

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL ABONAMIENTO CON
RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA
EN LAMAS"

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Ing. M. Sc. Luis Alberto Arévalo López

ASESOR:

Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto - Perú

2018



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL ABONAMIENTO CON
RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA
EN LAMAS”**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

AUTOR:

Ing° M. Sc. Luis Alberto Arévalo López

ASESOR:

Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL ABONAMIENTO CON
RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA
EN LAMAS”**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales

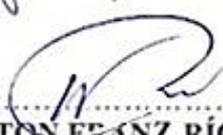
AUTOR:

Ing° M. Sc. Luis Alberto Arévalo López

Sustentada y aprobada el 03 de octubre del 2018, ante el siguiente jurado:


.....
Dr. MANUEL FERNANDO CORONADO JORGE
PRESIDENTE


.....
Dr. JAIME WALTER ALVARADO RAMÍREZ
MIEMBRO


.....
Dr. WINSTON FRANZ RÍOS RUIZ
SECRETARIO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



**“RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL ABONAMIENTO CON
RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA
EN LAMAS”**

**EL SUSCRITO DECLARA QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES
ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.**

.....
Ing° M. Sc. Luis Alberto Arévalo López

EJECUTOR

.....
Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado

ASESOR

Declaratoria de Autenticidad

Luis Alberto Arévalo López, identificado con DNI N°05582087, egresado de la Sección de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, mención el Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **“RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL ABONAMIENTO CON RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA EN LAMAS”**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 03 de octubre del 2018.



.....
Ing. M.Sc. Luis Alberto Arévalo López
DNI N°05582087

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	AREVALO LOPEZ LUIS ALBERTO		
Código de alumno :		Teléfono:	942057510
Correo electrónico :	laraval@yaho.es	DNI:	05582087

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	ESCUELA DE POSGRADO
Escuela Profesional de:	PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	" RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL CAFETO AL DBONAMIENTO CON RELACIÓN A LA SEVERIDAD DEL DAÑO DE LA ROYA AMARILLA EN LAMAS"
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente deajo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

24 / 10 / 2018



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM - T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

A mi Madre: **Palmir Lopez viuda de Arévalo**, por darme la vida y su invalorable aliento y apoyo moral para la culminación de mis estudios.

A mis queridos hijos: **Paolo César, Michael y Luis Alberto**, por el cariño, amor y apoyo brindado a través de los años.

Con profundo amor a **Lucy Smith Aching López**, razón de mi vida, por su apoyo incondicional durante toda una vida y en especial durante los años de estudio.

A mi nueva generación, como ejemplo de que la edad no es límite para seguir aprendiendo.

Luis Alberto Arévalo López

RECONOCIMIENTO

A los **Docentes del Doctorado de Gestión Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto**, por su orientación y entrega de sus conocimientos y experiencias en el desarrollo de sus clases

Al **Ing. M.Sc. Kadir Márquez Dávila**, por su apoyo en la identificación en campo del hongo *Hemileia vastatrix* causante de la roya amarilla, así como en la evaluación y análisis de los datos sobre la roya amarilla y la revisión de la primera versión de la tesis.

A la **Cooperativa Oro Verde** y su equipo de **Catadores** así como a la **Ing. Liliana Estrella Gamonal**, por su valioso aporte durante las evaluaciones sensoriales del café, desarrollado en el laboratorio de catación de la cooperativa.

Al **Ing. M.Sc. Williams Ramírez Navarro**, por su valioso apoyo durante el desarrollo del presente estudio y en la revisión de la primera versión de la tesis.

Al **Biólogo M.Sc. Reynaldo Solís Leyva**, por su aporte en la tabulación y procesamiento estadístico de los datos registrados.

Luis Alberto Arévalo López

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto y a la Escuela de Posgrado por haberme dado la oportunidad de continuar con mis estudios de Doctorado en **Ciencias Ambientales, Mención Gestión Ambiental.**

Al Dr. Víctor Hugo Muñoz Delgado por su valioso asesoramiento en la presente Tesis, que no dudo en darme la orientación necesaria cuando se le requería.

.Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) San Martín, por brindarme todas las facilidades para realizar la presente investigación; cuyos resultados serán de beneficios para los productores cafetaleros de la región.

Finalmente, a todos mis compañeros de estudios, trabajo y amigos por su valiosa colaboración y apoyo directo e indirecto que me estimularon realizar la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

Luis Alberto Arévalo López

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	vii
RECONOCIMIENTO	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	4
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	4
1.1. Formulación del problema	4
1.2. Objeto de la investigación	4
1.3. Objetivos	4
1.4. Campo de acción de la tesis	4
1.5. Hipótesis de la investigación	5
1.6. Desarrollo de la investigación	5
1.7. Aportes de la investigación	6
1.7.1. Aporte Teórico	6
1.7.2. Aporte Práctico	6
1.7.3. La Novedad del Estudio de Investigación	6
1.7.4. Relevancia Socio-Ambiental	7
CAPÍTULO II	8
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. Generalidades del cultivo del caféto	8
2.1.1. Ecología del caféto	10
2.1.2. Variedades de café cultivadas en la región San Martín	10
2.2. Aspectos Biológicos de la roya del caféto	13
2.2.1. Distribución geográfica	14

2.2.2. Ciclo Biológico	14
2.3. Efectos de la roya	15
2.4. Efecto del cambio climático en la roya amarilla y en el cafetal	16
2.5. Requerimientos ambientales del cafeto... ..	18
2.5.1. Suelos y fertilización	21
2.6. Calidad del café	26
2.6.1. Características físicas sensoriales	27
2.6.2. Catación	28
 CAPÍTULO III.....	 29
MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Caracterización y Descripción del Área de Estudio	29
3.1.1. Localización.....	29
3.1.2. Vía de Acceso	31
3.1.3. Clima.....	31
3.1.4. Suelo y Fisiografía.....	31
3.1.5. Selección de finca cafetalera... ..	32
3.2. Materiales en General	32
3.3. Diseño del modelo Teórico y su implantación	33
3.3.1. Referentes Teóricos del modelo	33
3.3.1.1. Conceptualización de abonamiento	33
3.3.1.2. Elementos del abonamiento	33
3.3.1.3. Abonamiento.....	34
3.3.1.4. Productividad del Café	35
3.3.1.5. Productividad.....	35
3.3.1.6. Modelo de predicción de producción de café.....	36
3.4. Modelo Propuesto.....	39
3.4.1. Lineamientos para desarrollar el modelo propuesto.....	39
3.4.2. Diseño y fundamentación del modelo	40
3.4.3. Fundamento del modelo teórico de predicción del Abonamiento sobre la severidad de daño de la roya Amarilla, rendimiento y calidad de tasa del café	41
3.5. Modelo Propuesto y su implantación	49
3.5.1. Objetivo del modelo propuesto.....	49

3.6. Metodología para la implantación del modelo propuesto.....	49
3.6.1. Fase de gabinete.....	49
CAPÍTULO IV	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. Índice de intensidad de daño de la roya amarilla por edad y abonamiento del cafetal.....	51
4.2. Índice de intensidad de daño de la roya amarilla por fuente de abono	52
4.3. Índice de intensidad de daño de la roya amarilla por fuente de abono	55
4.4. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad AUDPC	58
4.5. Rendimiento del grano de café pergamino	61
4.6. Análisis sensorial del café	72
4.6.1. Atributos sensoriales.....	72
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	95
ANEXO 1 Certificado de identificación del hongo <i>Hemileia vastatrix</i> como agente causal de la enfermedad de la roya amarilla que afecto a la región San Martín.....	96
ANEXO 2 Formato de evaluación en campo de la roya amarilla	97
ANEXO 3 Análisis de varianza para la variable AUDPC, influenciado por la edad de la plantación y las dosis de abonamiento	98
ANEXO 4 Análisis de varianza para rendimiento de café pergamino seco, influenciado por la edad de la plantación y las dosis de abonamiento	100
ANEXO 5 Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiples, entre el rendimiento de café y los nutrientes adicionados al suelo	102
ANEXO 6 Registro de datos de cosecha en campo de granos de café	109

