta una luminosidad de 0 mientras que el blanco de 100; los parámetros a y b se utilizaron para evaluar la saturación o “Chroma” la cual indica la pureza del color y el tono o “Hue” siendo el color propiamente dicho.

El valor de la luminosidad se toma del valor L; el valor de la saturación es de 0 en el centro e incrementa acorde con la distancia del centro $S = \sqrt{a^2 + b^2}$. El ángulo de tono o Hue, se expresa en grados mediante el cual el color puede ser rojo, amarillo, verde o azul este se obtuvo a partir de la fórmula: $\text{Tono} = \text{Tan}^{-1}(b/a)$.

Pérdida fisiológica de peso: La pérdida fisiológica de peso se considera como la diferencia del peso inicial y el peso final, expresado en porcentaje, esta fue medida cada dos días durante la vida de anaquel de los frutos con una balanza electrónica (A & D, modelo EY-2200) aplicando la fórmula siguiente: $\% \text{ PP} = (P_i - P_f / P_f) \times 100$, donde $\% \text{ PP}$ = porcentaje de pérdida de peso, P_i = peso inicial y P_f = peso final (g). Para medir la influencia de los tratamientos sobre el peso de frutos, se registró de manera individual el peso fresco de 10 frutos.

Acidez titulable (AT): Se determinó mediante la metodología propuesta por la AOAC (1990), en la cual se tomaron 5 g de arilo (porción comestible o pulpa) de cada fruto, se licuó en 50 mL de agua destilada y se tomó una alícuota de 10 mL de la solución, la cual se le agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador para posteriormente ser titulada con NaOH (0.01 N) hasta obtener el vire color rosado, el gasto de la solución neutralizante fue transformado como porcentaje de ácido cítrico de acuerdo a la siguiente ecuación: $\% \text{ de ácido cítrico} = G (N) (0.064) (100) / A$, donde: G= mL de NaOH gastados en la titulación, N= normalidad del NaOH, 0.064= miliequivalentes del ácido cítrico y A= alícuota o mL de jugo tomado para la evaluación.

Sólidos solubles totales (°Brix): Los sólidos solubles totales (SST) o °Brix, se determinaron de acuerdo a la metodología AOAC (1990) utilizando un refractómetro digital modelo PR-100 (escala 0-32); el valor obtenido no requiere de ningún cálculo de conversión y se reporta en °Brix del jugo.

Firmeza: La firmeza se determinó por penetrometría utilizando un texturómetro Universal, Force-five modelo FDV-30, adaptado con un puntal cónico de 5 mm; esta variable fue evaluada cada dos días durante la vida de anaquel de los frutos y el valor fue reportado en newtons (Nw).

4.10.2. Variables físicas

Diámetro radial y diámetro ecuatorial del fruto: Se midió su diámetro radial y su diámetro ecuatorial con la ayuda de un vernier digital STEREN modelo HER-411.

Peso fresco (g): Se registró el peso fresco de 10 frutos de rambután cosechados de forma individual, utilizando una báscula digital de la marca (Ohaus Modelo AP210, New Jersey, USA).

Relación pericarpio, arilo y semilla: Esta variable fue destructiva tomando el peso de cada parte de cinco frutos por cada repetición, utilizando una báscula digital Ohaus Modelo AP210, New Jersey, USA.

4.11. Diseño experimental

El experimento se realizó con un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, siendo un árbol la unidad experimental; a las variables respuesta antes descritas se les realizó el respectivo análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

4.11.1. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales.

Para la asignación de los tratamientos en las unidades experimentales se utilizó en programa estadístico "R" como se muestra en la Figura 3.

T₁(A): Biofertilizante + Bayfolan®, **T₂(B):** Biofertilizante, **T₃(C):** Bayfolan®, **T₄(D):** Testigo.

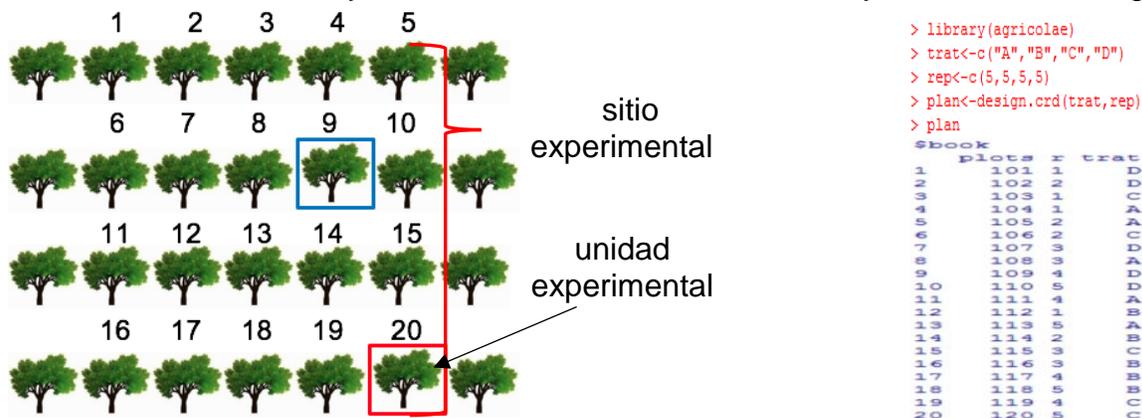


Figura 3. Diseño de tratamientos, es decir asignación de los tratamientos a las unidades experimentales.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis del biofertilizante

En el Cuadro 6, se muestran los resultados del análisis realizado al biofertilizante elaborado con la metodología antes descrita, esto con fines de discusión de las variables respuesta, tanto en suelo, planta y calidad de frutos.

Cuadro 6. Análisis químico del biofertilizante elaborado.

Determinación	Método	Resultados
pH	NMX-FF-109-SCFI-2007	6.25
CE dS m ⁻¹	NMX-FF-109-SCFI-2007	40.8
N (g kg ⁻¹)	Dumas	0.40
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	0.40
K (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	5.69
Ca (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	1.96
Mg (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	0.91
Na (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	0.25
S (g kg ⁻¹)	Digestión en microondas/Turbidimetrica	0.57
Fe (mg kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	712
Cu (mg kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	13.8
Mn (mg kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	69.7
Zn (mg kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	42.4
B (mg kg ⁻¹)	Digestión en microondas/ ICP	23.8
MO (%)	Calcinación	3.72
Cenizas (%)	Calcinación	1.81
C-org (%)	Calcinación	2.16
Relación C/N	Base seca	5.44

Considerando que la composición química de los biofertilizantes varía debido a diversos factores tales como, los materiales utilizados en su elaboración y las cantidades de la misma, esto le aportará diferentes cantidades de nutrimentos mineralizados al biofertilizante (Ortega, 2012). Zagoya-Martínez *et al.* (2015) mencionaron que los biofermentos artesanales suelen presentar un bajo contenido de N total, sin embargo, muestran valores aceptables en K⁺, Ca²⁺ y Mg; lo anterior debido a que en el proceso de fermentación anaeróbica las sustancias orgánicas se transforman en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (Soube, 1994) y de no hacer un correcto manejo del biodigestor, el N en forma de gas presenta una alta volatilización.

El biofertilizante aporta al suelo cantidades suficientes de nitrógeno ya que el suministro se complementa con el aporte de materia orgánica, también aporta calcio en suficiencia. Provoca menor deficiencia en cuanto a fósforo y potasio en relación con el testigo. Además aporta la mayoría de los micronutrientes (ocho) (Cuadro 6). Para mejorar este biofertilizante habría que buscar fuentes ricas en fósforo y potasio para disminuir las deficiencias encontradas con el uso de éste en el rambután y en la zona de estudio (Figura 4).

Aunado a que existe un proceso de biodigestión por parte de microorganismos (consumo acelerado de oxígeno acelerada el oxígeno, nitratos y sulfatos), produciéndose la metanogénesis; en estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato, además se reducen los iones férricos y mangánicos (Soria-Fregoso *et al.*, 2001). Lo que puede significar un complemento o sustitución a la fertilización química; aunque es necesario considerar, durante la preparación de los biofertilizantes las temperaturas óptimas del ciclo de vida de las bacterias mesófilas (35 °C) y termófilas (55 °C) participantes en la biodigestión (Kennedy y Berg, 1982); así como la relación C/N del compuesto orgánico a utilizar (<30:1), el tiempo de retención (tiempo de degradación), el porcentaje de sólidos (7 a 9 mg g⁻¹) y el pH de la mezcla (6.7 a 7.5) (Kennedy, 1982).

5.2. Efecto del biofertilizante en el suelo

En el Cuadro 7, se muestran las características del suelo que registraron un ligero incremento en diferentes parámetros al final del experimento (240 días después de la primera aplicación de los tratamientos), los cuales fueron: contenido de materia orgánica (MO), pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y parámetros de fertilidad como el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P); se proyecta que para una profundidad radical de 20 cm, una densidad aparente (DAP) de 1.15 g cm³, el N aportado por ha es de 46 unidades (kg ha⁻¹) y en caso de P se aporta 1.61 unidades (kg ha⁻¹), esto significa que los tratamientos produjeron un incremento en la fertilidad del suelo lo que favoreció la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de rambután; siendo que el N y el P son macronutrientes que la planta requiere en grandes cantidades.

Los resultados anteriores coinciden con lo reportado por Binh *et al.* (2014) que al evaluar tres compostas a base de vinaza (destilado de caña de azúcar), lodo de biodigestores y vermicomposta en seis cultivares de rambután, encontraron que se incrementó de manera significativa el pH del suelo, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible en el suelo, K⁺ intercambiable, porcentaje de saturación de bases, estabilidad estructural del suelo y la densidad aparente en comparación al manejo convencional; lo anterior se reflejó en un incremento del rendimiento de fruto hasta 136%; sin embargo, Guong *et al.* (2009) al aplicar diferentes materiales orgánicos en huertos de rambután encontraron, que la mayor influencia de las características físico químicas del suelo se encuentran en los primeros 5 cm de profundidad, además observaron que se incrementa de manera parcial el pH y retorna al pH inicial pasado un año de tiempo, esto por la capacidad buferizante del suelo.

Cuadro 7. Características nutrimentales antes y después de la aplicación del biofertilizante.

Características	Antes de la aplicación (15-junio-2016)	Después de la aplicación (15-marzo-2017)
Color	Café oscuro (5YR)	Café oscuro (5YR)
Textura	Arcillo-limoso	Arcillo-limoso
pH	5.75	5.80*
MO (%)	4.92	4.95*
CIC (cmol kg ⁻¹)	37.1	39.7*
DAP (g cm ³)	1.15	1.15
N (mg kg ⁻¹)	0.014	0.016*
P (mg kg ⁻¹)	33.3	34.0*
K (mg kg ⁻¹)	214	214
Tipo	Cambisol	Cambisol
Fertilidad	Alta	Alta

pH= potencial hídrico, MO= materia orgánica, CIC= capacidad de intercambio catiónico, DAP= densidad aparente, N= nitrógeno, P= fósforo, K= potasio. Aplicación de tratamientos 15-agosto-2016 al 15-febrero-2017.

La aplicación de biofertilizantes aplicados al suelo resulta benéfico ya que habrá un ligero aumento en los nutrimentos como: nitratos, sulfatos, también, mejora la capacidad del suelo para retener agua y favorece condiciones físicas para el desarrollo de las raíces en el huerto de rambután (Eghball *et al.*, 2004). Se sabe que un incremento del pH cercano al neutro (7.0) genera mayor disponibilidad de

los nutrimentos como: N y P que están presentes pero se encuentran en forma no disponible (no hidrosolubles o intercambiables) (Alcantar *et al.*, 2016); Guong *et al.* (2009) encontraron que la aplicación de bioles al suelo en rambután incrementan la concentración de Ca^{2+} durante los primeros seis meses después de la aplicación, además, eleva de 24 a 68% la concentración de bases intercambiables, lo que significa que la aplicación de biofertilizantes no sólo beneficia al cultivo de manera inmediata si no que presenta efectos residuales positivos para el siguiente ciclo de producción.

Adriano *et al.* (2012) demostraron que la adición de composta y biofermento líquido mejora la fertilidad de los suelos cultivados, incrementan la actividad microbiana y su capacidad para metabolizar moléculas orgánicas complejas. Yadav *et al.* (2016) mencionaron que los microorganismos aportados por la materia orgánica tienen actividad benéfica para los cultivos, aportando N (fijación biológica) solubilizando P (enzima fosfatasa), produciendo sideróforos, biorreguladores (ácido indolacético y giberélico) y generando sustancias antibióticas; a este grupo se le denomina como PGPR's (Plant growth-promoting rhizobacteria).

Diversos autores al realizar aislamientos de suelos agrícolas tratados con residuos orgánicos encontraron diversos géneros microbianos como: *Agromyces*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Cellulosimicrobium*, *Cupriavidus*, *Devosia*, *Ensifer*, *Lysinibacillus*, *Microbacterium*, *Mycobacterium*, *Paenibacillus*, *Promicromonospora*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, los cuales entre diversas funciones poseen enzimas hidrolíticas que aceleran la descomposición de la celulosa, de la celobiosa, del xilano, o de materiales lignocelulósicos componentes de la materia orgánica (Woo *et al.*, 2014).

5.3. Concentración nutrimental en el tejido foliar

En el Cuadro 8, se muestra la concentración nutrimental observada 60 días antes de la cosecha; la mayor concentración de N y K^+ en el tejido foliar se presentó cuando se combinaron la aplicación del biofertilizante al suelo y el Bayfolan® vía foliar (T₁), con valores de 2.38 y 0.46% respectivamente, para P, la mayor

concentración se presentó en el T₃: Bayfolan® con un valor de 0.12% y el Ca²⁺ con un valor de 0.91 en el T₂: biofertilizante.

Hassan *et al.* (2010) indicaron que al asperjar compuestos orgánicos y micronutrientes quelatados expresan un efecto favorable en el amarre, peso de fruto y por tanto el rendimiento. Lo anterior sugiere que los metabolitos o compuestos bacterianos presentes en los fertilizantes de origen orgánico, hacen más eficiente la fertilización foliar (Radzki *et al.*, 2013); al ser mezclado un fertilizante convencional con compuestos orgánicos, se forman complejos que mejoran la absorción y movilidad de los nutrientes dentro de la planta, además de que los compuestos orgánicos contienen hormonas de crecimiento vegetal o moléculas de señalización, alterando procesos metabólicos, que aceleran la translocación de compuestos (orgánicos e inorgánicos), influyendo de manera indirecta en el crecimiento de las plantas (Calvo *et al.*, 2014).

Cuadro 8. Concentración nutrimental de macronutrientes en tejido foliar, de hojas de rambután antes de la cosecha.

Nutrientes (g kg⁻¹)	T₁	T₂	T₃	T₄	NRS*
Nitrógeno	2.38	2.03	2.17	1.61	1.35-1.65
Fósforo	0.11	0.1	0.12	0.09	0.15-0.30
Potasio	0.46	0.35	0.36	0.31	0.75-1.25
Calcio	0.86	0.91	0.82	0.71	0.55-1.00

NRS= niveles referenciales de suficiencia (*Benton-Jones y Mills, 1996) y T= tratamientos.

El análisis foliar es una herramienta importante para conocer el estado nutrimental de huertos comerciales, particularmente para el desarrollo y corrección de programas de fertilización, ya que podría ayudar a mejorar el rendimiento, tamaño y calidad de la fruta (Salazar, 2014). Para la interpretación de los datos del análisis de tejido foliar y para poder realizar el diagnóstico correcto de una situación nutrimental, siempre es indispensable disponer de los índices de suficiencia nutrimental y para este caso se tomaron del cultivo de *Litchi chinensis* (Benton-Jones y Mills, 1996).

El índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento con respecto de la concentración óptima considerada valor de

referencia, el valor de este índice para un determinado elemento será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso, cuando el contenido de la muestra coincide con el óptimo de referencia el valor del índice DOP será igual a cero (Montañés *et al.*, 1991).

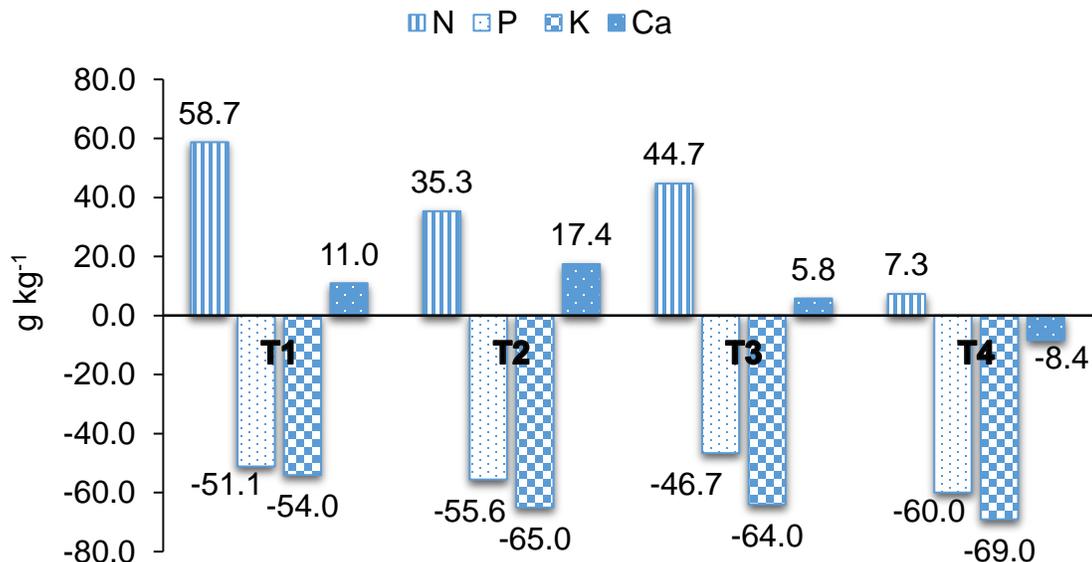


Figura 4. Desviación del óptimo porcentual (DOP) de cada tratamiento en función de los análisis de suficiencia foliar.

T1: biofertilizante + Bayfolan®, T2: biofertilizante, T3: Bayfolan®, T4 Testigo.

En la Figura 4, se muestran los valores de los índices DOP, para el caso del N todos los tratamientos presentan concentraciones en exceso, cuando a los árboles se les suministró el biofertilizante y Bayfolan® (T₁) presentaron la mayor concentración (58.7%), siendo el testigo el que presentó la menor concentración (7.3%); sin embargo para P y K⁺ ningún tratamiento proporcionó las cantidades adecuadas, aunque cuando a los árboles se les suministró alguna forma de fertilizante, esta deficiencia fue menos marcada en comparación a los árboles testigo, si bien, el biofertilizante no aporta las cantidades de nutrientes requeridas por el árbol, se propicia la proliferación de microorganismos benéficos que favorecen la disponibilidad de nutrientes, como se observa en los tratamientos T₁ (biofertilizante + Bayfolan®) y T₂ (Biofertilizante); para el caso de Ca²⁺, el T₄ (testigo) fue el que presentó deficiencia o desbalance negativo en comparación de los demás tratamientos (-8.9%) ya que a las unidades experimentales no se les agregó ninguna

fuerza de nutrientes adicional al manejo convencional, es decir, que en huertos donde el manejo se realiza de manera tradicional o sin alguna fuente de fertilización, el árbol presentará déficit nutricional en cuanto a este elemento, lo cual se verá reflejado de manera directa en la calidad postcosecha del fruto, siendo esta determinante en su vida de anaquel.

Los resultados anteriores son coherentes con lo citado por Peralta *et al.* (2015) quienes mencionaron que las compostas, fertilizantes fermentados y residuos de cosechas son una alternativa para la nutrición de los árboles frutales, estos residuos orgánicos son liberadores de nutrientes en forma lenta y disponibles, por lo que se disminuye el riesgo de pérdida por lixiviación y a su vez estimula la presencia y diversidad de organismos en la rizósfera, lo que resulta una mayor absorción de nutrientes por los árboles.

En México existen diversos reportes del efecto de la fertilización orgánica en los frutales, Tapia *et al.* (2014) quienes evaluaron el efecto de la aplicación de fermentos orgánicos, derivados de pescado, composta, microorganismos y lombricomposta en aguacate Hass y lo compararon con una dosis mineral convencional; en los resultados mostraron que árboles tratados con fermentos orgánicos presentaron mayor concentración foliar de N y K⁺ en comparación con la dosis mineral.

Cuando se ordena cada nutriente en función del desbalance nutricional y por orden de prioridad en su corrección y sus efectos adversos sobre la productividad del cultivo, se tiene que el nutriente que limita en mayor proporción a la planta es el potasio, seguido del fósforo, posteriormente al calcio y finalmente el nitrógeno, expresado de la siguiente manera: K > P > Ca > N, es decir que el nutriente que se encuentre en mayor déficit es el que limitará el potencial productivo del cultivo.

Lo anterior nos indica que los nutrientes que debemos corregir por orden de prioridad en un programa de fertilización son el potasio y el fósforo, en este caso, fue el testigo (T₄) quien presentó el mayor desbalance de los elementos en el tejido

foliar con valores de K⁺: -68, P: -60, Ca²⁺: -8.4% y para el N fue el menor valor (7.3) estando en exceso.

Este método de interpretación del análisis de tejido vegetal permite además del diagnóstico real de una situación nutrimental dada, conocer el orden de limitación tanto por exceso como déficit, para cada uno de los nutrimentos considerados; la nutrición de las plantas puede ser considerada en dos puntos de vista: el cualitativo (reflejado en su equilibrio) y el cuantitativo (reflejado en las concentraciones de los diferentes nutrimentos), el análisis foliar, en el caso de los árboles frutales y el análisis de planta, en general, constituyen los instrumentos más utilizados por técnicos e investigadores para conocer la situación nutrimental en un determinado momento y así poder realizar correcciones oportunas en los programas de fertilización (Montañés *et al.*, 1991).

5.4. Variables fisiológicas

5.4.1. Apariencia de fruto

La apariencia es una de las variables más importantes en el rambután después de su cosecha; según Srilaong *et al.* (2002) sugieren que el oscurecimiento del pericarpio del fruto depende en gran parte, de la cantidad de agua que pierde por sus protuberancias.

En el Cuadro 9, se observa que al tercer día después de la cosecha el T₁ (biofertilizante + Bayfolan[®]) fue el tratamiento que produjo la menor superficie dañada en los frutos cosechados (9.0%); mientras que en los tratamientos T₂ (biofertilizante) y T₃ (Bayfolan[®]) en los que se aplicaron por separados los fertilizantes, los frutos presentaron la misma magnitud de superficie dañada que el T₄ (testigo). A los cinco días después de la cosecha los tratamientos T₁ (biofertilizante/Bayfolan[®]) y T₃ (Bayfolan[®]) presentaron los mismos valores de pericarpio dañado en frutos, siendo estos los de menor porcentaje de daño, el Bayfolan[®] tiene un efecto positivo en características del pericarpio al disminuir la oxidación de las antocianinas, evitando el cambio de color hacia tonos oscuros en lugar del rojo brillante característicos de estos frutos. Al séptimo día la combinación

del biofertilizante más el Bayfolan® produjeron los frutos con el menor daño en el pericarpio, al evitar la oxidación de las antocianinas principalmente; un efecto intermedio lo presentó al igual que la fecha anterior el T₃ (Bayfolan®); conforme pasó el tiempo de postcosecha, la superficie dañada en el pericarpio de los frutos se incrementó en todos los tratamientos así como en el testigo; el Bayfolan® siempre presentó un efecto positivo al evitar los daños en el pericarpio sobre todo al tercer y quinto día después de ser cosechados.

Cuadro 9. Porcentaje de superficie dañada del fruto de rambután a siete días después de su cosecha.

Tratamientos	Tiempo después de la cosecha (días)			
	1	3	5	7
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	0	9.0 ^{bB}	22.0 ^{bA}	24.0 ^{cA}
T ₂ Biofertilizante	0	27.0 ^{aB}	46.0 ^{aA}	50.0 ^{aA}
T ₃ Bayfolan®	0	12.0 ^{abC}	24.0 ^{bB}	37.0 ^{bA}
T ₄ Testigo	0	26.0 ^{aB}	48.0 ^{aA}	50.0 ^{aA}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

El menor daño siempre se observó en el tratamiento T₁, donde se combinaron el biofertilizante y el Bayfolan®, promoviendo un efecto benéfico al evitar los daños postcosecha en el pericarpio debido a la oxidación. Li *et al.* (2012) mencionaron que la fertilización mineral a base de potasio y nitrógeno es determinante en los rendimientos y calidad postcosecha en los frutos de litchi, sin embargo, la huertas donde se cultivan estos frutales incluido el rambután presentan bajos niveles de estos nutrimentos, de ahí la importancia de suministrar en cantidad, momento y forma estos elementos.

En un estudio realizado por Yang *et al.* (2015) indicaron que al incrementar la relación K/N en la fertilización de árboles de litchi se prolonga la vida postcosecha del fruto, ya que disminuye la permeabilidad de la membrana del pericarpio, además de disminuir la actividad de la polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD) inhibiendo el oscurecimiento del pericarpio. Los resultados anteriores coinciden con lo reportado en esta investigación, ya que los árboles testigo presentan el mayor

déficit de potasio y nitrógeno según el DOP realizado, observando que los frutos cosechados de estas plantas presentan una mayor deshidratación y el obscurecimiento temprano del pericarpio (5 días después de la cosecha) (Figura 4).

En la Figura 5, se muestra que la mejor apariencia la presentaron frutos del T₁: biofertilizante + Bayfolan[®], mientras los frutos que presentaron una apariencia no aceptable fueron los del T₂: biofertilizante y T₄: testigo. La vida de anaquel del fruto de rambután está limitada por la susceptibilidad del pericarpio a la desecación y al obscurecimiento (Landrigan *et al.*, 1994).

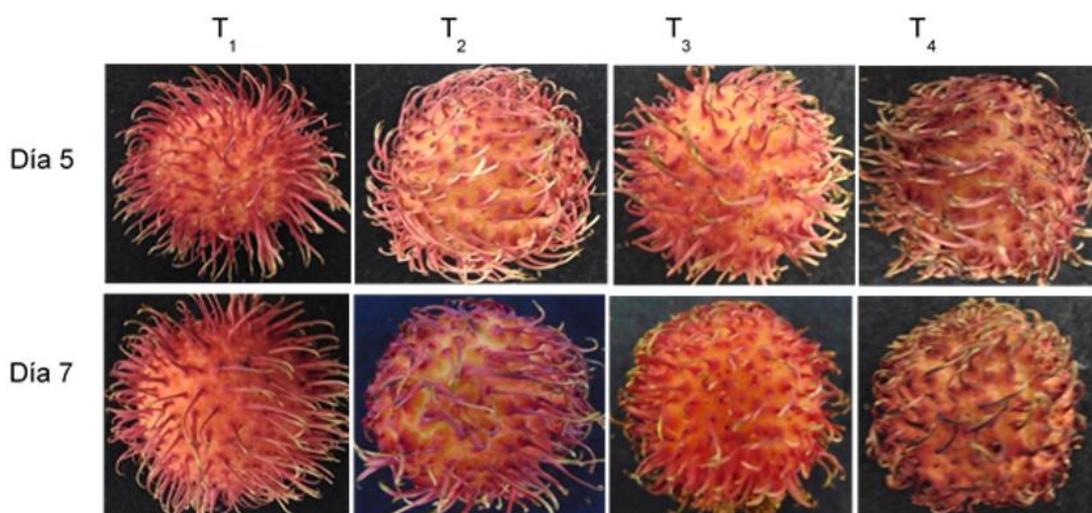


Figura 5. Oscurecimiento del pericarpio del fruto de rambután a cinco y siete días después de su cosecha, almacenados a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.