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Capacidad extractiva de nutrientes de la planta de café de abonamiento</i>	22
Tabla 2. <i>Concentración optima de los diferentes elementos Nutricionales en el cultivo de café</i>	22
Tabla 3. <i>Nivel de nutrientes en hojas e incidencia de “roya” al inicio y al final de la campaña en café var. Caturra roja en San Ramón y Villa Rica, Perú</i>	24
Tabla 4. <i>Incidencia de la roya, rendimiento y calidad en café variedad Caturra roja en San Ramón y Villa Rica, Perú (Julca et al., 2008)</i>	26
Tabla 5. <i>Parametros meteorológicos de precipitación mensual, temperatura media Promedio mensual y humedad relativa registrado en una zona cercana al área de estudio</i>	32
Tabla 6. <i>Modelo teórico predicción del efecto del abonamiento sobre la severidad Del daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de tasa del café</i>	42
Tabla 7. <i>Cantidades de nutrientes usados en función a los tratamientos establecidos</i>	44
Tabla 8. <i>Descripción de los tratamientos, fuentes de fertilizantes y las dosis suministradas por cada una de ellas</i>	44
Tabla 9. <i>Escala descriptiva para la evaluación de la roya amarilla en hojas (Sagarpa, 2013)</i>	46
Tabla 10. <i>Análisis de variancia del área bajo la curva de progreso de la enfermedad O AUDPC ($p = 0.05$) para dosis de abonamiento y edad de cafetal</i>	58
Tabla 11. <i>Análisis de varianza del rendimiento de grano pergamino de café en función a la edad de la plantación y dosis de abonamiento aplicados al suelo</i>	62
Tabla 12. <i>Resultados del análisis de suelos, previo a la adición de los tratamientos de abonamiento y al final del estudio</i>	69
Tabla 13. <i>Coefficientes de correlación y determinación para las ecuaciones lineales Simples y múltiples</i>	72
Tabla 14. <i>Análisis de Varianza de fragancia/aroma</i>	73
Tabla 15. <i>Comparación de medias, para los promedios del parámetro fragancia/aroma por edad dosis de abonamiento</i>	74
Tabla 16. <i>Prueba de Tukey al 5%, para los promedios del parámetro fragancia/aroma para la interacción edad*dosis de abonamiento</i>	74
Tabla 17. <i>Análisis de Varianza para el parámetro de Sabor residual</i>	75

Tabla 18. <i>Comparación de medias, para los promedios del parámetro sabor residual influenciado por la edad y dosis de abonamiento</i>	76
Tabla 19. <i>Análisis de variancia para la variable AUDPC, influenciado por la edad de la planta y las dosis de abonamiento</i>	98
Tabla 20. <i>Comparación de medias (Duncan al 5%) en función a la edad de las plantas</i>	98
Tabla 21. <i>Comparación de medias con la prueba de Duncan al 5%, en función a Las dosis de abonamiento</i>	98
Tabla 22. <i>Prueba de medias para la interacción edad de planta por dosis de Abonamiento, a través de la prueba de Duncan al 5%</i>	99
Tabla 23. <i>Análisis de variancia para rendimiento de grano de café pergamino seco</i>	100
Tabla 24. <i>Prueba de comparación de medias (Tukey 5%) de rendimiento de grano pergamino seco de café en función a la edad de planta</i>	100
Tabla 25. <i>Prueba de comparación de medias (Tukey 5%) de rendimiento de grano pergamino seco de café en función a las dosis crecientes de abonamiento</i>	100
Tabla 26. <i>Comparación de medias para la interacción edad de planta por dosis de abonamiento (Tuckey 5%)</i>	101

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1:</i> Ubicación geográfica del área de estudio.....	29
<i>Figura 2:</i> Ubicación de la provincia de Lamas y distrito de Alonso de Alvarado	30
<i>Figura 3:</i> Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad pache de Coffe arábica, influenciados por las dosis de abonamiento y edad de la planta	53
<i>Figura 4:</i> Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad pache de Coffe arábica, influenciados por las dosis de abonamiento y edad de la planta	54
<i>Figura 5:</i> Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad pache de Coffe arábica, influenciados por la fuente de abono (inorgánico y orgánico) y edad de la planta	56
<i>Figura 6:</i> Efecto de la edad del cafetal sobre el AUDPC	58
<i>Figura 7:</i> Efecto de las dosis de abonamiento sobre el AUDPC	60
<i>Figura 8:</i> Efecto de la interacción Edad de Planta por Dosis de abonamiento sobre el AUDPC	61
<i>Figura 9:</i> Rendimiento de café pergamino en función a la edad de la plantación	63
<i>Figura 10:</i> Ecuación lineal de predicción de los rendimientos en función a la edad de la plantación	63
<i>Figura 11:</i> Rendimiento de café pergamino en función a las dosis de abonamiento adicionados al suelo.....	65
<i>Figura 12:</i> Efecto de la edad de las plantas y dosis de abonamiento sobre el café pergamino.....	68
<i>Figura 13:</i> Ecuaciones lineales de predicción de los rendimientos del cafetal en función a dosis crecientes de los diferentes nutrientes aplicados al suelo	70

RESUMEN

En el Perú, el café es el principal producto agrícola de exportación, alcanzando en el 2011 un monto de venta de US\$1.500 millones, cifra histórica en el sector agrícola. Sin embargo, en el 2012 apareció la roya amarilla con grandes efectos negativos sobre las áreas cultivadas y la productividad, con un impacto devastador en el sector en el 2013 cuando las exportaciones cayeron a US\$700 millones.

En la Región San Martín, el café es un fuerte soporte a la economía regional, debido a que se cultivan aproximadamente 100,927 hectáreas, que involucra directamente a 44,857 productores, con un universo de aproximadamente 224,285 personas dependientes de esta actividad.

El objetivo de la investigación fue estudiar los efectos del abonamiento sobre la severidad de la roya amarilla, en el rendimiento y en la calidad de taza del cultivo de café, por ser una de las actividades productivas más importantes de la región, tanto económica, social y ambiental.

El estudio se desarrolló en el distrito de Alonso de Alvarado, provincia de Lamas, región San Martín. Plantaciones de café variedad pache de diferentes edades fueron seleccionadas y sobre ellas se distribuyeron los tratamientos en un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial con 3 repeticiones. Los tratamientos estuvieron compuestos de dos factores, uno de ellos edad de la plantación: 4, 8 y 14 años de edad; el otro factor fue el abonamiento orgánico e inorgánico a diferentes dosis; los cuales contenían N, P, K, Ca, Mg y S en dosis crecientes, comparados con un testigo. Las fuentes utilizadas fueron nitrato de amonio para N, roca fosfórica para el P, cloruro de potasio para el K y sulfato de magnesio para el Mg, el Ca y S fueron incorporados con la roca fosfórica y el sulfato de magnesio.

Los parámetros evaluados, para responder a los objetivos propuestos fueron: la severidad de daño de la roya amarilla, calculándose el porcentaje del índice de intensidad de daño (%IID) y el AUDPC (área bajo la curva de progreso de la enfermedad); rendimiento, se registraron los datos de cosecha de los granos los cuales fueron procesados hasta obtener grano seco en pergamino, y el análisis sensorial, que fueron realizados por catadores de la cooperativa Oro Verde de la ciudad de Lamas. Los resultados mostraron una respuesta positiva al abonamiento orgánico o inorgánico, tanto en la reducción de la severidad de daño de la roya amarilla como en el incremento de la producción y la calidad de taza del café no fue afectada por el uso de abonos inorgánicos. El abonamiento inorgánico presentó el mayor efecto positivo; permitió un menor AUDPC en las plantas de café, en cualquiera de sus edades. El incremento de la producción de café pergamino fue mayor sobre las plantaciones de 8 años de edad con el abono inorgánico, con el tratamiento T3; sin embargo la fórmula T2 parece ser la más recomendada para los productores.

El análisis sensorial del café no fue afectado por la adición del abono inorgánico. Solo se encontraron diferencias en dos componentes del análisis sensorial del café: fragancia/aroma y sabor residual.

Palabras clave: roya amarilla, abonamiento, pache, análisis sensorial.

ABSTRACT

In Peru, coffee is the main agricultural export product, reaching in 2011 a sales amount of US \$1.5 billion, a historical figure in the agricultural sector. However, in 2012, leaf rust appeared with great negative effects on cultivated areas and productivity, with a devastating impact on the sector in 2013 when exports fell to US \$700 million.

In the region of San Martín, coffee is a strong support to the regional economy due to the coffee farming of approximately 100.927 hectares, which involves directly 44.857 producers, with a universe of approximately 224.285 people dependent on this activity.

The objective of the research was to study the effects of fertilization on the severity of leaf rust, in the yield and the sensory analysis of the coffee grains, as one of the most important productive activities in the region in economic, social and environmental fields.

The study was developed in the district of Alonso de Alvarado, Province of Lamas, San Martín region. Coffee plantations, Pache variety, of different ages was selected and on them the treatments were distributed in a complete random blocks design in factorial arrangement with 3 repetitions. The treatments were composed of two factors, one of them plantation age: 4, 8 and 14 years of age; the other factor was the organic and inorganic fertilization at different doses; which contained N, P, K, Ca, Mg and S in increasing doses compared to a control. The sources used were ammonium nitrate for N, phosphoric rock for P, potassium chloride for K and magnesium sulfate for Mg, Ca and S were incorporated with phosphoric rock and magnesium sulfate.