De acuerdo con Benton-Jones y Mills (1996) sugieren que el rango de suficiencia nutrimental foliar en *Litchi chinensis* (sapindaceae) en cuanto a K⁺ es de 0.75 a 1.25%; partiendo que el macronutrimiento K⁺ participa en los procesos de apertura y cierre de estomas, también es activador de enzimas y ayuda a mantener el equilibrio osmótico (Westwood, 1982); se realizaron análisis foliares de la concentración del elemento, teniendo que el T₁: Biofertilizante/Bayfolan[®] presenta una concentraciones de 0.46% de K⁺, siendo este el de mayor valor con respecto de los demás tratamientos. Landrigan *et al.* (1996) mencionaron que cuando el fruto muestra pérdidas de peso mayores de 20%, la oxidación se hace evidente en los espiternos y entonces se extiende hacia el pericarpio, en etapas avanzadas de deshidratación. Hernández-Arenas *et al.* (2012) mencionaron que los frutos de

rambután almacenados a temperatura ambiente presentaron una vida postcosecha de 10 días, estas observaciones coinciden con trabajos realizados en litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), longan (*Dimocarpus longan*) y rambután, en los cuales el oscurecimiento del pericarpio aumenta con el tiempo, especialmente a temperaturas mayores a 20°C.

5.4.2. Color

Los frutos de rambután se cosecharon cuando alcanzaron la madurez de consumo, caracterizada por una tonalidad rojo-brillante del pericarpio. Los datos se expresaron en valores de índice de saturación (IS) y °Hue, el color negro presenta una luminosidad de 0 mientras que el blanco de 100. Los parámetros a y b se utilizaron para evaluar la saturación (IS) y el tono (Hue). La saturación nos da la pureza del color y el tono es el color propiamente dicho (McGuire, 1992).

En el Cuadro 10, se muestra que los cuatro tratamientos evaluados no tuvieron efecto significativos sobre el ángulo Hue de color, al primer y tercer día después de la cosecha (DDC), es decir, que el color rojo de los frutos proporcionado por las antocianinas no es afectado o favorecido por alguno de los dos tipos de fertilización estudiados, haya sido vía suelo o foliar, del mismo modo.

Cuadro 10. Comportamiento del índice de saturación (Chroma) y del tono (Hue) de frutos de rambután almacenados a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.

Tratamientos	Tiempo después de la cosecha (días)							
	1		3		5		7	
	IS	Hue	IS	Hue	IS	Hue	IS	Hue
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	63.8 ^{aA}	33.4 ^{aA}	63.1 ^{aAB}	31.7 ^{aB}	61.0 ^{aB}	29.3 ^{aC}	56.4 ^{aC}	27.6 ^{aC}
T ₂ Biofertilizante	63.6 ^{aA}	33.1 ^{aA}	62.7 ^{aA}	30.6 ^{aB}	56.3 ^{bB}	28.2 ^{abC}	49.8 ^{bC}	26.2 ^{abD}
T ₃ Bayfolan®	63.9 ^{aA}	33.8 ^{aA}	63.1 ^{aA}	31.7 ^{aB}	59.7 ^{aB}	28.9 ^{aC}	54.7 ^{aC}	27.3 ^{aD}
T ₄ Testigo	63.5 ^{aA}	32.7 ^{aA}	62.7 ^{aA}	30.6 ^{aB}	55.6 ^{bB}	27.2 ^{bC}	49.0 ^{bC}	25.8 ^{bC}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento y en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Para el índice de saturación (IS) del color; fue hasta el quinto y séptimo día de evaluación cuando los tratamientos presentaron diferencias significativas, siendo los frutos tratados con la combinación de los dos tipos de fertilización (T₁) y los frutos

del T₃ (Bayfolan) los que presentaron un mayor IS y un alto valor de la tonalidad del color (^oHue) en los frutos, para el caso de los frutos tratados con biofertilizante (T₂) y el T₄ (testigo) presentaron valores menores en índice de saturación y en la tonalidad del color (^oHue), debido a la deshidratación y oxidación de las antocianinas por la pérdida de agua como se muestra en la Figura 6.

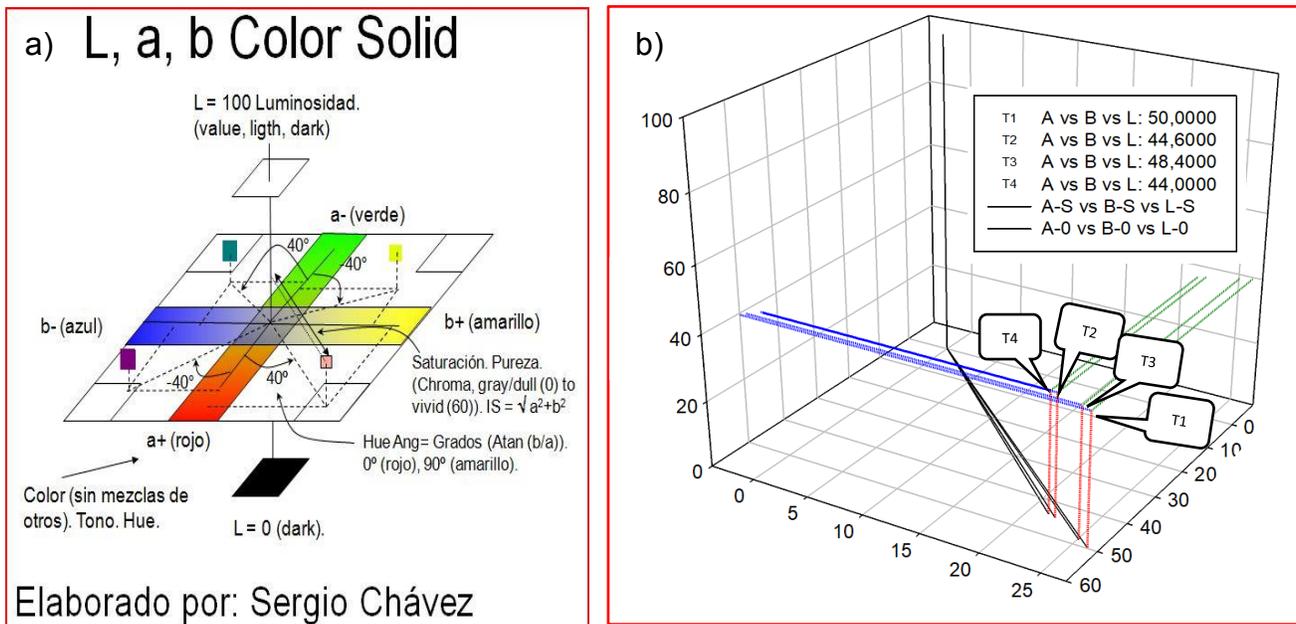


Figura 6. Pérdida de índice de saturación (IS) en el color de los frutos en los diferentes tratamientos a siete días después de la cosecha.

a) solidos de colores de L, a y b. b) tonalidad del color de los tratamientos.

Cuando al efecto del color es comparado dentro de cada tratamiento en función del tiempo postcosecha, fueron los frutos fertilizados al suelo y vía foliar (T₁) los que conservaron su color e intensidad hasta los siete días después de cosechados, para el tratamientos únicamente con biofertilizante al suelo (T₂), la pérdida de color e intensidad del mismo comenzó a disminuir para el quinto día, estos cambios de color coinciden con la pérdida de peso del fruto y la deshidratación, es decir, cuando los frutos pierden agua a través de los estomas que se encuentran en los espiternos y la epidermis se deshidrata, tiene como consecuencia la muerte y oxidación celular tornándose el tejido a un color café.

Para los árboles a los que no se les suministro ninguna fuente de fertilización adicional T₄ (testigo) presentaron el mismo obscurecimiento a partir del quinto día, lo anterior significa que un programa de fertilización en el cultivo de rambután sobre todo en condiciones adversas del suelo (principalmente pH) debe ser complementado con fertilización foliar para mejorar características de calidad postcosecha y alargar su vida de anaquel; además se deben implementar enmiendas al suelo que mejoren estas características negativas, tales como encalado y la aplicación de materia orgánica.

Sun *et al.* (2011) mencionaron que los tejidos del pericarpio de rambután contienen altos contenidos de antocianinas y estas son responsables del color rojo en frutos maduros. Los tratamientos no presentaron diferencias significativas en cuanto al color al primer día de evaluación, si bien, la nutrición del cultivo es importante en esta característica, no determina el contenido de antocianinas presentes en el pericarpio del fruto, ya que según Terry *et al.* (2007) la concentración de estos compuestos fenólicos pueden diferir en función de las características genéticas de las plantas (cultivares), así como la interacción biótica del medio donde se cultivan y factores abióticos tales como la luz, el manejo del agua, la fertilización y prácticas culturales.

La norma para la exportación de rambután CODEX STAN (2005) menciona que la calidad de un fruto entre otras variables, es refleja por el color rojo intenso del pericarpio dado por la concentración de antocianinas, sin embargo, en esta investigación de acuerdo a los resultados (°Hue y IS) se presentó un color rojo poco intenso, lo anterior pudiera atribuirse a las altas concentraciones de nitrógeno reportadas en el análisis foliar; ya que según Dorais y Ehret (2008) mencionaron que los metabolitos secundarios de las plantas como licopeno, fenoles y flavonoides carecen de nitrógeno en su estructura molecular, es decir, que en condiciones limitantes de nitrógeno en el suelo se favorece la concentración de dichos compuestos y viceversa; no así para P, ya que este elemento es necesario para la biosíntesis de metabolitos primarios y secundarios (Nell *et al.*, 2009). Además de favorecer la síntesis de compuestos fitoquímicos como ácido ascórbico,

antocianinas y flavonoides (Dorais y Ehret, 2008). Los resultados en esta investigación muestran concentraciones de P deficientes en tejido foliar en los tratamientos (Figura 4), lo que explicaría el bajo o nulo incremento de los compuestos fenólicos (antocianinas) en el pericarpio en los frutos de rambután.

Según Landrigan *et al.* (1996), el obscurecimiento del pericarpio y de las protuberancias es independiente; el obscurecimiento de las protuberancias empieza primero y es mayor que el del pericarpio, ya que la medición objetiva del color se realiza en su superficie, mientras que la medición subjetiva se realiza de manera general en el fruto. A los tres días, el fruto visualmente es inaceptable; el obscurecimiento de las protuberancias provoca una apariencia desagradable, al disminuir el potencial hídrico, también la turgencia de la célula, permitiendo la oxidación de los fenoles (antocianinas) y llevando a la muerte de la célula.

5.4.3. Pérdida fisiológica de peso

En Cuadro 11; se muestra la pérdida de peso en los frutos, observando que disminuye conforme pasa el tiempo de cosecha, a partir del tercer día el T₁: Biofertilizante mBayfolan[®] fue el que menos peso perdió, siendo estadísticamente superior respecto al resto de los tratamientos para las fechas posteriores; a siete días después de la cosecha los frutos de los árboles a los que no se les asignó algún tratamiento presentaron la mayor deshidratación, siendo esta superior hasta un 11.5% con respecto al mejor tratamiento (T₁: Biofertilizante + Bayfolan[®]).

Cuadro 11. Pérdida fisiológica de peso (%) en frutos de rambután durante siete días de almacenamiento a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.

Tratamientos	Tiempo después de cosecha (días)			
	2	4	6	8
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan [®]	2.6 ^{aD}	7.7 ^{bC}	16.3 ^{bB}	23.5 ^{cA}
T ₂ Biofertilizante	3.6 ^{aD}	9.8 ^{abC}	21.5 ^{aB}	30.2 ^{bA}
T ₃ Bayfolan [®]	3.2 ^{aD}	9.0 ^{abC}	21.8 ^{aB}	27.8 ^{bA}
T ₄ Testigo	4.6 ^{aD}	11.9 ^{aC}	24.8 ^{aB}	35.0 ^{aA}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

En los dos primeros días después de la cosecha, no se presentaron pérdidas significativas de peso entre los tratamientos evaluados, fue a partir del cuarto día que la deshidratación provocó pérdida fisiológica de peso, los frutos provenientes de árboles tratados con biofertilizante y Bayfolan® (T₁) presentaron la menor pérdida de peso (7.7%), mientras que el resto de los tratamientos perdieron entre 9.0 y 11.9% del peso inicial, esta tendencia fue similar para el sexto y octavo día después de la cosecha; cabe resaltar que al final de la evaluación fueron los frutos de árboles testigo los que mayor deshidratación presentaron, disminuyendo su peso fisiológico hasta en 35% con respecto al peso inicial. A los siete días de postcosecha solo el T₁ (Biofertilizante más Bayfolan®) mostró los frutos con una menor pérdida de peso, el biofertilizante (T₂) y el Bayfolan® (T₃) aplicados de manera unitaria presentaron un efecto similar en la pérdida de peso, el testigo fue el que presentó los frutos con la mayor deshidratación en la última fecha.

Cuando es comparada la tendencia de la pérdida de peso dentro de cada tratamiento en función del tiempo, se observó de manera general que todos los tratamientos perdieron peso conforme transcurren los días después de la cosecha, cabe señalar que la mayor pérdida de peso se presentó entre el segundo y cuarto día de evaluación, siendo los frutos provenientes de árboles testigos (T₄) y los que sólo fueron fertilizados con biofertilizante al suelo (T₂) los que mayor pérdida inicial de peso presentaron con valores de 4.6 y 3.6% respectivamente; estos valores marcan la pauta para la pérdida de peso final, el tratamiento que menor pérdida de peso inicial presentó fueron los frutos provenientes de árboles fertilizados al suelo y vía foliar (T₁) sosteniendo la tendencia hasta el final de la evaluación.

Otro factor que influyó sobre la deshidratación de los frutos es la disponibilidad de K en el suelo, ya que este nutrimento está directamente relacionado con la concentración de sólidos solubles totales, la osmoregulación y el cierre y apertura de estomas, de acuerdo al análisis DOP, se observa que los árboles que no fueron fertilizados (testigo) presentan el mayor desbalance negativo de este elemento, de ahí que al haber menor concentración de azúcares y mayor proporción de agua, aunado a que los espiternos son considerandos los principales

responsables de la deshidratación por la alta presencia de estomas en su estructura y estos se encuentran conectados de manera directa con la epidermis del fruto y al existir un déficit de K la apertura y cierre de estomas es menos eficiente, por lo tanto implica una mayor pérdida de agua.

Una respuesta similar fue descrita por Landrigan *et al.*, (1996) quienes reportaron pérdidas de peso de 23 y 35% a los ocho días de cosecha, de acuerdo con los datos obtenidos, los frutos de rambután presentan un alto porcentaje de pérdida de peso, esto se relaciona con la pérdida de agua durante la transpiración que presentan los frutos. Lo anterior debido a su estructura anatómica, ya que presentan una gran cantidad de espiternos en el pericarpio del fruto y por tanto una alta densidad estomática (50-70 por mm²) en dichas protuberancias (Landrigan *et al.*, 1994), por otra parte, Reyes-Moreno, (2017) mencionó que los espiternos se encuentran unidos al pericarpio del fruto existiendo una conexión vascular, por lo tanto son los principales responsables de la deshidratación del fruto. Muchos frutos y vegetales contienen más de 80 g de agua por cada 100 g de fruto (Wills, *et al.* 2004), el fruto de rambután contiene alrededor de 82.9 g de agua, (Van Welzen y Verheij, 1991). La transpiración se produce por una diferencia de presión entre el fruto y el ambiente, provocando la pérdida de agua y por lo tanto la disminución de peso (Guardarrama, 2001).

Por otra parte Zenil, (2006) mencionó que los cambios postcosechas dados en el fruto de rambután almacenados a temperatura ambiente están estrechamente relacionados con la pérdida de agua que se da a través de las protuberancias del fruto, estos presentan un aumento de la tasa de respiración, un incremento considerable y continuo de la pérdida de peso y de electrolitos. Estudios realizados en rambutan por Avendaño-Arrazate (2011) han encontrado una gran cantidad de estomas permanentemente abiertos que permiten la pérdida de agua sin control en los espiternos; Por lo anterior, se sugiere que esto pudiera ser el factor determinante que explica los valores de pérdida de agua del fruto.

Por otra parte, trabajos realizados en rambután dan como una alternativa utilizar atmósferas modificadas para disminuir hasta en un 20 a 30% la pérdida de

peso debido a la deshidratación que presentan los frutos durante la senescencia (Hernández-Arenas *et al.*, 2012).

5.4.4. Acidez titulable

Los frutos de rambután contienen diferentes tipos de ácidos en el arilo o parte comestible, predominando el ácido cítrico (Sivakumar *et al.*, 2000), también existe en menor cantidad el ácido succínico (Paul y Chen, 1987).

En el Cuadro 12, se muestra el efecto que tienen los tratamientos sobre la concentración de ácidos orgánicos, expresada en porcentaje de acidez titulable (AT), en este se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas a los 1, 3 y 5 días después de la cosecha (DDC), no así para los frutos provenientes de árboles fertilizados al suelo con solo biofertilizante (T₂) y plantas testigo (T₄), ya que en estos se incrementó el porcentaje de AT, con valores de 0.58% a los siete DDC .

Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en la acidez titulable (%) de ácido cítrico (AC).

Tratamientos	Tiempo después de cosecha (días)			
	1	3	5	7
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	0.53 ^{aA}	0.51 ^{aA}	0.54 ^{aA}	0.54 ^{bA}
T ₂ Biofertilizante	0.50 ^{aB}	0.52 ^{aB}	0.56 ^{aAB}	0.58 ^{aA}
T ₃ Bayfolan®	0.50 ^{aA}	0.50 ^{aA}	0.52 ^{aA}	0.53 ^{bA}
T ₄ Testigo	0.51 ^{aB}	0.54 ^{aAB}	0.55 ^{aAB}	0.58 ^{aA}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuando es analizado el efecto de cada tratamiento sobre la AT en frutos conforme avanzan los DDC, fueron los frutos provenientes del T₂ y T₄ (solo biofertilizante y árboles sin fertilización, respectivamente) los que incrementaron en porcentaje de AT a los 5 y 7 DDC, con valores fluctuantes entre 0.55 y 0.58% de ácido cítrico.

Mendoza *et al.* (1972) mencionaron que el comportamiento del AC en pulpa de rambután (arilo) durante la postcosecha no ha sido consistente; y otros autores sugieren que existe una disminución inicial de este parámetro, seguida de un ligero incremento, este comportamiento es asociado con una rápida disminución del ácido succínico y un gradual aumento del ácido cítrico (Paul y Chen, 1987). Puesto que el rambután tiene características muy similares al litchi se puede hacer una comparación en el metabolismo de los ácidos orgánicos presentes en dichos frutos; Wang *et al.* (2006) encontraron que el ácido málico es el principal ácido orgánico en frutos, el cual se incrementa durante el desarrollo temprano del arilo y disminuyó drásticamente conforme el fruto se acerca a la madurez; sin embargo, en la madurez de cosecha, el ácido málico representa el 80% de los ácidos, sin embargo este disminuye en postcosecha, incrementándose otros ácidos como el cítrico, succínico, levulínico, glutárico, malónico, y los ácidos lácticos.

Además López-Busio *et al.* (2000) encontraron que el metabolismo de los ácidos orgánicos en frutos está estrechamente relacionado con el estrés del árbol, siendo estos componentes clave para la tolerancia de las plantas a las deficiencias nutrimentales, tolerancia a metales como el aluminio por efecto de pH e interacción negativa planta-microorganismos en la interfaz del suelo. Herrera-Estrella *et al.* (1999) afirmaron que una planta sometida a estrés segrega altas cantidades de exudados ácidos por la raíz, con el fin de solubilizar nutrimentos no disponibles por medio de compuestos fenólicos y fitosideróforos, además de restringir el paso de metales tóxicos a través de la raíz, los ácidos identificados para esta función son el citrato, malato y péptidos, también funcionan como atrayentes de microorganismos benéficos que mejoran el proceso nutrimental de la planta.

A nivel metabólico, los ácidos orgánicos regulan el potencial osmótico a nivel celular, además de propiciar el intercambio de cationes en la raíz cuando las condiciones del suelo son adversas (Rees, 1990); por otra parte Imsande y Touraine (1994) mencionaron la importancia de los ácidos orgánicos en la absorción y asimilación de N en forma de NO_3^- , siendo estos determinantes para el intercambio

activo en la raíz y en el funcionamiento de la nitrato y nitrito reductasa para la reducción a NH_4^+ asimilable.

5.4.5. Firmeza

La firmeza es un indicativo del grado de deshidratación del pericarpio y su consecuente oscurecimiento y pérdida de calidad visual de los frutos (Hernández-Arenas *et al.*, 2012).

En la Cuadro 13, se observa que los frutos provenientes de árboles tratados con biofertilizante y Bayfolan® (T₁) presentaron una mayor firmeza en el pericarpio a los siete días después de la cosecha, presentando diferencias significativas durante cada día de evaluación; para los tratamientos T₂: (Biofertilizante) y la aplicación foliar de Bayfolan® (T₃) el comportamiento de la pérdida de firmeza fue similar al tercer, quinto y séptimo día de postcosecha; siendo los frutos del T₄ (testigo) los que presentaron el menor valor de firmeza al séptimo día (2.3 Nw).

Cuadro 13. Firmeza (Nw) en frutos de rambután durante siete días de almacenamiento a temperatura ambiente 26 ± 2 °C.

Tratamientos	Tiempo después de cosecha (días)			
	1	3	5	7
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	4.4 ^{aA}	4.1 ^{aA}	4.0 ^{aA}	3.9 ^{aA}
T ₂ Biofertilizante	3.4 ^{cA}	3.4 ^{bA}	3.2 ^{bA}	3.0 ^{bA}
T ₃ Bayfolan®	4.1 ^{bA}	3.5 ^{bB}	3.3 ^{bB}	3.1 ^{bB}
T ₄ Testigo	2.8 ^{dA}	2.7 ^{cAB}	2.5 ^{cAB}	2.3 ^{cB}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuando la tendencia de la firmeza es comparada dentro del tratamiento en función del tiempo de postcosecha, los frutos del tratamiento T₁: Biofertilizante más Bayfolan® mantuvieron su turgencia hasta el séptimo día de evaluación; a mayor tiempo de cosecha, la firmeza del pericarpio del fruto disminuye, siendo los frutos provenientes de árboles no tratados los que presentaron menor firmeza desde la cosecha, presentando valores de 2.8 y 2.3 (Nw) entre la primera y la última fecha

de evaluación, es decir, estos perdieron el 18% de la firmeza; cuando se combina una fuente de fertilización orgánica al suelo y química vía foliar, se incrementa la firmeza de los frutos hasta en un 29% en la cosecha, esto comparado si solo se aplicara una fuente orgánica o química de manera separada, manteniendo la tendencia desde la cosecha hasta que termina su vida de anaquel.

Los resultados anteriores coinciden con lo sugerido por Smith *et al.* (2003) quienes muestran que la disminución de la firmeza se debe a un incremento en las hidrolasas de la pared celular, tales como la poligalacturona (PG); lo anterior debido al incremento de la actividad enzimática de la pectinmetilesterasa (PME), la cual es activada por el etileno, esta actúa desesterificando las pectinas para posteriormente ser hidrolizadas por la PG. Manganaris *et al.* (2007), sugieren que al realizar un óptimo manejo de la nutrición de los cultivos previo a la cosecha, mejora la firmeza de los frutos, siendo el Ca^{2+} determinante para esta característica, esto mediante la formación de puentes iónicos entre el calcio y los grupos carboxílicos libres de ácido galacturónico, además de fortalecer la estructura de la pared celular.

El calcio es un elemento de baja movilidad en los tejidos vegetales siendo la fertilización foliar una alternativa para la eficiencia de este nutrimento y corregir una deficiencia en etapas críticas en los cultivos (Ginsberg, 1985). Saucedo *et al.* (2005) sugieren que frutos pretratados con Ca^{2+} y almacenados disminuyen el porcentaje de pérdida de peso y firmeza. Lo anterior indica que el Bayfolan® aplicado vía foliar mejora características postcosecha de los frutos de rambután, en gran medida por el Ca^{2+} contenido.

5.4.6. Sólidos solubles totales (SST) o °Brix

De acuerdo con Paul y Cheng (1987), el fruto del rambután, por su comportamiento no climatérico, después de la cosecha no experimenta cambios drásticos en el metabolismo de azúcares y ácidos orgánicos que signifiquen pérdidas importantes de la calidad organoléptica.

Por otra parte, O'Hare (1997) mencionó que aun cuando se presenten cambios en el contenido de SST y AT, estos son ligeros, en comparación con el

comportamiento de los frutos climatéricos. En el Cuadro 14, se observa un cambio mínimo en cuanto a la concentración de SST en las cuatro fechas de evaluación, sin embargo, se aprecia que el testigo o frutos de plantas no tratadas siempre presentan la menor concentración de SST, siendo los frutos de plantas tratadas con algún fertilizante ya sea de origen mineral u orgánico (biofertilizante y Bayfolan®) estadísticamente superiores con respecto al testigo; se observa que en el primer día después de la cosecha, los frutos fertilizados al suelo con el biofertilizante en combinación con Bayfolan® vía foliar presentaron datos estadísticamente superiores (20.1) con respecto a los frutos de árboles tratados con solo una fuente fertilizante, incrementándose los SST en un 7%.

Los datos anteriores coinciden con los reportados por Hernández *et al.* (2012) cuando almacenan frutos de rambután a 10 °C estos presentan un valor de 19.3 °Brix, además observan que estos disminuyen gradualmente conforme pasan los días de cosecha, sin embargo, Tian *et al.* (2002) sugieren que estos se incrementan conforme a los días posteriores a la cosecha.

Cuadro 14. Sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de rambután en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Tiempo después de cosecha (días)			
	1	3	5	7
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	20.1 ^{aA}	19.2 ^{aA}	19.6 ^{aA}	19.8 ^{aA}
T ₂ Biofertilizante	18.6 ^{bA}	18.7 ^{abA}	19.0 ^{abA}	18.4 ^{bA}
T ₃ Bayfolan®	18.7 ^{bAB}	19.5 ^{aA}	18.2 ^{bB}	19.6 ^{aA}
T ₄ Testigo	16.9 ^{cB}	18.6 ^{bA}	17.2 ^{cAB}	17.9 ^{bA}

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con literales minúsculas diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos. Medias con literales mayúsculas diferentes presentan diferencias significativas dentro del tratamiento y en función del tiempo de postcosecha transcurrido (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Cuando el K⁺ absorbido es más bajo que la demanda, el potasio ya presente en hojas es movilizado hacia los frutos, lo que disminuye el crecimiento de la planta, el amarre y calidad de frutos (Besford y Maw, 1975). La aplicación foliar de K en precosecha, es una de las más importantes prácticas para mejorar la calidad de los frutos (Mandal *et al.*, 2012). Por lo anterior, la aplicación al suelo o foliar de

fertilizantes ricos en potasio mejora la calidad de los frutos, de ahí que la aplicación del biofertilizante en combinación con Bayfolan® siempre presentaron los valores más altos de SST.

5.5. Variables físicas

5.5.1. Diámetro radial y diámetro ecuatorial

Los resultados del diámetro radial y diámetro ecuatorial en los frutos de rambután no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, considerando que ambas variables están estrechamente relacionadas con el peso de la mayoría de los frutos, pero no así para rambután, ya que Vargas (2003) asegura que los componentes del peso son el pericarpio, el arilo y la semilla; si bien, el calibre de los frutos para su exportación es determinante en la calidad, en caso particular de rambután, el CODEX STAN (2005) propone que es más importante el peso y el color del mismo.

Cuadro 15. Diámetro radial y diámetro ecuatorial (mm) en frutos de rambután en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	DR (mm)	DE (mm)
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	40.9 a	38.7 a
T ₂ Biofertilizante	33.1 a	32.7 a
T ₃ Bayfolan®	36.3 a	35.4 a
T ₄ Testigo	33.2 a	33.7 a

DR= Diámetro radial, DE= Diámetro ecuatorial. Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Vanderliden *et al.* (2005) sugieren que las prácticas culturales de las regiones productoras son determinantes en el tamaño de la fruta, además de que existe una estrecha correlación de esta variable y el tamaño del árbol, es decir, que a mayor tamaño de árbol mayor tamaño de fruto. A lo anterior, se sugiere considerar la interacción entre la fertilidad del suelo, el ambiente en el que se desarrolla el cultivo, el manejo del huerto y la variedad utilizada. Hochmuth (2003) mencionó que la aplicación de fertilizantes es con la finalidad de nutrir bien a las plantas con el

objetivo de favorecer su crecimiento, aumentar su producción así como mejorar la calidad comercial y el tamaño de frutos.