According to the proposed objectives, the parameters evaluated were: the severity of leaf rust damage, calculating the percentage of the rate of damage intensity (% IID), and the AUDPC (area under the disease progress curve); the yield, registering data of the grain harvest which were processed until obtain dry grains with husk or “parchment coffee”; and the sensory analysis that was carried out by tasters of the Oro Verde cooperative of Lamas city.

The results showed a positive response to organic or inorganic fertilization for both damage severity of leaf rust and in the production increase. Also, it is important to mention that the use of inorganic fertilizers did not affect the quality of coffee. Inorganic fertilization showed the greatest positive effect; it allowed a smaller AUDPC in the coffee plants, in any of its ages. The increase in the production of parchment coffee was higher on plantations of 8 years of age with the inorganic fertilizer, with the treatment T3; however, Formula T2 appears to be the most recommended for producers.

The addition of inorganic fertilizer did not affect the sensory analysis of coffee. Only two components of the sensory analysis of coffee showed differences: fragrance/aroma and residual taste

Keywords: Leaf rust, fertilization, pache, sensory analysis.



INTRODUCCIÓN

El cafeto (*Coffea arabica* L.) es una planta cultivada en 80 países tropicales y subtropicales del mundo y constituye para el Perú, uno de los productos agrícolas más importantes en el comercio internacional (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014a**); una ligera disminución en la producción o un mínimo incremento en los costos de producción, tiene un gran impacto en los productores y en los países cuyas economías dependen de las exportaciones del café (**American Phytopathological Society, 2011**).

La roya amarilla (*Hemileia vastatrix*) es la enfermedad más destructiva del cafeto y la de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a provocar la caída prematura de las hojas, reduciendo la capacidad fotosintética y por lo tanto el debilitamiento de plantas enfermas y en casos de infecciones severas puede ocasionar la muerte de ramas y muerte de las plantas (**American Phytopathological Society, 2011**). Según el **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, (2014a)**, la incidencia de la roya amarilla en la región San Martín fue de 57%; con el 75 % de área cultivada afectada por la roya amarilla.

El Perú, proyectó una producción 7,5 millones de quintales de café para el 2013, pero por efecto del ataque de la roya amarilla, solo cosechó 6 millones de quintales (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014a**). Para la región San Martín, la **DIRECCION REGIONAL AGRARIA DE SAN MARTIN, (2016)**, calculó una producción de 1.15 millones de quintales de café pergamino seco; sin embargo, por la incidencia de la roya amarilla, la producción solo alcanzó el 77% de la cifra estimada.

Es importante resaltar que la roya amarilla afectó a más de 130.000 hectáreas en cosecha y sobre todo a más de 53,000 familias, que viven de su cultivo. Sin embargo, el cultivo de café genera empleo a más de 300 000 personas en el país y ocupa uno de los primeros lugares en la generación de divisas, proveniente del rubro agrícola (**El Cafetalero, 2013**).

El Ministerio de Agricultura, reconoció como una de las causas principales del efecto de la roya amarilla, al bajo nivel nutricional de las plantaciones de café (**El Cafetalero, 2013; MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014b; DIRECCION REGIONAL AGRARIA DE SAN MARTIN, 2016**). Esto es comprensible debido a que los suelos de

la selva peruana, por su origen y clima tropical son ácidos y pobres en nutrientes (**Escobedo, 2005**). En adición los cafetaleros no restituyen los nutrientes exportados de la chacra a través del grano de café cosechado (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014b**).

En la región San Martín, la condición nutricional de las plantaciones de café, se ve agravado porque más del 70% son cultivados con el sello orgánico (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014b; DIRECCION REGIONAL AGRARIA DE SAN MARTIN, 2016**), lo que restringe el uso de abonos inorgánicos; además existen plantaciones con más de 15 años, que están “empobrecidos” por la continua extracción de nutrientes, sin restitución alguna.

En la práctica son muy pocos los productores que restituyen al suelo los nutrientes extraídos por las cosechas, sea con insumos orgánicos o insumos inorgánicos como fuente de nutrientes para el cultivo; y aquellos caficultores que abonan desconocen la cantidad y la frecuencia de aplicación; por lo tanto, desconocen si lo adicionado es adecuado o no para el buen desarrollo del cultivo.

Por los antecedentes mencionados, es necesario estudiar los efectos del abonamiento sobre la severidad de la roya amarilla, en el rendimiento y en la calidad de taza del cultivo de café, que nos permita elaborar planes de abonamiento adecuados para contrarrestar a esta y otras enfermedades conectadas con las deficiencias nutricionales de las plantas.

El contenido de la presente investigación se ha distribuido en ocho capítulos, los cuales se describen a continuación en forma sucinta.

Introducción: en este capítulo se expone la temática, el problema y los objetivos de la investigación. **Revisión Bibliográfica:** en este capítulo se presenta la revisión bibliográfica referente al tema de investigación y la descripción del cafeto. **Materiales y Métodos:** se describe la caracterización del área de estudio, en lo correspondiente a localización, vías de acceso, clima, suelo, fisiografía; asimismo se describe los materiales utilizados en la investigación y el diseño del modelo teórico empleado y su implementación para realizar la parte experimental. **Resultados y Discusión:** se presenta los principales resultados y discusiones, establecidas en la presente investigación. **Conclusiones:** aquí se lista las

conclusiones que son consecuencia de la discusión de resultados. **Recomendaciones:** son enunciados que servirán para motivar a autoridades y a funcionarios, así como a miembros de la comunidad científica, sobre la aplicación de los resultados de la investigación. **Referencia Bibliográfica:** de acuerdo a lo reglamentado por la Escuela de Postgrado de la UNSM-T, se presenta el listado de las bibliografías utilizadas para llevar a cabo la presente investigación. **Anexos:** se acompaña solo lo necesario para el mejor entendimiento de la investigación, tales como cuadros y otros.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Formulación del problema

¿Qué relación existe entre el abonamiento y la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza del cafeto, en el distrito de Alonso de Alvarado en la provincia de Lamas?

1.2. Objeto de investigación

La incidencia de la roya amarilla en el rendimiento y calidad del café en la provincia de Lamas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la respuesta del café al abonamiento con relación a la severidad de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza, en la provincia de Lamas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Evaluar el efecto de cuatro dosis de abonamiento en la severidad de daño de la roya amarilla a tres edades diferentes de las plantas de cafeto.
- b) Evaluar el efecto de cuatro dosis de abonamiento en el rendimiento de café pergamino seco.
- c) Evaluar el efecto de cuatro dosis de abonamiento sobre el análisis sensorial del café (calidad de taza).

1.4. Campo de acción de la investigación

El campo de acción de la presente investigación consistió en la observación y evaluación de la incidencia de la roya amarilla, el rendimiento y calidad de taza del café en la provincia de Lamas.

1.5. Hipótesis de investigación

Ho: La severidad de la roya amarilla no se reduce por efecto de un adecuado abonamiento, no se incrementa el rendimiento y la calidad de taza se ve afectada por el abonamiento inorgánico.

Ha: La severidad de la roya amarilla se reduce por efecto de un adecuado abonamiento, el rendimiento se incrementa y la calidad de taza no se ve afectada por el abonamiento inorgánico.

1.6. Desarrollo de la investigación

En la presente investigación se realizaron las siguientes etapas:

1.6.1. Primera etapa: Facto perceptible

- Se efectuó la revisión bibliográfica referente a los antecedentes internacionales, nacionales y locales del efecto de la roya amarilla en el café, agrupando la información en los marcos de antecedentes, teóricos y conceptuales.
- Se definió las variables y términos a emplear en el diseño experimental para la demostración de la hipótesis.

1.6.2 Segunda etapa: Determinación del modelo y metodología de investigación

- Se desarrolló los referentes empíricos, la modelación del trabajo de investigación, premisas y lineamientos para la determinación del modelo.
- Se estableció la metodología para la determinación del índice de incidencia de la roya amarilla en el café, el rendimiento del grano y la calidad de taza.

Caracterización y descripción del área de trabajo

- Materiales en general utilizados en la investigación
- Diseño del modelo teórico y su implantación

1.6.3 Tercera etapa: Implantación del modelo de investigación.

- Se determinó las herramientas, operatividad de los equipos y variables en estudio.
- Se implantó el modelo experimental para el proceso de la determinación del índice de incidencia de la roya amarilla en el café, el rendimiento del grano y la calidad de taza.
- Se realizó la recolección y análisis de datos y validación de los resultados mediante método estadístico.

Descripción y manejo del cafeto en la provincia de Lamas

- Validación del modelo teórico mediante el tratamiento estadístico de los datos observados y la predicción de datos actuales modelados y futuros.

Cuarta etapa: Resultados y discusiones, conclusiones y recomendaciones.

Se elaboró los resultados y discusiones, las conclusiones y recomendaciones.