5.5.2. Peso fresco

Con respecto a los resultados obtenidos en el peso fresco de los frutos, los árboles a los que se les suministro las dos fuentes de fertilización biofertilizante aplicado al suelo y Bayfolan® vía foliar (T₁) fue estadísticamente superior con un valor de 32.0 g, posteriormente fueron los frutos de las plantas tratadas con Bayfolan® vía foliar (30.4 g) y finalmente las plantas solo tratadas con biofertilizante al suelo (T₃) y el testigo (T₄) los frutos que presentaron el menor peso fresco.

Lo anterior se atribuye a la mayor concentración de nutrientes en los tejidos vegetales, corroborando que los árboles fertilizados al suelo y vía foliar presentan los valores más altos en su concentración nutricional como se observa en el análisis DOP.

Cuadro 16. Peso fresco (g) en frutos de rambután.

Tratamientos	Peso fresco (g)
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan®	32.0 a
T ₂ Biofertilizante	28.6 b
T ₃ Bayfolan®	30.4 ab
T ₄ Testigo	28.8 b

Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con distinta letra en la misma columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Martínez *et al.* (2006) mencionan que para lograr un buen desarrollo de los árboles frutales y obtener rendimientos óptimos, es necesario la elaboración de un programa de fertilización; además, para lograr una buena producción anual se debe aplicar materia orgánica y fertilizantes orgánicos que aporten N, P y K⁺, en cantidades adecuadas en función de las etapas críticas de los frutales; por otra parte Fallahi *et al.* (2002) mencionaron que la fertilización al suelo presenta algunas desventajas sobre todo en etapas críticas del cultivo, ya que muchos de los nutrientes proporcionados se pierden por lixiviación, de ahí que la fertilización foliar es una alternativa favorable en términos de oportunidad y eficiencia.

Allen (1970) y Han *et al.* (1989) encontraron que hasta el 80% del nitrógeno foliar es absorbido por las hojas, mientras que Ford (1968) mostró que el nitrógeno foliar aumenta las concentraciones en hojas hasta en un 50%; aunque por otra parte (Weinbaum, 1988) mencionó que la respuesta del árbol a la aplicación foliar de nutrimentos puede ser inconsistente y específica para cada nutrimento, ya que esta depende en gran medida de la demanda y el estado fenológico en la que se encuentra el cultivo.

Se observa que los tratamientos más destacados para peso fresco de fruto, fueron los suministrados con fertilizante vía foliar, en este caso el producto comercial Bayfolan® Forte, ya que es una fórmula especial concentrada de nutrimentos que contiene vitaminas y fitohormonas, actúa estimulando los procesos metabólicos de las plantas, vigorizándolas al proporcionarles los nutrimentos indispensables para su buen desarrollo, la planta los aprovecha “íntegramente” y su efecto se manifiesta en cultivos vigorosos, cosechas abundantes y de calidad (Bayer, 2003).

Si bien Bayfolan® Forte contiene nutrimentos minerales, compuestos orgánicos, algunos autores reportan que el uso de bioestimulantes de origen sintético favorecen el calibre de frutos, de lo anterior se sugiere que el AIA (auxina) presente en el producto, promueven el crecimiento por un aumento de la expansión celular. De acuerdo con la hipótesis del “efecto ácido” sobre el crecimiento, las auxinas estimulan la actividad de la bomba de protones (H^+ -ATPasa) localizada en la membrana plasmática a través de dos mecanismos: activación de las bombas preexistentes y por inducción de síntesis de nuevas H^+ -ATPasas. La extracción de protones hacia la pared celular genera una reducción del pH (acidificación) lo que a su vez activa proteínas que rompen enlaces de hidrógeno entre los constituyentes de la pared. Los candidatos más probables para este papel inicial son las expansinas, proteínas de pared que favorecerían inicialmente a la plasticidad de la célula. Otras enzimas hidrolíticas actuarían posteriormente y la célula crecería como resultado de la presión de turgor generada por la vacuola y por el depósito de nuevos materiales, cuya síntesis y transporte también parecen ser regulados por auxinas (Hager, 2003). Las auxinas también inducen de manera indirecta la síntesis

de giberelinas, hormonas que promueven la elongación celular, por lo que las auxinas también estimularían el crecimiento en forma indirecta.

El cultivo de rambután al igual que la mayoría de las plantas es dependiente del suministro adecuado y oportuno de los nutrientes, siendo los abonos orgánicos una alternativa para su suministro, aunado al enriquecimiento de los suelos con microorganismos que fomenten la mineralización, solubilidad y absorción de los nutrientes.

5.5.3. Relación pericarpio, arilo y semilla

En el Cuadro 17 se observa que estadísticamente no existen diferencias significativas en el porcentaje de pericarpio, arilo y semilla como efecto de los tratamientos evaluados, sin embargo, el porcentaje promedio de arilo en los diferentes tratamientos evaluados es alto, considerando con lo encontrado por Vargas (2003) en los cultivares R-162 (40.8%), R-34 (44.3%), para el cultivar Rongrien es mayor con un 51.9%, el porcentaje de arilo está en función del de cultivar. El tamaño del arilo es una de las características más importantes para la comercialización y la aceptación de los frutos de rambután en el mercado, ya que es la parte comestible del fruto, de color translúcido con sabor ácido-dulce y en algunos cultivares comerciales se adhiere a la semilla (Thindall *et al.*, 1994).

Cuadro 17. Proporción pericarpio, arilo y semilla en frutos de rambután.

Tratamientos	P %	A %	S %
T ₁ Biofertilizante + Bayfolan [®]	41.6 ^a	46.1 ^a	11.4 ^a
T ₂ Biofertilizante	43.7 ^a	45.1 ^a	11.0 ^a
T ₃ Bayfolan [®]	44.3 ^a	45.0 ^a	10.6 ^a
T ₄ Testigo	42.5 ^a	44.9 ^a	11.4 ^a

P= pericarpio, A= arilo, S= semilla. Valores de 20 frutos por tratamiento. Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

La relación pericarpio, arilo y semilla en el fruto de rambután es uno de los aspectos importantes en cuanto a la calidad, ya que se busca una mayor proporción de arilo ya que es la parte comestible del fruto; Reyes-Moreno, (2017) mencionó que el desarrollo de los frutos después de la polinización implica el crecimiento de las semillas hacia la madurez la ampliación del ovario y al crecimiento o desarrollo

del receptáculo, el arilo constituye la pulpa que es la parte comestible del fruto, esta deriva del funículo de la semilla y comienza a formarse a los 70 días después de la antesis, cubriéndola en su totalidad hacia la madurez, el pericarpio del rambután es seco e indehisciente y contiene una sola semilla en su interior, por lo tanto, se trata de una nuez. Para aumentar la relación de pericarpio, arilo y semilla es necesario buscar variedades que cumplan con estas características y hacer mejoramiento genético que permita tener una mayor relación de arilo que pericarpio y semilla. Autores como Caballero-Pérez *et al.* (2011) sugieren que las variedades como RI-148 y RI-115 sobresalientes de Tuxtla Chico, Chiapas, presentan un buen tamaño de los frutos y un mayor porcentaje de arilo con un valor de 44.28 y 40.90%, de semilla 8.73 y 8.36%, y pericarpio 46.99 y 50.74%, respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y a las condiciones climáticas donde se llevó a cabo el estudio, se presentan las siguientes conclusiones:

La fertilización con biofertilizante mejora características químicas del suelo como el pH, el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC); además se incrementó ligeramente el contenido de N y P. Estos beneficios en la fertilidad del suelo aunado a la fertilización vía foliar mejoraron los contenidos nutrimentales del tejido foliar, mostraron un menor desbalance que en los árboles no fertilizados.

La aplicación de biofertilizante al suelo a lo largo del ciclo del cultivo en combinación con fertilización vía foliar como complementos a la fertilización convencional, incrementaron el peso de los frutos, más no influye sobre la relación pulpa/semilla; cuando esta fertilización es aplicada de manera unitaria, los resultados son similares a frutos de árboles testigo.

En cuanto a parámetros de calidad de cosecha y vida de anaquel, siempre que se aplica biofertilizante al suelo y Bayfolan® vía foliar, los frutos presentan una menor pérdida de peso conforme transcurren los días de cosecha, además, son frutos con mayor firmeza y sabor dulce (SST), también se inhibe el porcentaje de pericarpio dañado; en cuanto a color no se encontraron influencia de los tratamientos.

El uso del biofertilizante aplicado al suelo junto con la fertilización foliar, incrementaron el 11.4% del peso fresco de los frutos de rambután y mejoran la calidad del fruto en postcosecha confiriéndole una mejor apariencia al pericarpio (color rojo intenso) a los siete días después de la cosecha. Por lo tanto se recomienda el uso del biofertilizante junto con el Bayfolan® para mejorar la calidad y la vida de anaquel de los frutos de rambután. Haría falta evaluar el costo de esta práctica y el beneficio que se obtendría para implementarlo como una práctica normal en el cultivo del rambután en el Socusco Chiapas, México.

VII. LITERATURA CITADA

- Aburto-González, C. A., G. Alejo-Santiago, L. G. Ramírez-Guerrero y R. Sánchez-Hernández. 2017. Concentración foliar de macronutrientes en diferentes etapas fenológicas del litchi cv. Brewster. *Interciencia Asociación Interciencia Caracas, Venezuela*. Vol. 42: 441-445.
- Acuña, O. 2003. El uso de biofertilizantes en la agricultura. Taller de abonos orgánicos. Centro de investigaciones agronómicas de la universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica, 78 pp.
- Adriano, M. L., F. Gutiérrez, L. Dendooven, M. Salvador-Figueroa 2012. Influence of compost and liquid bioferment on the chemical and biological characteristics of soil cultivated with banana (*Musa spp. L.*) *J. Soil Sci. Plant Nutr.* (12): 33-43.
- Aguado-Lara, G., Etchevers-Barra, .J. D., Hidalgo-Moreno., C. Galvis., S.A. and A. Aguirre-Gómez. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencias* 36 (1): 11-21.
- Alarcón-Cedeño, B. D. 2015. Elaboración de un biofertilizante a base de residuos orgánicos para su aplicación en el cultivo de ciclo corto; *Lycopersicon Esculentum* con el propósito de reducir el uso de fertilizantes químicos en el Cantón Palenque, Provincia Los Ríos, tesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas. 134 pp.
- Alcántar-Gonzales, G., L. I. Trejo-Téllez., F. C. Gómez-Merino. 2016. Nutrición de cultivos. Segunda edición. Bba biblioteca básica de agricultura. Colegio de postgraduados, Montecillo Edo de México. 443 pp.
- Aldama J. M. 2011. Análisis Foliar. Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V. https://www.google.com.mx/#q=AN%C3%81LISIS+foliar+Laboratorios+A-L+de+M%C3%A9xico,+S.A.+de+C.V.&*&spf=1 (Consultado: Noviembre 2017).

- Alejo-Santiago, G., G. Luna-Esquivel., E. Salcedo-Pérez., R. Sánchez-Hernández., y C. A. Aburto-González. 2015. Dinámica de crecimiento y extracción nutrimental del fruto de litchi (*Litchi chinensis* sonn) cv. Brewster. Ecosistemas y recur. agropecuarios, Villahermosa. 2(4): 1-12.
- Alemán, F., M. Nieves-Cordones, V. Martínez, and F. Rubio. 2011. Root K⁺ acquisition in plants: the *Arabidopsis thaliana* model. Plant Cell Physiol. 52: 1603-1612.
- Allen, M. 1970. Uptake from inorganic sprays applied to apple trees. Pesticides Science 1:152–15.
- Anónimo, 2004. Compendio sobre las frutas tropicales. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 16 pp.
- Arias T y Melvin 2004. El cultivo de rambután (*Nephelium lappaceum L*) O mamón Chino. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. III. Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 37 pp.
- Arias, M. y I. V. Calvo. 2014. Consideraciones generales para el manejo del cultivo de rambután. San José, Costa Rica: MAG-INTA-FITTACORI. 88 pp.
- Arias, T. M. 2004. El cultivo de rambután (*Nephelium lappaceum L*) O mamón Chino. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. III. Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 37 p
- Armenta-Borjoquez, A., D. G. García., B. R. Camacho., S. M. Apodaca., A. Montoya. y P. E. Nava. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo de la agricultura de México, Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. 51-56 pp.
- Association official Agricultural Chemist (AOAC). 1990. Official methods of analysis of Association Official Analytical Chemist. 13 ed. Washington D. C. 1123 pp.

- Avendaño-Arrazate, C, H., L, Arévalo-Galarza., A, Sandoval-Esquivel., J, F, Caballero-Pérez. 2011. El rambután (*Nephelium lappaceum*) un cultivo con alto potencial de explotación en el sur de México. *Agroproductividad* 4(2): 9-17.
- Ávila A. R. 2011. Métodos de multiplicación de frutales no tradicionales con potencial productivo en la Huasteca Potosina. Inifap. 46 pp.
- Ávila, F. W., V. Faquin, S. J. Ramos, G. L. Pinherio, D. J. Marquez, A. K. da-Silva, C. Ferreira and P. A. Ávila. 2012. Effects of phosphite and phosphate supply in a weathered tropical soil on biomass yield, phosphorus status and nutrient concentration in common bean. *J. Food Agric. Environ.* 10: 312-317.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders in plants. *Annual Review of Phytopathology* 17, 97–122.
- Bayer, 2003. Caracterización de Bayfolán forte. Disponible en www.bayercropscience.cljunio. (Consultado: abril 2017).
- Benton-Jones, J. J. and H. A. Mills. 1996. *Plant Analysis Handbook II*. Micromacro Publishing. United States of America. 422 pp.
- Besford, R. T. and G. A. Maw. 1975. Effect of potassium nutrition on tomato plant growth and fruit development. *Plant Soil*. 42: 395–412.
- Bình, V. V., H. Lê., V. T. Gương và N, M, Đông. 2014. HƯỞNG DÀI HẠN CỦA PHÂN HỮU CƠ TRONG CẢI THIỆN ĐỘ PHÌ NHIỀU ĐẤT VÀ NĂNG SUẤT TRÁI CHÔM CHÔM (*Nephelium Lappaceum* L.) TẠI CHỢ LÁCH -BẾN TRE. *Số chuyên đề: Nông nghiệp*. 3: 142-150.
- Borges, O. 2005. Efecto del FitoMas E en Frijol común. Plantado sobre suelo salino. Guantánamo. Estación de suelo de Guantánamo. VII Encuentro de Agricultura Orgánica. *Memorias*. La Habana 2:16-23.

- Boudet, A. A., F. Boicet., Y. M. Hernandez. 2015. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la respuesta agroproductiva del cultivo de habichuela (*Vigna unguiculata* L.). *Centro Agrícola*, 42(2):11-16.
- Cabalçeta, G., y E. Molina. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en Ultisoles, Inceptisoles, Vertisoles y Andisoles de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich. *Agronomía Costarricense*. 3:34-47.
- Caballero-Pérez, J. F., M. L. Arévalo-Galarza, C. H. Avendaño-Arrazate, J. Cadena-Iñiguez, G. Valdovinos-Ponce y J. F. Aguirre-Medina. 2011. Cambios físicos y bioquímicos durante el desarrollo y senescencia de frutos de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(1): 31-38 pp.
- Calvo, P., L. Nelson, and J. W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 383: 3-41.
- Canfield, D., A. N. Glazer., P. G. and Falkowski. 2010. The evolution and future of earth's nitrogen cycle. *Science*, 330: 192-196.
- Canovas, F., J. y R. Diaz. 1993. Cultivos sin suelo; curso superior de especialización. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Almería, Es, Fundación para la Investigación Agraria en la provincia de Almería. 165.
- CODEX STAN, 2005. Standard for rambután. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/zh/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2BS TAN%2B246-2005%252FCXS_246s.pdf. (consultado: enero 2018).
- Coronel, R. E., J. C. Zuno. and R. C. Sotto. 1983. Rambutan production, protection and food composition; Philippines, Laguna. *College of Agr*, 325-350.
- Crane, J., F. Zee, G. Bender, B. Faber, B. Brunner y C. Chia. 2005. Commercial Sapindaceus fruit production. *Acta Horticulture*, Wageningen, 665: 93-101.

- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press. Nueva York, EEUU. 1262 pp.
- Cruz, B. 2009. Micorrización en la conservación de los bosques. Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado De México. 6(2):159
- Chávez, E., R. León., O. Ruíz., C. Averos., y E. Peralta., 2011. Aplicación de biofertilizantes líquidos de producción local y su efecto en la rehabilitación de plantaciones de cacao fino y de aroma. In Memorias del I Congreso Binacional de Investigación en Ciencia y Tecnología de las Universidades del Norte del Perú y del Sur de Ecuador. Universidad Nacional de Piura-UNP. 67 pp.
- Cheval, C., D., Aldon, J., P. Galaud and Kanty B. 2013. Calcium Calmodulin-mediated regulation of plant immunity. Biochim. Biophys. Acta. 1833: 1766-1771.
- Davenport, T. L. 2000. Processes Influencing Floral Initiation and Bloom: the Role of Phytohormones in a Conceptual Flowering Model. Hort. Technology, 10(4): 733-739.
- Davies, W. J., G. Kudoyarova and W. Hartung. 2005. Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. Journal of Plant Growth Regulators, 24: 285-295.
- De León, J. 1987. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. San José, Costa Rica, OEA/IICA. 165-174 pp.
- Díaz-Montenegro, D. H. 2002. Fisiología de árboles frutales. AGT Editor, S. A. Progreso 202-Planta Alta, Col. Escandon, México 11800, D.F. 389 pp.
- Dorais, M., D, L, Ehret., and A, P, Papadopoulos. 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: From the seed to the consumer. Phytochem. Rev. 7, 231–250. 55.

- Dreyer, I. and N. Uosumi. 2011. Potassium channels in plant cells. FEBSJ. 218: 4293-4303.
- Dry, P. R., B. R. Loveys, M.G. Mccarthy, and M. Stoll. 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. J. Int. Sci. Vigne Vin 35:129-139 pp.
- Eghball, B., D. Ginting y J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. Agronomy Journal. 96: 442:447.
- Elein, T. A., A. Leyva., y A. Hernández., 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Revista colombiana de Biotecnología, 7(2), 47-54.
- Epstein, W. 1992. Kdp a bacterial P-type ATPase whose expression and activity are regulated by turgor pressure. Acta Physiol. Scand. Suppl. 607: 193-199.
- Evans, H. J. and G. J. Sorger. 1966. Effects of univalent cations on the properties of yeast NAD⁺ acetaldehyde dehydrogenase. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Enzymology and Biological Oxidation, 118(1):1-8.
- Evans, H. J. and G. J. Sorger. 1996. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17: 47-76.
- Fageria, N., B. M. Filho., A. Moreira, y C. Guimaraes. 2009. Fertilización foliar en plantas de cultivo. Journal of Plant Nutrition. 32:1044-1064.
- Fallahi, E., Khemira, H., Righetti, T. L., and Azarenko, A.N. 2002. Influence of foliar application of urea on tree growth, fruit quality, leaf minerals, and distribution of urea-derived nitrogen in apples. Acta Horticulture 594:603-610.
- Farungsang, U., S. Sangchote and N. Farungsang. 1992. Appearance of quiescent fruit rot fungi on rambutan stored at 13°C and 25°C. Acta Horticulturae, 321: 903-907.

- Feigin, A., I. Ravina y J. Shalnev. 1991. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. Adv. Ser. Agric. Sci. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 17: 60-68.
- FHIA, (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2006. Manual para el cultivo y propagación de rambután en Honduras. La Lima, Cortés, HN. p. 61.
- Flores, R. 2004. El futuro está en la tierra, suelos, abonos y materiales orgánicos. El porvenir, BO, Editorial Gustavo Gili, S.A p. 263.
- FONAG, (Fondo para la Protección del Agua). 2010. Abonos Orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Estados Unidos. 4-5 pp.
- Ford, E.M. 1968. The response to Epsom salt sprays of mature apple trees of three varieties on two contrasting rootstocks. J. Hort. Sci. 43:505–517.
- Fortuna, T. C. and P. T. Ramos. 1983. Chemical changes in ripening rambutan (*Nephilium lappaceum* L.) fruits, philippines, Philipp-Agric. Laguna: College of Agriculture and Central Experiment Station, 66(2): 151-155.
- Fraire, V. G. 2001. El Rambután: Alternativa para la producción frutícola del trópico húmedo de México. Folleto técnico No. 1. CIRPS-INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 36 p.
- Fregoso, M. D. S., R. Ferrera-Cerrato, J. E. Barra., G. A. González, J. T. Santos., L. B. Gómez, and G. P. Pérez, 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra*, 19(4): 353-362.
- Garcia, P. E., and G. A. B. Martins. 2006. Flowering and fruiting of lychee trees in response to girdling of branches. *Revista Brasileira de Fruticultura* 28: 14-17 pp.

- Garner, R. 1988. The propagation of tropical fruit trees. 1ed. ISBN. Inglaterra (UK): Commonwealth Agricultural Bureaux. 566 p.
- Garza, M. J. V. 2010. Transferencia de tecnología para la producción orgánica de Mango, Jacka y Tamarindo en el Estado de Nayarit. 2:21-25 pp.
- Gazit, S. and R. Stern. 2003. The reproductive biology of the Lychee. Hort. Rev. 28: 393-453.
- Gil, M. I., J. A. Tudela. y J. C. Espín. (2005) Pardeamiento. In: Nuevas Tecnologías de Conservación de Productos Vegetales Frescos Cortados. G A González-Aguilar, A A Gardea, F CuameaNavarro (eds). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Logiprint Digital S. de R. L. de C. V. México. 176 pp.
- Gil, P. M., E. Sergent y F. Leal. 2000. Efecto de la poda sobre variables reproductivas y de calidad en mango. Biagro, 10(1):18-23.
- Ginsberg, L. 1985. Postharvest physiological problems of avocado. South African avocado growers Association Yearbook. 8: 8-11.
- Godoy, T. G. C. y N. Reyes. 2007. Estudio de sector: Rambután. Programa Interinstitucional integrado para diversificación de las exportaciones en Honduras (PIIDEH). Tegucigalpa. 87 pp.
- Gros, A y V. A. Dominguez. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización. Ed Mundi Prensa, Madrid. 450 p.
- Guadarrama, A. 2001. Fisiología postcosecha de frutos. Alcance 61. Rev Fac. Agron. 139 p.
- Guong, V. T., Van Binh, V., Arnold, U., Guggenberger, G., and M. Becker. 2009. V-3: Short-Term Effects on Soil Properties and Plant Performance of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) by Amendment of Organic Materials. *Closing*

Nutrient Cycles in Decentralised Water Treatment Systems in the Mekong Delta, 178.

- Hager, A. 2003. Role of the plasma membrane H⁺-ATPase in auxin-induced elongation growth: historical and new aspects. *Journal of Plant Research* 116: 483-505.
- Han, Z., Zeng, X., and Wang, F. 1989. Effects of autumn foliar application of 15N-urea on nitrogen storage and reuse in apple. *J. Plant Nutr* 12: 675–685.
- Harsh, N. 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in waterstressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environment Experimental of Botany*, 50: 253-264 pp.
- Hassan, H. S. A., S. M. A. Sarrwy., and E. A. M. Mostafa. 2010. Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of “Hollywood” plum trees. *Agric. Biol. J. N. Am.* 1(4): 638-643
- Hawkesford. M. J. and A. J. Miller. 2004. Ion- coupled transport of inorganic solutes. Blackwell Publishing, Oxford, Uk, 105-134 pp.
- Hernández-Arenas, M., D. Nieto-Ángel., M. T. Martínez-Damián., D. Teliz-Ortiz., C. N. Díaz, y N. Bautista-Martínez. 2012. Almacenamiento postcosecha de rambután en dos temperaturas y atmósferas modificadas. *Inverciencia*. 37(7): 542-545.
- Herrera-Estrella, T., A. Guevara-García., and J. López-Bucio. 1999. Heavy Metal Adaptation, *Embryonic Encyclopedia of Life Sciences*, Macmillan Publishers. 13:23-25.
- Hiranpradit, H., P. Paiboonrat., S. Chandraparnik., and S. Jantrajoo., 1992. Quality standardization of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Acta Horticulture*, Wageningen, 321:708-712.

http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=en.

(Consultado: Junio 2017).

Hochmuth, G. J. 2003. Progress in mineral nutrition and nutrient management for vegetable crops in last 25 years. *HortScience* 35(5): 999-1003.

Huang, H. 2002. Unfruitfulness of young litchi trees in relation to their peculiar root behaviour. *Acta Horticulturae*, 575: 737-743.

Huang, X., W. Zhu., S. Dai., S. Gai., G. Zheng, and C. Zheng. 2008. The involvement of mitochondrial phosphate transporter in accelerating bud dormancy release during chilling treatment of tree peony (*Paeonia suffruticosa*). *Planta*. 228: 545-552.

Huang, X.M., Wang, H.C., Li., J. G. Yin., J. H. Yuan., W.Q., Lu., J. M., and H. B. Huang, 2005. An overview of calcium's role in lychee fruit cracking. *Acta Horticulturae*. 665: 231-240.

Imssande, J., and B. Touraine. 1994. N demand and the regulation of Nitrate uptake, *Plant Physiol*. 105: 3-7.

INAFED, 2016. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/index.html>. (Consultado: Julio 2017).

Jeschke, W. D., C. A. Atkins., and J. S. Pate. 1985. Ion circulation via phloem and xylem between root and shoot of nodulated white lupin. *J. Plant Physiol*. 117: 319-330.

Kader, A. A. 1992. Postharvest technology of horticultural Crops. Univ. Calif. Publ. 3311.

Kader, A. A. 2001. Quality assurance of harvested horticultural perishables. *Acta Horticulture*, 553: 51-55.

- Kennedy, J.K. and D.V. Berg. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. *Agric. Wastes* 4: 151-158.
- Ketsa, S. and O. Klaewkasetkorn. 1992. Postharvest quality and losses of “Rongrein” rambutan fruits in markets. *Acta Horticulture, Wageningen*, 321: 771-777 pp.
- Kirkby, E. A. and V. Römheld. 2007. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. The International Fertilizer Society, P. O. Box, York. 543 pp.
- Kondo, S., Nimitkiatklai, H. and Kanlayanarat S. 2002. Effect of chilling injury on cell wall metabolism during storage of rambutan fruit. *J. Trop. Agr.* 46: 259-264.
- Kosiyachinda, S., P. F. Lam., Jr. D. B. Mendoza, W. Broto and K. Wanichkul. 1987. Maturity indices for harvesting of rambutan, *In: Rambutan: Fruit Development, Postharvest Physiology, and Marketing in Asean. Indonesia.* 82 pp.
- Kotur, S. C. and H. P. Singh. 1993. Leaf-sampling technique in litchi (*Litchi chinensis*), *Indian J. Agric. Sci.* 63: 632-638.
- Kubota, N. and S. Kudo. 1992. Effects of soil moisture tension on phenolic contents and astringency in peach fruits. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.*, 61: 31-37.
- Lam, P. 1990. El cultivo de rambután. Malasia, Instituto de Desarrollo e Investigaciones de Agricultura de Malasia. 48 pp.
- Landrigan, M., V. Sarafis., S. C. Morris and W. B. McGlasson 1994. Structural aspects of rambután (*Nephelium lappaceum* L) fruits and their relation to postharvest browning. *J Hortic Sci* . 69: 571-579.
- Landrigan, S. C., M. Morris, D. Eamus and W. B. McGlasson. 1996. Postharvest water relationships and tissue browning of rambutan fruit. *Scientia Horticulturae*, 66: 201-208.