1.7. Aportes de la Investigación

1.7.1. Aporte Teórico

La presente investigación generó nuevos conocimientos sobre el abonamiento de las plantas de café para una mayor productividad en forma amigable con el ambiente.

1.7.2. Aporte Práctico

Recomendar a los productores de café una fórmula de abonamiento, que mitigue el efecto de la roya amarilla, que incremente los rendimientos del cultivo y que no afecte negativamente la calidad de taza del café.

1.7.3. La Novedad del Estudio de Investigación

Los productores cafetaleros podrán recuperar sus plantaciones de café afectadas con roya, utilizando abonos inorgánicos y manejando la fórmula de abonamiento evaluado en la presente investigación, con incremento en los rendimientos sin desmedro de la calidad de taza del café.

1.7.4. Relevancia Social y Ambiental

La severidad de daño de la roya amarilla en muchas de las plantaciones de café de la región, incentivó a los productores a migrar a otras zonas. La implementación de los resultados del estudio fijara al productor a su finca, evitando la migración a otras zonas.

Se prevé un mejoramiento de la calidad de vida de los cafetaleros; porque la adición de abonos (orgánico o inorgánico) a las plantaciones de café, incrementaran los rendimientos de la planta, por lo tanto, generaran mayor ingreso monetario, para poder satisfacer las demandas de la familia.

El uso de abonos orgánicos e inorgánicos reduce la incidencia de la roya amarilla, por tanto, reducirá el uso de plaguicidas, este hecho favorecerá a la no contaminación de los suelos, aguas superficiales, y a la salud del productor de café.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Generalidades del cultivo del cafeto

Se ha establecido que Etiopía es el origen del café arábico, y es donde se inició su cultivo (**Anthony, Astorga y Berthaud, 1999**), la evidencia que corrobora esta hipótesis es que en las áreas montañosas de ese país y áreas vecinas de Sudán actualmente el café Arábico crece en forma silvestre sobre los 1500 msnm (**León, 2000**).

Pertenece a la familia Rubiaceae. El género *Coffea* incluye 70 especies, pero su producción comercial está dominado por sólo dos especies pertenecientes el género *Coffea*: *C. arábica* Linneo y *C. canephora* Pierre (café robusta) (**Lashermes et al, 2004; Charrier y Eskes, 2004**). Aunque se considera que *C. arábica* tiene una mejor calidad de la bebida que *C. canephora*, mejorar la calidad comercial de la especie arábica sigue siendo un objetivo para la mayoría de programas de mejoramiento de café (**Tran, Lee, Furtado, Smyth y Henry, 2016**).

Hace más de dos siglos que el café (*Coffea arábica* L.) inició su vida productiva en Centroamérica; pasando de bebida exótica en el siglo XIX a un importante producto de exportación hacia Europa y Norteamérica (**Kuhl, 2004; Samper, 1999**).

El café es un cultivo importante y el segundo producto más comercializado en el mundo (después del petróleo) proporcionando vida a más de 125 millones de personas (**International Coffee Organization, 2013**). Plantaciones bien manejadas de este cultivo, pueden ser productivas hasta 80 años, pero su vida útil económica está entre los 25 a 30 años (**Wintgens, 2004**).

En el Perú, se cultivan 430,000 hectáreas y San Martín representa el 23.2% de la producción nacional (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014b**). El cultivo del café se da principalmente en los valles interandinos de la selva alta, con predominancia de los cultivares arábigos; Típica (70%), Caturra (20%) y otras como Borbón y Pache (10%); el 90% de estas plantas crecen bajo sombra, 75% de la producción se concentra por encima de los 1200 msnm, con rendimiento promedio de 14 qq/ha.

Los mayores productores a nivel nacional son los departamentos de Junín, Cajamarca, San Martín y Cusco quienes poseen el 24, 23, 17 y 11% de la producción respectivamente (**El Cafetalero, 2013; MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014b; DIRECCION REGIONAL AGRARIA DE SAN MARTIN, 2016**).

Desde hace dos décadas el cultivo de café está impulsando el desarrollo económico y social en la región San Martín, por el área cultivada (100,042 Ha) y la calidad del producto obtenido para mercado de exportación. El rendimiento promedio es de 9 qq/ha asociado a la alta incidencia de enfermedades principalmente roya amarilla (**DIRECCION REGIONAL AGRARIA DE SAN MARTIN, 2016**).

El estado peruano a través del Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, desarrolló acciones de asistencia técnica a los cafetaleros afectados, distribuyendo kits de insumos a finales del 2013 la inversión para mitigar los daños por la roya amarilla fue de 100 millones de soles (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014a**). Otra acción desarrollada por el MINAGRI a través del FONDO AGROPERU y de AGROBANCO fue la reprogramación de las deudas y compra de las deudas que los cafetaleros tenían con otras entidades crediticias (**EL CAFETALERO, 2017**).

Con la finalidad de fortalecer la cadena productiva del café, el **MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (2014a)** formulo y ejecuto el Plan Nacional de Renovación de Cafetales, por un periodo de 4 años. **AGROBANCO (2017)** emite la directiva DIR-012-11, cuyo objetivo principal fue otorgar el financiamiento a los cafetaleros para la renovación de cafetales afectados por la roya amarilla; el mencionado financiamiento estuvo vigente hasta diciembre del 2017.

Actualmente los principales mercados de destino de nuestros cafés son: Alemania (32%), Estados Unidos (22%), seguido por Holanda, Bélgica y Francia (representan el 74%), estos países están cada vez más interesados en nuestro café, que se viene distinguiendo por la calidad de taza (aroma, cuerpo y sabor), gracias a los factores ambientales (microclimas y altitud de plantaciones) (**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, 2014a, b**)-

2.1.1. Ecología del Cafeto

Clima

El cafeto es un cultivo de fotoperiodo corto, ya que para florecer requiere menos de 13 horas de sol por día. Los valores más frecuentes en las zonas cafeteras están entre 1600 y 2000 horas de sol por año (4.4 - 5.6 horas por día). La temperatura media debe estar entre 17 y 23 °C, que se consigue a una altura que va de 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), la precipitación media anual debe ser bien distribuida y superior a 1200 mm y la humedad relativa debe estar sobre 70% (**Mora, 2008; Altamirano, 2012**). El cultivo de café, dentro de estos rangos climáticos, tiene las mayores posibilidades de éxito, aun cuando el cafeto puede cultivarse fuera de estos rangos (**Drinnan y Menzel, 1995**).

En América, las plantaciones comerciales de café están distribuidas desde Cuba (22 grados de latitud norte) hasta Paraná, Brasil (26 grados de latitud sur), pero las mejores condiciones climáticas para el cultivo de café se encuentran en el sub-trópico y en el trópico sobre todo en las zonas altas, donde la temperatura y la precipitación son los factores favorables para su cultivo comercial.

2.1.2. Variedades de café cultivadas en la región San Martín.

En el Perú, se cultiva principalmente el café arábico (*Coffea arabica*), en las variedades Typica, Bourbón, Pache, Caturra y Catimor (**GALINDO, 2011; GARCIA y BARRETO, 2007; DIRECCION REGIONAL DE AGRICULTURA DE SAN MARTIN, 2016**). A continuación, se presenta una breve descripción de las principales variedades cultivadas en la región San Martín.

Variedad Typica

Originario de Etiopía. Puede alcanzar una altura promedio de 3.5 m a libre crecimiento. Es un arbusto de forma cónica, generalmente formado de un solo tronco vertical y posee abundantes ramas productoras (**World Coffee Research, 2016**). Las ramas laterales

forman ángulos entre 50 y 70 grados con el eje o tallo central. Sus hojas son lanceoladas con la base y el ápice agudos, su textura es fina y la superficie lisa **(Duicela y Sotomayor, 1993)**. Las hojas nuevas o brotes son de color bronceado **(Orozco, 1986)**.

Los entrenudos son largos y el color de los brotes nuevos es bronceado **(Duicela y Sotomayor, 1993)**. Tiene un amplio rango de adaptabilidad, buena calidad de bebida **(Lopez-Garcia et. al., 2016)**, baja producción y susceptibilidad a roya pero resistente a Ojo de Pollo, minador **(Marin, 2012)**.

Variedad Bourbon.

Es Originario de las Islas Reunión, es una mutación del Bourbon rojo **(Orozco, 1986)** puede presentar varios troncos, con excelente respuesta a la poda. La abundancia de ramas es mayor que en el Typica y forman un ángulo más cerrado (45 grados) con el tallo central. Las hojas son más anchas y de borde rizado. Las hojas adultas son de color verde pálido y las nuevas de color verde claro. Los Frutos son de color amarillo de buen tamaño y buena calidad de bebida **(Marin, 2012)**. La siembra se realiza a distanciamientos amplios y pertenece a los cafés especiales **(Marin, 2012)**. Se recupera fácil y rápidamente de los efectos de la cosecha. Producen un 20 a 30% más café que la variedad Typica, pero aún tienen una cosecha más pequeña que la mayoría de variedades **(Lopez-Garcia et. al., 2016; Orozco, 1986)**.

Los mejores resultados para el café Bourbon se consiguen entre 1000 y 2000 metros de altura. La calidad de la taza es excelente y similar a la Typica **(World Coffee Research, 2016)**. Las variedades Bourbon y Typica, hasta hace 40 años cubrían casi toda el área cafetalera de América **(Duicela y Sotomayor, 1993)**.

Variedad Caturra

Es una mutación del bourbon encontrada en Minas Gerais, Brasil **(Marin, 2012; Orozco, 1986, Duicela y Sotomayor, 1993)**. Las plantas de Caturra tienen un sistema radicular bien desarrollado, permitiéndole adaptarse a diferentes condiciones. Las plantas de esta variedad, son de porte bajo, de aspecto vigoroso, tronco grueso un núcleo grueso y muchas ramas secundarias; de entrenudos cortos y con una coloración verde de

sus brotes tiernos. Se adapta bien a casi cualquier ambiente, pero mejor entre los 500 y 1700 metros con precipitaciones anuales entre 2500-3500 mm. A mayor altitud aumenta la calidad, pero disminuye la producción (**World Coffee Research, 2016**)

Las ramas forman un ángulo de 45 grados en relación al eje ortotrópico. La variedad Caturra es considerada como de amplio rango de adaptabilidad, alta producción, buenas características agronómicas y organolépticas, pero susceptible a la roya del cafeto (**Duicela y Sotomayor, 1993; Orozco, 1986**). Es recomendable sembrarlo en suelos de buena fertilidad (**Marín, 2012**).

Variedad Pache

Es una mutación de Típica (**Marín, 2012**). La planta destaca por su porte bajo, con la distancia entre nudos corta y con gran cantidad de ramas secundarias. El color de la guía es rojo vinoso al igual que el color de las cerezas al madurar. Estas destacan por ser muy resistentes a la caída después de su maduración. En la actualidad hay dos variedades de Pache: el Pache Común (mutación del Typica) que fue descubierta en la Granja El Brito, en Santa Cruz del Naranjo, Guatemala, y el Pache Colis (mutación entre el Pache Común y el Caturra). Crece muy bien en rangos de 1000 a 1700 msnm (**Marín, 2012; World Coffee Research, 2016**).

Variedad Catimor

Esta variedad fue desarrollada por el Centro de Investigaciones de la Roya del Café (CIFC), Oeiras, Portugal, como resultado del cruzamiento entre Caturra x Híbrido de Timor. Las plantas de este híbrido presentan gran variabilidad genética y resistencia a la roya (**Duicela y Sotomayor, 1993**)

El híbrido Timor se caracteriza por tener genes resistentes a Roya (*Hemileia vastatrix*), (**Fischersworing y Robkamp, 2001; Anzueto, 2013**). La maduración es temprana y la producción es muy alta, por lo que deben ser monitoreados de cerca. Son de porte bajo, tienen grandes frutos y semillas de café. Se adapta bien a regiones más bajas pero a una altura mayor tiene una mejor calidad de taza (**World Coffee Research, 2016**).

Variedad Catuai

Es un cruce artificial entre la variedad Caturra y la Mundo Novo en Sao Paulo, Brasil (Marín, 2012). Es una variedad de porte bajo y alta producción (Anzueto, 2013). El café Catuai comprende dos cultivares, "Catuai rojo" y "Catuai amarillo" (Duicela y Sotomayor, 1993). El tallo principal es grueso, con ramas laterales abundantes las cuales son prolíficas en ramas secundarias lo que le da una gran capacidad productiva. Las ramas forman un ángulo de 45 grados con relación al eje ortotrópico, con entrenudos cortos y brotes nuevos de coloración verde (Duicela y Sotomayor, 1993). Las hojas nuevas son de color verde claro. Es un arbusto vigoroso y compacto.

Tiende a ser de mayor diámetro (ancho) que el Caturra. Los frutos no se desprenden fácilmente de las ramas. El rendimiento del grano es bueno, así como la calidad de la bebida (World Coffee Research, 2016). Es Tolerante a roya pero susceptible a deficiencia de boro, Frutos rojos y amarillos y de tamaño medio (Marin, 2012).

2.2. Aspectos Biológicos de la Roya del café

Hemileia vastatrix, es un parasito que se alimenta de células vivas por ello es llamado parasito obligado, que ataca las hojas del genero Coffea, donde completa su ciclo de vida (Zuluaga y Céspedes, 2009); siendo el género C. arabica la más atacada por este hongo (Avelino y Rivas 2013). Hasta la fecha no existe evidencia que indique que el hongo sobreviva en el suelo o en tejido vegetal muerto.

Existe mucha controversia sobre el efecto de la sombra sobre la roya amarilla. Algunos resultados de investigación indican que la infestación de la roya amarilla es más alta bajo sombra que a pleno sol (Machado y Matiello, 1983; Staver, Guharay, Monterroso, Muschler, 2001; Avelino, Willocquet y Savary, 2004; Avelino et al., 2006); mientras que otras investigaciones indican lo contrario (Soto-Pinto, Perfecto, Caballero-Nieto, 2002); estos resultados contradictorios podrían ser explicados por las cargas fructíferas del cafetal; tal como lo sugiere Avelino et. al., (2006); confirmado por los resultados de investigación realizado por Pico Rosado (2014) quien estableció que la roya, en presencia de baja carga fructífera, no tiene condiciones para producir una epidemia.

2.2.1. Distribución Geográfica

La roya amarilla del café se encuentra distribuida en 73 países productores de café, distribuidos de la siguiente manera: 15 países de Asia, 31 en África, 19 en América y 8 Oceanía (**European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2013; American Phytopathological Society, 2011**). Esta amplia distribución está relacionada con los factores más importantes para su desarrollo, como por ejemplo las variaciones de temperatura, precipitación, altitud, variedades de café (**Orosco, Figueroa, Pacheco y Calderón, 2011**).

2.2.2. Ciclo biológico

El proceso infectivo de la roya del cafeto comienza con los síntomas de la enfermedad que aparecen en el envés de las hojas, en donde se observan pequeñas manchas de color amarillo pálido que con el tiempo aumentan de tamaño y se unen formando las características manchas amarillas o naranja, con presencia de polvo fino amarillo, produciéndose las esporas del hongo, llamadas uredospora, que son sus estructuras reproductivas (**Cadena, 1982; Rivillas, Serna, Cristancho, y Gaitán, 2011; Arneson, 2011**). La germinación de esporas requiere de la presencia de agua libre por al menos 6 horas y también es favorecida con temperaturas entre 21-25 °C y condiciones de obscuridad (**López-Bravo, Virginio-Filho y Avelino, 2012; Avelino y Rivas, 2013; SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION, 2013**).

La luz inhibe la germinación y cuando se evapora el agua de la hoja, afecta el crecimiento de los tubos germinativos. Sin embargo, luego de germinar, el hongo penetra en las hojas a través de las aberturas naturales (estomas) situadas en el envés de las hojas maduras (**Rivillas et al., 2011**). Una vez que ha penetrado al interior de la hoja, el hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales entran en contacto con las células de la planta y con éstos extraen los nutrientes para su crecimiento (**Kushalapa y Eskes, 1989**).

Luego de transcurridos 30 días, después de la colonización, el hongo está lo suficientemente maduro como para diferenciarse en estructuras llamadas soros, que

son las encargadas de producir nuevas uredenosporas (**Avelino et al., 2004**). El tiempo transcurrido desde la infección hasta la producción de esporas se denomina periodo de latencia. Para la zona cafetalera de Colombia, el periodo de latencia puede fluctuar entre 34 y 37 días al sol y entre 31 y 35 días a la sombra (**Rivillas et al., 2011**).

2.3. Efectos de la roya

El café (*Coffea arabica* L.) es una planta cultivada en 80 países tropicales y subtropicales del mundo, siendo la roya amarilla la enfermedad más destructiva y la de mayor importancia económica a nivel mundial. En Ceilán-Sri Lanka, se reportó entre los años 1871 y 1878 el caso más severo y emblemático del ataque de la roya amarilla, con reducción drástica de la producción desde 9 qq/ha a 4 qq/ha y del área de cultivo desde 68,787 a 14,170 ha, finalmente abandonaron las plantaciones por su baja rentabilidad en 1890 (**Centre for Agriculture and Biosciences International, 2013**).