- Lee, S. K. and P. C. Leong. 1982. Quality attributes of a popular rambutan variety (*Nephelium lappaceum* L. cv. Jit Lee) in Singapore. Proceedings on the Workshop on Mango and Rambutan. University of the Philippines at Los Baños. Philippines. 113-116 pp.
- Leong, P. C. 1982. Summary report on mango and rambutan project in Singapore. Proceedings of the Workshop on Mango and Rambutan, University of the Philippines at Los Baños, Philippines. 30-33 pp.
- Li, G. L., Z. Q. Zhang, L. X. Yao, B. M. Yang, Z. H. He, and C. M. Zhou. 2012. Soil nutrient fertility in litchi orchards of Guangxi Zhuang Autonomous region and Fujian province (in Chinese). Chinese J. Soil Sci. 43:873-877.
- Li, Y. T., L. Davenport, R. Rao., and Q. Zheng. 2001. Nitrogen, flowering and production of lychee in Florida. Proc. I Int. Symp. on Litchi and Longan. Eds. H. Huang and C. Menzel. Acta Hort. 558: 221-224.
- Lichter A, O Dvir, I Rot, M Akerman, R Regev, A Wiesblum, E Fallik, G Zauberman, Y Fuchs (2000) Hot water brushing: an alternative method to SO₂ fumigation for color retention of litchi fruits. Postharv. Biol. Technol. 18:235-244.
- Lim, A. L. 1984. The reproductive biology of rambutan (*Nephelium lappaceum*). Gardens, bulletin, Singapore. 37(2): 181-192.
- Lopez-Bucio, J., M. F. Nieto-Jacobo., V. Ramírez-Rodríguez., L. Herrera-Estrella. 2000. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. Departamento de Ingeniería Genética de plantas, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Irapuato, Apartado postal 629, 36500 Irapuato, Guanajuato, Mexico. Plant Science 160 (2000) 1–13
- Lye, T.T., L.D.S. Laksmi, P. Maspol and S.K. Yong. 1987. Commercial rambutan cultivars in Asean, *In*: Lam, P.F., Kosiyachinda S. (eds.). rambutan: fruit

- development, postharvest physiology and marketing in Asean. Asean Food Handling Bureau, Kuala Lumpur, Malaysia. 286 pp.
- Maldonado-Peralta, R., A. Trinidad-Santos., D. Téliz-Ortíz., V. A. Velasco-Velasco, y V. H. Volke-Halle. 2012. Respuesta del litchi (*litche chinensis* sonn.) a la fertilización con NPK en el norte de Oaxaca, México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (3): 251-258.
- Mandal, G., H. S. Dhaliwal, and B. V. C. Mahajan. 2012. Effect of pre-harvest application of NAA and potassium nitrate on storage quality of winter guava (*Psidium guajava*). Indian Journal of Agricultural Sciences 82(11): 985–989.
- Marschner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2a ed., Academic Press, London. 889 pp.
- Marschner, H. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, San Diego CA. USA. 681 pp.
- Martin, E. 2010. Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo? (Spanish). College of Agriculture and Life Sciences. Universidad de Arizona. 17 pp.
- Martin, F., C. Campbell., R. Rubert. 1987. Perennial edible fruits of the tropics: an inventory. U.S. Department of Agriculture. Handbook No. 642: 252-257.
- Martínez, B. L., A. L. Castillo. y L. V. Ramon. 2006. “Diagnóstico del sistema de producción de rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) En la región Soconusco, Chiapas”. Reporte del trabajo de campo integrador II. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 29 pp.
- Masclaux-Deubrese, C., F. Daniel-Vedele, J. Dechorgnat, F. Chardon, L. Gaufichon, and A. Suzuki. 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. Ann Bot. 105:1141-1157.

- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *Hortscience*. 27(12): 1254-1255.
- Mendoza, D. B., E. B. Pantastico and E. B. Javier. 1972. Storage and handling of rambutan (*Nephilium lappaceum* L.). *Philippine Agriculture*, 55: 322-332.
- Menzel C M, and G. K. Waite (2005) Litchi and longan botany, production and uses. CABI Publishing. Nambour, Queensland, Australia. 297 p.
- Menzel, C. M. 2002. The lychee crop in the Asia and the Pacific. FAO/RAP Publication, Bangkok. Nambour, Queensland, Australia. 16 pp.
- Menzel, C. M., and C. A. McConchie. 2000. Lychee and longan. *The New Rural Industries a Handbook for Farmers and Investors*. 288-295.
- Menzel, C. M., G. F. Haydon, and D. R. Simpson. 1992. Mineral nutrient reserves in bearing litchi trees (*Litchi chinensis* Sonn.). *Australia. Society Horticultural Science*. 67: 149-160.
- Mesa, J. R. 2004. Propuesta de sistema de gestión ambiental para el vivero de frutales de la empresa cultivos varios cienfuegos Cuba, Universidad Agraria. 345-350 pp.
- Molina, E. 2013. Diagnóstico del estado nutricional de plantaciones de rambután en zona sur de Costa Rica. Universidad de Costa Rica y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 345. pp.
- Montañés, L., Heras, L., and Sanz, M. 1991. Desviación del óptimo porcentual (DOP): nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. *An. Aula Dei*, 20(3-4), 93-107.
- Morcuende, R., R. Bari, Y. Giboon, W. Zheng, B. D. Pant, O. Blasing, B. Usadelt, T. Czechowski, M. K. Udvardi, M. Stitt, and W. R. Scheible. 2007. Genome-wide reprogramming of metabolism and regulatori networks of *Arabidopsis* in response to phosphorus. *Plant Cell Environ*. 30: 85-112.

- Morton, J. 1987. Sapindaceae, *In*: Fruits of warm climates. University of Miami, Coral Gables, Florida, USA. 249-269.
- Murillo-Castillo, R. G., G. Piedra-Marín, R. G. León. 2013. Absorción de nutrientes a través de la hoja nutrient uptake by leaf. Heredia, Costa Rica. UNICIENCIA. 27(1): 232-244.
- Nacry, P., G. Canivenc, B. Muller, A. Azmi, H. V. Onckelen, M. Rossignol, and P. Doumas. 2005. A role for auxin redistribution in the response of the root system architecture to phosphate starvation in *Arabidopsis*. Plant Physiol. 138: 2061-2074.
- Nell, M., M, Vötsch, H, Vierheilig., S, Steinkellner., K, Zitterl-Eglseer., C, Franz., and J, Novak. 2009. Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage (*Salvia officinalis* L.). J. Sci. Food Agric. 2009, 89, 1090–1096.
- NOM-FITO 2002. (NORMA Oficial Mexicana) Requisitos fitosanitarios para la producción y movilización de material propagativo libre de virus tristeza y otros patógenos asociados a cítricos. SAGARPA. 17 pp.
- Ong, P. K. C., T. E. Acree and E. H. Lavin. 1998. Characterization of volatiles in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* L.). Journal for Agricultural Food Chemistry, 46(2): 611-615.
- Ortega, P. 2012. Producción del bucashí sólido y líquido. Universidad de Cuenca, Ecuador. 27 pp.
- Ortiz, J., y L. Cordero. 1984. El rambután (*Nephelium lappaceum*); composición química del fruto y su conservación. Turrialba, 34(2): 243-246.
- Osuna, E. T., R. G. Valenzuela., R. M. D. Muy., B. A. A. Gardea., R. M. Villareal. 2008). Expresión del sexo y anatomía floral del litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Revista Fitotecnia Mexicana 31: 51-56.

- Parra-Quezada, R. A., T. L. Robison, J. Osborne y L. B. Parra-Bujanda. 2008. Efecto de carga de frutos y déficit hídrico en la calidad y producción de manzana. *Revista Chapingo. Serie: Horticultura*, 14(1): 49-54.
- Pathak, P. K. and S. K. Mitra. 2010. Rate and time of potassium fertilization influence yield and quality of litchi. *Acta Hort.* 863: 235-242.
- Pathak, P.K. and S. K. Mitra., 2010. Rate and time of potassium fertilization influence yield and quality of litchi. *Acta Horticulturae* 863: 235-242.
- Paull, R. E. and N. Chen. 1987. Changes in longan and rambutan during postharvest. *Hortscience*, 22: 1303-1304.
- Paz, R. 1999. Prueba de tres técnicas de injertación en rambután, *Nephelium lappaceum* Linn, en el municipio de Morales, Izabal. Tesis Ingeniería en Agronomía, Guatemala, 36 pp.
- Peralta-Antonio, Nain, Becerril-Román, A. Enrique, Rebolledo-Martínez, Andrés, and Jaén-Contreras, David. 2015. Estado nutricional foliar de tres cultivares de mango fertilizados con abonos orgánicos. *Idesia (Arica)*, 33(3), 65-72.
- Pérez, R. A. 1994. El cultivo de rambután. Experiencias en la región del Soconusco, Chiapas. Memoria. Tercer Congreso Estatal de Fruticultura. Gobierno del Estado de Chiapas. CEIDPHPACH. Tapachula, Chiapas. 47-49 pp.
- Pérez, R. A. y J. H. Pohlan. 2002. El Rambután se consolida como cosecha alternativa en el Soconusco. 5-12.
- Pérez, R. A. y J. H. Pohlan. 2004. Prácticas de cosecha y Postcosecha del rambután en Soconusco, Chiapas, México. 76 pp.
- Pham, V. T., Herrero, M., and Hormaza, J. I. 2015. Phenological growth stages of longan (*Dimocarpus longan*) according to the BBCH scale. *Sci. Hort.* 189: 201-207.

- Piedrahita, C. y Caviedes, D. 2013. Elaboración de un abono tipo “bocashi” a partir de desechos orgánicos sub producto de industria láctea (lacto suero). pp. 46-47.
- PROFRUTA (Proyecto Desarrollo de la Fruticultura y Agroindustria, GT). 2003. Cultivo de rambután. Guatemala. 32 pp.
- Radzki, W., F. J. Gutierrez-Manero, E. Algar, J. A. Lucas-Garcia, A. Garcia-Villaraco, and B. Ramos-Solano. 2013. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. *Gen. Mol. Microbiol.* 104: 321–330.
- Ramírez, T. A. 2003. Manual para el cultivo de rambután en Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 47 pp.
- Rees, T. A. P. 1990. Carbon metabolism in 95itochondria, in: D.T. Dennis, D.H. Turpin (Eds.), *Plant Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*, Longman:, London, New York, pp. 106–143.
- Restrepo, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. Experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 155 pp.
- Reyes-Moreno, J. 2017. Floración y fructificación en rambután (*Nephelium lappaceum* L.) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Institución de enseñanza e investigación en Ciencias agrícolas. Campus montecillo, Recursos genéticos y productividad, Fruticultura. 186 pp.
- Rodríguez-Rodríguez, L. G. 2008. Inducción de la Floración de Rambután (*Nephilium lappaceum* L.) Tesis Ing. Agr. Universidad EARTH. Costa Rica. 42 pp.
- Rodríguez, M., Soto, R., Parets, E. y R. Alemán. 2005. Bocashi, una alternativa para la nutrición de la habichuela (*Vignaunquiculata* L. Walp sub-sp

- sesquipedalis L.), variedad Cantón 1 en huertos populares. Revista Centro Agrícola. 32(1): 63-69.
- Román, R. F. 2002. Comercialización para la posible producción del cultivo de rambután en el estado de Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca, México. 66. P.
- Rosen, C. J. and R. Eliason. 2005. Nutrient Management for Commercial Fruit & Vegetable Crops in Minnesota. Department of Soil, Water, and Climate University of Minnesota. Estado de los EE.UU. 133 pp.
- Saborío, D. 2010. Manejo poscosecha del rambután (*Nephellium lappaceum* L). Brochure. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Agencia Española de Cooperación. San José, Costa Rica. 122 pp.
- Salazar, G. S. 2002. Nutrición del aguacate: Principios y aplicaciones, INIFAP, Campo experimental, Santiago Ixcintla, 65 pp.
- Salazar, G. S. 2014. Diagnostico Nutricional Del Aguacate 'Hass' Bajo Condiciones De Temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 173-184.
- Salazar, G., G. 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. 24 pp.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross 2000. Fisiología y desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Paraninfo. Madrid, España. 80 pp.
- Saucedo-Hernández, L., M. T. Martínez-Damián, M. T. Colinas-León, A. F. Barrientos-Priego, y J. J. Aguilar-Melchor. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en en la duración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. Chapingo Serie Horticultura. 11(1): 149-157.

- Saure, M.C., 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae* 105: 65–89.
- Schneider, G. W. y Scarborough, C. C. 1987. *Cultivo de árboles frutales*. 21 ed. México (MX): Continental, 445 pp.
- Sholenkamp, C., C. C. Wood, and M. K. Udvardi. 2002. Characterization of *Arabidopsis* AtAMT2, a high-affinity ammonium transporter of the plasma membrane. *Plant Physiol.* 130: 1788-1796.
- SIAP, (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/ (Consulta: Enero 2018).
- Sivakumar, D., R. S. W. Wijeratnam, R. L. C. Wijesundera, and M. Abeysekere. 2000. Antagonistic effect of *T. harzianum* on postharvest pathogens of rambutan (*Nephilium lappaceum*). *Phytoparasitica*. 28(3): 240-247.
- Smith, A., W. W. Jeith., N. Waldron., M. Perquins-Veazie. 2003. Vegetable texture: Measurement and structural implication. In: *Postharvest physiology and pathology of vegetables*. Bartz, J. A., J. K. Brech. 7 (eds) Marcel Dekker, Inc. U.S.A. 297-330.
- Soria-Fregoso, M., & Ferrera Cerrato, R., & Etchevers Barra, J., & Alcántar González, G., & Trinidad Santos, J., & Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19 (4):353-362.
- Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. pp. 136-148. *In: III Taller y Seminario Latinoamericano. "Tratamiento de Aguas Residuales"*. Montevideo, Uruguay.storage. *Hortscience*, 22(6):1303-1304.
- Srilaong, V., S. Kanlayanarat. and Y. Tatsumi. 2002. Changes in commercial quality of *Rong-rien* rambután in modified atmosphere packaging. *Food Sci Technol Res.* 8(4): 337-341.