En Latinoamérica, la roya aparece en 1970 en los estados de Bahía, Espírito Santo y Minas Gerais-Brasil, en 1972 se extendió a los estados de Sao Paulo y Paraná (**Waller, 1972**) quedando invadidas por la enfermedad las zonas más importantes de producción cafetalera de ese país. En 1983 aparece en Costa Rica y Colombia y en 1984 en Venezuela (**Moreno, 2004**).

En Brasil la no aplicación de medidas de manejo del patógeno condujo a una reducción del 30% en el rendimiento (**Silva, Zambolim, y Alvarez, 2002**). Sin embargo, la implementación de un cronograma de aplicaciones fúngicas para su control, en las zonas cafetaleras, representó el 9% del valor de las exportaciones de café de este país (**Centre for Agriculture and Biosciences International, 2013**). En México, el efecto de la roya amarilla fue drástico, ya que, por primera vez en su historia productiva, tuvo que importar café para satisfacer su demanda interna durante la campaña 2015-2016, (**Libert, 2016**).

La roya amarilla ingresó al Perú en el año de 1979 en la zona de Satipo, ocasionando pérdidas devastadoras (**Julca et al., 2013**). Esto generó una alerta en el Ministerio de Agricultura, quienes iniciaron acciones decididas para el control de la enfermedad, apoyando con productos químicos a base de azufre a los productores, pero el desconocimiento de las características fisiológicas del patógeno y la deficiente medida cuarentenaria (**Tirado, 2008**), imposibilitaron un buen control.

Se estima que 500 mil personas, distribuidos en 120 distritos cafetaleros fueron afectados por una desocupación masiva. Durante el 2013, 60 mil productores perdieron su cosecha y sus ingresos por los daños de la roya, sumándose a las 165 mil familias que acumularon pérdidas por los bajos precios; generando inestabilidad social y política, e incremento de la pobreza y pobreza extrema.

Por la magnitud del daño de la roya amarilla sobre los cafetales a nivel nacional; el Ministerio de Agricultura declaró el 03 de Mayo del 2013, en emergencia el cultivo de café asignando un presupuesto de S/. 100 millones de soles, para el control a nivel nacional de la enfermedad. Al mismo tiempo, elaboró una estrategia de emergencia para su control, con mucho énfasis en el uso de productos químicos.

No se conoce con exactitud si los productos químicos utilizados causaron contaminaciones a nivel del suelo y en las fuentes de agua dulce, como arroyos, quebradas o ríos; los cuales en la mayoría de los casos también son fuente del agua para las poblaciones asentadas en los alrededores. Pero cualquier programa de emergencia debe hacerse sobre bases técnicas racionales y económicas independientemente de las estrategias a implementar (**Julca et al., 2013**).

2.4. Efecto del Cambio Climático en la roya amarilla y en el cafetal.

Durante la última década, se encontró una fase más virulenta y agresiva de la roya amarilla en los años 2008-2009 en Colombia; en el año 2010 las plantaciones del Caribe y Centroamérica fue devastado; en el 2012 en México y luego llegó a los cafetales del Perú y Bolivia con los resultados ya conocidos (**Libert, 2016**).

Estos efectos se asumen que son consecuencia del cambio climático, toda vez que se alteraron los patrones de comportamiento de las precipitaciones y temperatura. Esto significa que las lluvias han caído fuera de temporada, se incrementó la temperatura, aunado a las condiciones de plantaciones viejas, mal nutridas, sin podas, condiciones ambientales favorables para la esporulación y diseminación de la roya amarilla (**McCook y Vandermeer, 2015**).

En un estudio realizado por **Baker y Haggan (2007)**, establecieron que las temperaturas elevadas no solo favorecen la proliferación de plagas y enfermedades, sino que también se

esparcirán a otros sitios donde nunca antes hubo esas plagas y enfermedades. Un equipo de investigadores después de haber realizado una serie de investigaciones destaca que el cambio climático incrementa las plagas las cuales se hacen más difícil de controlar estas son antracnosis (*Collectotrichum coffeanum*), la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*), el pellejillo (*Pellicularia koleroga*) y el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), que producen caídas de hojas y dañan el tejido leñoso de las plantas (**Läderach et al, 2011**).

Sin embargo, en un trabajo realizado por **Bebber, Delgado y Gurr en el 2015**, sobre modelamiento de los riesgos de la roya amarilla del café en Colombia, re analizando los datos climáticos, rechazaron la hipótesis de que el cambio climático sea el responsable de la enfermedad.

La productividad y la calidad de taza del café, se ve altamente influenciada por el clima (**Arcila 2007**). La producción de café depende altamente de una secuencia regular de los fenómenos meteorológicos. De acuerdo con **Fischersworrning et al. (2015)**, las condiciones climáticas ideales para el café arábica son las siguientes:

- Un periodo seco de tres meses, en el que se genera un estrés hídrico en los árboles que estimula una floración uniforme, pero si el periodo de sequía es demasiado largo debilita los árboles.
- Una buena irrigación o lluvias al inicio de la floración, pero no lluvia continua, ya que afectaría la producción de frutos.
- Temperatura demasiado alta (más de 32 °C) puede causar una serie de problemas fisiológicos, incluyendo el aborto de las flores.
- Lluvias regulares a lo largo de la etapa de desarrollo de las bayas.
- Un periodo más seco próximo a la cosecha.

Camargo (2010), menciona que la variación anual de la producción de café está relacionada principalmente con la variación climática, debido a que los factores climáticos afectan el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo. Por ejemplo, el proceso de la fotosíntesis se limita cuando se produce el estrés hídrico, debido al cierre de estomas y a la reducción de actividades fisiológicas de la planta.

Otro factor climático que puede reducir la productividad son las temperaturas extremas del aire, menores a 4 °C ocasionan el amarillamiento de las hojas y muerte de tejidos y brotes, mientras que temperaturas mayores a 30 °C reducen la fotosíntesis y provocan el aborto de flores (Pérez y Geissert, 2006), lo que resulta finalmente en una pérdida de la cosecha.

Villers, Arizpe, Orellana, Conde y Hernández (2009) evaluaron el impacto del cambio climático sobre la floración y desarrollo del fruto de la planta de café (*Coffea arabica* L.) en la región de Huatusco, Veracruz, como resultado se obtuvo que el cambio de temperatura del aire puede alterar el inicio de la floración y el cambio de las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto, afectando significativamente el rendimiento de café.

Gay, Estrada, Conde y Eakin (2004) aplicaron un modelo empírico econométrico para explorar la relación entre la producción de café en función de las variables climáticas y económicas en el estado de Veracruz y estimar el impacto potencial del cambio climático sobre este cultivo. Como resultado, concluyeron que a mitad del siglo XXI se espera una reducción de entre 22 y 27% de la productividad de café debido al incremento de la temperatura y la reducción de la precipitación.

2.5. Requerimientos ambientales del Cafeto

En general, las plantas son afectadas y su comportamiento seriamente influenciado por las condiciones climáticas, una plantación que normalmente recibe sombreado, presenta ciertas ventajas como son: la regulación de las condiciones ambientales, fertilidad del suelo, maleza, luz, protección de las plantas, longevidad, manejo de plagas y enfermedades.

La nutrición mineral es un factor ambiental que puede ser manipulado fácilmente. Existen varias referencias sobre la importancia de los nutrientes minerales en las enfermedades de plantas; así, el conocimiento de las funciones de estos elementos se hace necesario para estudiar su papel en la resistencia. No se debe olvidar que la presencia de un determinado elemento en el suelo no implica necesariamente su disponibilidad para el crecimiento del vegetal (Carvajal, 1984). Igualmente, el balance de los mismos determinará la

manifestación de elementos de resistencia en la planta, particularmente los que condicionan resistencia, debido a barreras mecánicas y/o acciones bioquímicas.

La calidad del suelo es uno de los factores fundamentales para la siembra del cultivo, ya que de ella depende la rapidez de crecimiento y desarrollo de los árboles, la iniciación de la producción, la cantidad y calidad de ésta, la resistencia al ataque de plagas y enfermedades y la duración de su vida productiva.

En relación al suelo si bien el café presenta una notable adaptación a diferentes condiciones edáficas, son de esperar los mejores resultados productivos, en suelos profundos (> 1.5m.) de una acidez moderada (pH 5 a 6,5), altos contenidos de materia orgánica (>5%), elevados porcentajes de saturación de bases, adecuados contenidos de macro y micronutrientes y texturas medias (Francos a Franco Arcillosas) que favorezcan un apropiado balance entre el drenaje del suelo y su capacidad de retener agua (**Chagas, Carvalho, Costa y Chaves, 2006; Loli y Aquino, 2011**).

La textura, profundidad, pH, contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo son aspectos que están directamente relacionados con el rendimiento del café; restricciones en estos aspectos también pueden afectar su calidad (**Santoyo et al., 1996**). En el caso particular de la textura, se ha encontrado que suelos arcillosos provocan significativamente más defectos en los granos que los suelos con mejor textura (**Vaast, Perriot, y Cilas, 2003**).

En Colombia se probó la oferta ambiental de varias zonas cafetaleras (**Carvajal, 1984**); las fincas tenían igual número de plantas/ha, igual fertilización, suelo, manejo tecnológico y suficiente lluvia. Las zonas comparadas fueron Sevilla y Santa Rosa versus las zonas de Calarca y Naranjal. Las diferencias entre los dos primeros sitios y los dos últimos fue de 1.5 grados de temperatura, 150 metros de altitud y 200 horas sol por año. La producción en los dos primeros sitios fue aproximadamente la mitad de la obtenida en los otros dos. Los resultados sugieren que la oferta ambiental en los dos primeros lugares limitó la producción y ésta no aumentó aun con el uso de 1400 kg de fertilizante 17-6-18-2-7; recomendándose que cuando existe menor oferta ambiental solamente se debe fertilizar para la producción obtenible en el sitio (**Carvajal, 1984**).

Cleves (1998b) indica que la altitud es un factor determinante de la calidad del café teniendo como regla general que el grano producido en la altura es de mayor tamaño y rendimiento, mejor calidad, más cuerpo, aroma y acidez que el de áreas bajas. La altitud incide en forma directa sobre la temperatura, de manera indirecta en la lluvia, e inversamente con la iluminación. Es un factor imposible de modificar.

El efecto de altitud sobre la calidad física y organoléptica del grano de café ha sido demostrado en diferentes ocasiones. El incremento altitudinal es acompañado de una mejora en la calidad física y organoléptica del café (**Vaast y Bertrand, 2005; Vaast et al., 2005a; Figueroa, Jiménez, López de León, y Anzueto, 2000; Buenaventura y Castaño, 2002; Salazar, Muschler, Sánchez y Jiménez, 2000**). El café cultivado a mayor altitud suele desarrollar más atributos positivos, tales como acidez y aroma, definiendo así un mejor sabor y calidad de bebida (**Vaast et. al., 2005a; Cleves, 1998b**). Cafés cultivados a poca altitud presentan colores de grano verde pálido, con ranura abierta y regular, y con menor densidad (**Vaast et.al., 2005a; Santoyo et.al., 1996**).

La influencia benéfica de la altitud en la determinación de la calidad del café es atribuida a los cambios en temperatura y humedad que se producen al ascender altitudinalmente. Altitud y temperatura presentan correlaciones negativas entre sí, donde por cada 100 m que se asciendan verticalmente se disminuyen entre 0.5 - 0.6 °C (**Wintgens, 2004; Gliessman, 2002**). Esta reducción en la temperatura se debe a la disminución en el grosor de la atmósfera conforme se asciende altitudinalmente; esto provoca mayor pérdida de calor por la re irradiación que ocurre durante la noche.

Además, niveles de nubosidad considerables durante el día en zonas con mayores altitudes producen una disminución adicional en el aprovechamiento de la radiación (**Gliessman, 2002**).

La disminución en la temperatura favorece un alargamiento en el proceso de maduración de la cereza, que a su vez propicia un mejor llenado de grano y consecuente producción de granos de mayor peso y con mejor calidad de bebida (**Vaast et. al., 2005b; Wintgens, 2004**).

Por otro lado, por efecto de la latitud, condiciones de temperatura, precipitación, humedad relativa e insolación muy similares a las de más de 1200 msnm de Costa Rica pueden ocurrir en regiones de 800 msnm, pero en lugares situados mucho más hacia el norte en algunas regiones de México (**Santoyo et al.,1996**). En este sentido, **Vaast et. al., (2003)** reportó café de mejor calidad en el Departamento de Boaco (Zona Central de Nicaragua), que en el Departamento de Managua (Zona del Pacifico) a pesar de que ambos departamentos presentan altitudes similares, aduciendo estas diferencias en la calidad, a los mayores regímenes de lluvia que presenta la Zona Central.

En un estudio sobre el efecto de la Altitud, Sombra, Producción y Fertilización sobre la calidad del Café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) producido en Sistemas Agroforestales de la Zona Cafetalera Norcentral de Nicaragua; **Lara (2005)** estableció que el factor que más influyó sobre la calidad del café y su composición bioquímica fue la altitud.

Aunque la altitud es una ventaja comparativa que no puede ser igualada por completo por los caficultores de regiones de menor altitud, el manejo de la sombra y la fertilización (dosis y épocas) podrían suplir o compensar en algún grado el efecto de la altitud sobre la determinación de la calidad del café.

2.5.1. Suelos y fertilización

a. Capacidad extractiva de la Planta: La Capacidad extractiva de la planta, está relacionada con la capacidad que tiene una unidad de producto cosechado de extraer diferentes nutrientes, los datos son bastante variables porque normalmente proceden de datos obtenidos en el extranjero, de allí su variabilidad. **Loli y Aquino (2011)** realizaron una recopilación de esos datos y agregaron algunas experiencias obtenidas en el Perú (Tabla 1).

Tabla 1*Capacidad extractiva de nutrientes de la planta de café.*

Qq/ha café pergamino	Extracción de N	Extracción de P	Extracción de K	SO ₄ Cu Kg/ha	S ₀ ₄ Zn Kg/ha	SO ₄ Mn Kg/ha
10	21.5	4	42.4	1	1	1
20	43	8	84.8	1.5	1.5	1.5
30	64.5	12	127.2	1.8	1.8	1.8
40	86	16	169.6	2.1	2.1	2.1
50	107.5	20	212	2.2	2.2	2.2
60	129	24	254.4	2.2	2.2	2.2
70	150.5	28	296.8	2.3	2.3	2.3
80	172	32	339.2	2.3	2.3	2.3
90	193.5	36	381.6	2.4	2.4	2.4
100	215	40	424	2.4	2.5	2.4
110	236.5	44	466.4	2.5	2.5	2.5
120	258	48	508.8	2.5	2.5	2.5

Fuente: Loli y Aquino (2011).

Aun cuando hay diferentes valores con los cuales recomiendan trabajar, se podría por lo menos considerar la extracción por parte de la cosecha y asumir la pérdida de la parte aérea, que queda en el suelo (Tabla 2).

b. Nutrición del cafeto y su relación con las enfermedades

Algunos investigadores señalan que una planta bien nutrida no se enferma ni es atacada por las plagas; desafortunadamente, el desarrollo de las enfermedades en las plantas cultivadas no es un fenómeno simple de explicar, por lo que la nutrición mineral puede aumentar o disminuir la resistencia o tolerancia de las plantas a las plagas y enfermedades.

Tabla 2*Concentración óptima de diferentes elementos nutricionales en el cultivo de café.*

Elemento	Bajo	Medio	Alto
N%	2	2.5	3
P%	0.1	0.15	0.18
K%	1.5	2	2.5
Ca%	0.6	1	1.4
Mg%	0.2	0.4	0.6
S-SO₄²⁻ ppm	100	200	200
Mn ppm	100	200	300 (>500 puede ser tóxico)
Fe ppm	70	100	100
B ppm	30	60	100 puede ser tóxico
Cu ppm	5	10	20
Zn ppm	5	10	20
Mo ppm	0.1	0.3	0.5

Fuente: Loli y Aquino (2011).

El estado nutricional de la planta es un factor muy importante en la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades. Los elementos minerales (N, P, K, Mg, Ca, S, Zn, B entre otros) están directamente relacionados con todos los mecanismos de defensa de la planta al ser componentes de las células, sustratos, enzimas, acarreadores de electrones, activadores, inhibidores y reguladores del metabolismo (**Piening, 1989**). Por otro lado, deficiencias nutricionales de macro elementos como el nitrógeno y potasio (**Santoyo et al., 1996**) u oligoelementos como el boro, cloro, molibdeno, hierro, entre otros, (**Fageria, Baligar y Clark, 2002**) tienen efectos negativos directos sobre la calidad del café.

Es por esta causa, que las plantas son más susceptibles a enfermedades cuando existe una condición que limita los elementos minerales en los tejidos. Sin embargo, también sucede que plantas con exceso de ciertos nutrimentos pueden ser más propensas a enfermar cuando están presentes ciertos patógenos

Los desequilibrios nutricionales que favorecen la roya se presentan en la época de formación de los frutos, ocasionados por una reducción en los niveles de nutrimentos en las hojas, que se traduce en una mayor susceptibilidad a la roya (**Silva, Zambolim, Álvarez, Chavez, 1992**), caso contrario ocurre en años donde el nivel productivo es menor y la presencia de roya es menos notoria, a pesar de que siempre está presente causando daños económicos (**Chaves, 2006**).