- Strong, M. 1992. Technical report on the tropical exotic fruit trees in Guatemala, Costa Rica, Honduras and Belize. Coalición Costarricense de Iniciativas de Desarrollo (CINDE). Mimeografiado. 12 pp.
- Tarango, R. 1992. Surfactantes y su uso en las aspersiones foliares. *Agromundo*, 5: 26-31.
- Terry, L. A., G. A., Chope., J. G., Bordonaba, 2007. Effect of water deficit irrigation and inoculation with *Botrytis cinerea* on strawberry (*Fragaria x ananassa*) fruit quality. *J. Agric. Food Chem.* 55, 10812–10819.
- Terry, N. and A. Ulrich, 1973. Effects of Potassium Deficiency on the Photosynthesis and Respiration of Leaves of Sugar Beet. *Plant Physiology* 51: 783-786.
- Thindall, D., G. Menini. and J. Hodder. 1994. Rambutan cultivation. FAO Plant production and protection. Rome, Italy. 163 pp.
- Tian, S. P., Q. Fan, Y. Xu, G. Z. Qin, H. B. Liu, 2002. Effect of biocontrol antagonists applied in combination with calcium on the control of postharvest diseases in different fruit. *Bulletin-OILB/SROP*. 25(10): 193–196.
- Uribe, L.; Guerrero, H.; Soto, G. 2004. Determinación de la inocuidad de biofermentos a partir de boñiga, suero de leche y melaza (en línea). Boletín de Producción Orgánica. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 132 pp.
- Van-Welzen, P. C. and E. W. M. Verheij. 1991. *Nephelium lappaceum* L. in: Plant Resources of South-East Asia Wageningen: Pudoc No.2. Edible fruits and nuts. Verheij, E.W.M., Coronel, R.E. (eds.). Pudoc, Netherlands. 75 pp.
- Vanderliden, E. J. M., H. A. J. Pohlan, and M. J. J. Janssens. 2005. Culture and fruit quality of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) in the Soconusco, Chiapas, Mexico – training experiences. *Acta Horticulturae* 672(2): 347-353.

- Vargas, A. 2003. Descripción morfológica y nutricional del fruto de rambután (*Nephelium lappaceum* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 14(2): 201-206.
- Vargas, M. y P. Quesada. 1996. Caracterización cualitativa y cuantitativa de algunos genotipos de mamón chino (*Nephelium lappaceum* L.) en la zona Sur de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit, 29(2):41-49.
- Vazquez, V., M. H. Pérez-Barraza, J. A. Osuna-García y M.A. Urias- López. 2009. Intensidad de poda sobre el vigor, producción y peso del fruto, del mango 'Ataulfo'. *Revista Chapingo. Serie: Horticultura*. 15(2): 89-92.
- Verastegui L., J. 1980. El biogás como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.
- Véry, A. A. and H. Sentenac. 2003. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 54: 575-603.
- Vidal, J. 1984. *Fruticultura moderna*. 1ed. Argentina (AR): Albatros, Hipólito Irigoyen. 309 pp.
- Walker, T. E. 1988. *Nephelium lappaceum* - Rambután. In: R. J. Gardner, S. H. Chaudri (eds.). *The propagation of tropical fruit trees*. C. A. B. International. Horticultural review No. 4. Farnham Royal, Slough, SL2 3BN, England. p. 518-529.
- Wang, X., Yuan, S., Wang, J., Lin, P., Liu, G., Lu, Y., Zhang, J., Wang, W., Wei, Y., 2006. Anticancer activity of litchi fruit pericarp extract against human breast cancer in vitro and in vivo. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 215:168-178.
- Wanichkul, K. and S. Kosiyachinda. 1982. Fruit development and harvesting index of rambutan (*Nephilium lappaceum* Linn.) var. Seeehompoo. Proceedings of the Workshop on Mango and Rambutan, University of the Philippines at Los Baños, Philippines. 117-124 pp.

- Watson, B. 1981. Rambutan cultivation in North Queensland, Australia. Australia, Kamerunga Horticulture Research Station. 165 pp.
- Watson, B.J. 1984. Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) In: Tropical tree fruits for Australia. Page, P.E. (ed.). Queensland Department of Primary Industry. Horticulture Branch. 198-203 pp.
- Watson, J. 1988. Rambutan cultivars in north Queensland. Queensland Agricultural Journal. pp. 37-41.
- Weinbaum, S.A. 1988. Foliar nutrition of fruit crops. In: Neumann, P. E. (ed.) Plant Growth and Leaf Applied Chemicals. CRC Press: Boca Raton, Florida, USA. 81-100 pp.
- Wells, I. and J. Bagshaw. 1989. Handling rambutans after harvest. Queensland Fruit, 102-105. pp.
- White, P. J., and M. R. Broadley., 2003. Calcium in plants. Annals of Botany 92: 487–511.
- Wills, R. B., T. H. Lee, D. Graham, W. B. McGlasson and E. Hall. 1981. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables. AVI Publishing Company Inc. Westport, Conn. USA. 161 pp.
- Wills, R., W. B. McGlasson, D. Graham, and D. Joyce. 2004. Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. 4th edition. University of New South Wales Press Ltd. 56 pp.
- Woo, H. I., T. C. Hazen, B. A. Simmons, K. M. De Angelis. 2014. Enzyme activities of aerobic lignocellulolytic bacteria isolated from wet tropical forest soils. Syst. Appl. Microbiol. 37: 60-67.

- Yadav, A. N., S. G. Sachan, P. Verma, R. Kaushik, A. K. Saxena. 2016. Cold active hydrolytic enzymes production by psychrotrophic Bacilli isolated from three subglacial lakes of NW Indian Himalayas. *J. Basic Microbiol.* 56: 294-307.
- Yan, M, H. Fan, A. Feng, Q. Miller, Q. Shen, and G. Xu. 2011. Rice OsNAR2.1 interacts with OsNRT2.1, OsNRT2.2 and OsNRT2.3a nitrate transporters to provide uptake over high and low concentration ranges. *Plant Cell Environ.* 34: 1360-1372.
- Yang, B., G. Li, S. Yang, Z. He, C. Zhou, and L. Yao, 2015. Effect of Application Ratio of Potassium over Nitrogen on Litchi Fruit Yield, Quality, and Storability. *HortScience*, 50(6): 916-920.
- Yuan, L., L. Graff, D. Loqué, S. Kojima, Y. N. Tsuchiya, H. Takahashi, and N. Von-Wirén. 2009. AtAMT1;4 a pollen-Specific high-affinity ammonium transporter of the plasma membrane in *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.* 50: 13-25.
- Zagoya-Martínez, J., J. Ocampo-Mendoza, I. Ocampo-Fletes, A. Macías-López, P. De La Rosa-Peñaloza. 2015. Caracterización fisicoquímica de biofermentados elaborados artesanalmente. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud.* XVII (1): 14-19.
- Zenil, L, N. 2006. Bajas Temperaturas Y Atmósferas Modificadas En El Almacenamiento Del Rambután (*Nephelium Lappaceum* L). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Institución de enseñanza e investigación en Ciencias agrícolas. Campus montecillo, Recursos genéticos y productividad fisiología vegetal. pp 103.

VIII. ANEXOS

Salazar (2002) mencionó que como ejemplo del cálculo para obtener la cantidad de N a aplicar serán tomados los resultados del análisis de suelo del **Cuadro 7**: al igual que con los demás nutrimentos, si los análisis de suelo indican que no hay necesidad de aplicar Nitrógeno, es recomendable aplicar el menos la cantidad de este nutrimento que es removida por la cosecha. Para mantener la productividad del huerto es necesario regresar al suelo al menos la cantidad de nutrimentos que fueron removidos por el fruto. **Cuadro A 1**.

El cálculo de la dosis de fertilización basado en la remoción de nutrimentos puede ser mejorado si se conoce o se hace una buena estimación de la cantidad de nutrientes necesarios para mantener el crecimiento anual, tanto vegetativo como de la raíces, la cantidad de nutrimentos perdidos por la abscisión de flores, frutillos y hoja, así como la pérdida de fertilizante debido al lavado, volatilización, fijación y acción microbiana (eficiencia de la fertilización) (Salazar, 2002).

Requerimientos de fósforo, no obstante que la remoción de fósforo por una cosecha de 20 ton de fruto puede ser casi 5.22 kg, la dosis de fertilizante que tiene que ser aplicada para mantener los niveles foliares normales puede superar en mucho esta cantidad. Esto depende de las características del suelo, el porta injerto utilizado, la disponibilidad de agua y la abundancia de micorrizas que colonizan la raíz y favorecen la absorción de fósforo. **Cuadro A 2**. Por lo anterior, es recomendable que para establecer la cantidad inicial de fósforo a incluir en el programa de fertilización del huerto sean considerados los análisis de suelo, foliares y las experiencias previas. La modificación de las cantidades a aplicar en los años siguientes dependerá del análisis foliar (Salazar, 2002).

Como ejemplo de cálculo para obtener la cantidad de potasio a aplicar serán tomados los resultados del análisis de suelo del **Cuadro A 3**. Al igual que con los demás nutrimentos, si los análisis de suelo indican que no hay necesidad de aplicar potasio, es recomendable aplicar el menos la cantidad de este nutrimento que es removida por la cosecha (Salazar 2002).

Cuadro A 1. Cálculo del requerimiento de nitrógeno (N) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.

Requerimiento de Nitrógeno

$$(RN) = \frac{\text{Remocion-Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de Fertilizacion}}$$

- Remoción de N en 20 ton fruto
= 38.86 kg, más 15% invertido en crecimiento del árbol
Remoción total e N = 44.689 kg
- Aporte del suelo:
Materia orgánica (M.O.)= 4.92%
Considerando 20 cm de profundidad del Suelo (zona de mayor actividad de raíces):
100 - 4.92%
2,000,000 - x
x = 98,400 kg M.O./ha

M.O. contiene 5% de N total (orgánico e inorgánico)
98,400 kg x 5% =4,920 kg de N total

Coeficiente de mineralización = 0.035

4,920 kg x 0.035 = 145.6 kg de N inorgánico disponible/año.

172.2 kg/ 12 meses x 5 meses = 71.75 kg de N inorgánico disponible en el periodo; entonces, 71.75 kg N - 10,000 m²
x - 5,000 m² (superficie ocupada por 1425 árboles/ha)

x= 35.875 kg N/disponible para 1425 árboles.

- Eficiencia de la fertilización = 0.65

100- 46% de N
X - 35.87 kg

$$RN = \frac{44.669 - 35.875}{0.65} = 13.52 \text{ kg para 1425 arboles}$$

100 kg Urea - 46 % N
X - 13.52 kg N
= 29.39 kg de Urea

0.020 kg N/árbol.

Cuadro A 2. Cálculo del requerimiento de fósforo (P) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.

Requerimiento de fósforo

$$(RN) = \frac{\text{Remocion} - \text{Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de Fertilizacion}}$$

- Remoción de P por una cosecha de

20 ton = 5.22 kg

5.22 kg P – 1425 árboles

x – 1 árbol

 x = 0.003 kg P removido/árbol
- Aporte del suelo: se considera una capa de absorción de fósforo de 20 cm de suelo.

 Del análisis, 33.3 ppm x 2 = 66.6 kg/ha de P.

 El 2 que aparece en la ecuación anterior es un factor que se utiliza para obtener kg/ha contenido en los primeros 20 cm de suelo.

 Por lo tanto, el aporte del suelo para un árbol de 3 m de diámetro y 9 m² de área de goteo es:

66.6 kg P – 10,000 m²

x – 9 m²

 x = 0.059 kg/árbol de P disponible
- Eficiencia de fertilización = 0.25
- Requerimiento de fósforo

$$= \frac{0.003 - 0.059}{0.25} = -0.224 \text{ kg para 1425 arboles}$$
- Calculo de kg P₂O₅/árbol: Utilizar factor de conversión de P a P₂O₅ = 2.29

 -0.224 x 2.29 = -0.512 kg P₂O₅/árbol
- Fuente de fósforo a utilizar:
- Fosfato diamonico (DAP), 46% P₂O₅

100 kg DAP – 46 kg P₂O₅

x - 0.512 P₂O₅

x= 1.113 kg DAP/árbol

Cuadro A 3. Cálculo del requerimiento de potasio (K) en el cultivo de rambután en Frontera Hidalgo, Chiapas.

Requerimiento de potasio (RK) en K₂O/ha

$$(RK) = \frac{\text{Remocion} - \text{Aporte del suelo}}{\text{Eficiencia de Fertilizacion}}$$

- Remoción por 20 ton de fruto = 29.58
Esto es = 35.64 (ver Cuadro)
- Aporte de potasio por el suelo:
Contenido de K en el suelo = 300.5 ppm

Un nivel desenséble para este tipo de suelo, Según el Cuadro es 195 ppm. Por lo tanto, se hará aplicación de mantenimiento para restituir únicamente el potasio removido por la cosecha y mantener el buen balance de K/Mg y de K/Ca.

- Eficiencia de Fertilización = 0.8
- Requerimiento de potasio (K₂O)

$$= \frac{35.64 \text{ kg K}_2\text{O}}{0.8} = 44.55 \text{ K}_2\text{O/ha}$$

La fertilización será fraccionada en dos aplicaciones, con 50% del fertilizante total en cada una de ellas, lo que equivale a 22.27 Kg K₂O en cada fertilización.

Ejemplo:

1°. Julio.
Fuete de ferilizante: sulfatado de potasio (K₂SO₄, 50% K₂O)

Con la aplicación de 117 kg de SulPoMag (22% K₂O; entonces:

$$22.27 - 25.7 = \text{se necesitan } 3.43 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

$$100 \text{ kg K}_2\text{SO}_4 - 50 \text{ kg K}_2\text{O}$$

$$x - 3.43 \text{ kg K}_2\text{O} \qquad \qquad \qquad x - 6.86 \text{ kg de K}_2\text{SO}_4$$

$$= \frac{6.86 \text{ kg K}_2\text{SO}_4}{0.1425 \text{ arboles/ ha}} = 0.0048 \text{ kg de K}_2\text{SO}_4$$

Esta cantidad es por árbol de 3 m de diámetro y 9 m₂ de área de goteo.