En un ensayo de fertilización para la producción orgánica en café variedad Caturra (**Julca et al., 2008**), no encontró una relación clara entre el nivel de nutrientes en hojas con la incidencia de esta enfermedad evaluados al inicio y al final de la campaña cafetalera en Villa Rica y San Ramón, zonas productoras en la selva central del Perú. Por ejemplo, en la primera localidad los niveles de N, P, K aumentaron al final de la campaña y lo mismo ocurrió con la incidencia de la “roya”, aunque ligeramente. Sin embargo, en San Ramón, la incidencia aumento de manera importante; pero los niveles de N, P, K foliar disminuyeron al final de la campaña (Tabla 3).

En otro estudio realizado en Villa Rica por **Julca et al., (2010)** se encontró que la incidencia de la “roya” en una parcela fertilizada de café variedad Catimor disminuyo

un 21,2%, comparado con la parcela sin fertilizar. Según **Garate y Bonilla (2001)**, el N y K son elementos que afectan la resistencia de los cultivos a las enfermedades, pero esto no significa que el aumento de algunos de estos elementos, o de ambos, otorga siempre una mayor resistencia a la planta, porque la presencia de una enfermedad también depende del patógeno involucrado.

Tabla 3

Nivel de nutrientes en hojas e incidencia de “roya” al inicio y al final de la campaña en café variedad Caturra roja en San Ramón y Villa Rica, Perú.

Nivel en Hojas	Villa Rica (1500 msnm)		San Ramón (1258 msnm)	
	Incidencia Inicial (42.37%)	Incidencia Final (43.41%)	Incidencia Inicial (27.50%)	Incidencia Final (44.96%)
N (%)	2,49	2,66	3,21	2.66
P (%)	0.14	0.15	0.185	0.17
K (%)	1.19	1.23	2.45	1.77
Mg (%)	0.295	0.255	0.293	0.227
Ca (%)	1.07	0.96	1.57	1.06
Mn (ppm)	151.75	136.5	262.0	181.3
Fe (ppm)	87.25	77.75	77.5	108.5
Cu (ppm)	28.25	34.25	9.75	12.0
B (ppm)	77.5	49.0	99.0	104.0
Zn (ppm)	9.5	9.3	10.75	12.0

Fuente: Julca et al., (2008)

La germinación de las esporas sobre la superficie de las hojas y raíces es estimulada por la presencia de exudados en las plantas (**Moraes, Cervilini y Gallo, 1974**).

También, las concentraciones de aminoácidos son altas cuando ocurre exceso de nitrógeno. Por lo tanto, las concentraciones de asimilados solubles en el apoplasto, es factor importante en el crecimiento del patógeno durante su penetración y post infección.

La carencia de boro y cobre afectan la biosíntesis de la lignina y suberina que desempeñan un papel clave en los estados precoces de la infección. El cobre, cinc, hierro y magnesio juegan un papel importante en los procesos de generación y

detoxificación de radicales libres de oxígeno y de peróxido de oxígeno, la resistencia de las plantas puede estar influenciada por esos elementos (**Moraes et. al., 1974**).

Cuando las plantas son fertilizadas con altas cantidades de nitrógeno, la actividad de las enzimas claves en el metabolismo de fenoles reduce el contenido de compuestos fenólicos y lignina. Con el fósforo, la situación es menos compleja; sin embargo, puede estar relacionado con los compuestos orgánicos y procesos metabólicos (fotosíntesis y otros), siendo muy importante su papel en la resistencia a las enfermedades.

Con respecto al potasio, la deficiencia de este elemento puede resultar usualmente en la acumulación de compuestos nitrogenados solubles y la concentración de azúcares y aminoácidos son altas, los cuales son fuentes de nutrimentos para patógenos (**Moraes et. al., 1974**). Una mayor concentración de K en la hoja aumenta la resistencia tanto a parásitos facultativos (por ejemplo, *Fusarium*) como a obligatorios (por ejemplo, *Puccinia*); en cambio un incremento de N aumenta la resistencia a parásitos facultativos; pero disminuye la resistencia a los parásitos obligatorios (**Moraes et. al., 1974**).

El calcio tiene importancia fundamental en el mecanismo de resistencia a las enfermedades, por estar formando parte en la integridad de todas las membranas y pared celular; además de tener un papel crítico en la división celular, desarrollo celular y activación de enzimas (**Burstrom, 1968; Wiersum, 1979**).

Muchos desórdenes fisiológicos de órganos de almacenamiento, frutos, raíces y plántulas están relacionados con el bajo contenido de calcio en sus tejidos (**Maynard, 1979**). En función de ello, incrementos en el contenido de calcio hasta niveles adecuados, conducen generalmente a la disminución de algunas enfermedades en esos tejidos. Aspersiones foliares de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, demostraron una reducción de lesiones del hongo *Mycena citricolor* (*Omphalia flavida*) en hojas de café, sugiriendo que el Calcio (Ca) neutraliza el ácido oxálico liberado por el Ojo de Gallo, impidiendo la infección (**Rao y Tewari, 1988**).

c. Relación con el rendimiento y la calidad

Conocer el efecto de la enfermedad sobre el rendimiento y la calidad de las cosechas siempre es objetivo de los Fitopatólogos. En un ensayo de fertilización para la producción orgánica en café variedad Caturra (Julca et al., 2008), se comparó la incidencia de la “roya del café” con el rendimiento y la calidad de la cosecha.

En Villa Rica se tuvo la mayor incidencia promedio (37.5%) con respecto al nivel encontrado en San Ramón (21.3%); pero contrariamente a lo esperado en la primera localidad también se encontró el mayor rendimiento de café cerezo, café pergamino seco, calidad física y calidad organoléptica (Tabla 4). Estos resultados pueden conducir a subestimar el efecto de la enfermedad; porque después de un año de alta cosecha se espera un año de baja cosecha (producción bianual); pero la presencia de la “roya” acentúa esta baja (López, 2010).

Tabla 4:

Incidencia de la roya, rendimiento y calidad en café variedad Caturra roja en San Ramón y Villa Rica, Perú.

Rendimiento y Calidad	Villa Rica (1500 msnm)	San Ramón (1258 msnm)
	Incidencia Promedio (37.53%)	Incidencia Promedio (21.34%)
Café cerezo (Kg/parcela)	2.750	1.970
Café pergamino seco (Kg/parcela)	0.662	0.406
Calidad Física (%) ¹	80.25	75.40
Calidad organoléptica (puntaje) ²	82.00	78.53

Nota: 1: También llamado café de exportación 2: Según la SCAA, el café es: Excelente (90), Muy especial (85), Especial (80) Bueno (75), Corriente (70). (Fuente: Julca et al., 2008).

2.6. Calidad de café

El café es uno de los productos del mercado mundial que se comercializa en base a la calidad del grano, a ello va asociado el aroma, acidez, cuerpo y consistencia del mismo (Lopez-Garcia et. al., 2016; World Coffee Research, 2016). La calidad determina el conjunto de características físicas y organolépticas que motivan a un comprador a pagar un precio diferenciado por el producto, lo que representa mayor ingreso y rentabilidad al

caficultor (**World Coffee Research, 2016**). Al incumplir los requisitos de calidad de café, no solo afectan a los caficultores en términos de ingresos, sino que también afecta a los diferentes eslabones que participan en la cadena productiva

La calidad de los granos depende de varios factores tales como; la variedad cultivada, las condiciones ambientales, el estado de maduración, las plagas y enfermedades, así como de las prácticas culturales (**Barboza, 1996, 1999**); mientras que el tamaño, forma, color y composición química del grano influyen en la calidad del café, además el tamaño de grano presenta una relación positiva con la calidad de la taza del café (**Regalado, 2006**).

El proceso pos cosecha mantiene la calidad del grano y en ocasiones la desmejora. Los efectos principales del grado de maduración del grano aunado a un proceso de fermentación no adecuado, incorpora efectos negativos significativos en la calidad del café producido (**Lopez-Garcia et. al., 2016**).

Se ha demostrado que la deficiencia de Mg inducida por altas dosis de K promueve la presencia de un alto porcentaje de granos color marrón y pobres características de torrefacción (**Luiza, Adriana, Beatriz y Mendonça, 2007**). El color ámbar del grano de café, es inducido por la deficiencia de Fe en suelos con alto pH.

Concentraciones muy altas de Ca y K en los granos generan un sabor amargo y áspero. La adición de Mg mejora el sabor del café (**Luiza et. al., 2007**).

No se ha encontrado correlación entre el contenido de P y la calidad física y sensorial con el rendimiento y la calidad. La aplicación de cantidades excesivas de micronutrientes (B-Fe-Cu-Zn-Mn), no produce respuesta en producción y por el contrario pueden causar problemas intoxicación (**Luiza et.al., 2007**).

2.6.1. Característica física y sensorial

Entre las características físicas se encuentran: tamaño, aspecto del café en oro, color en oro y tostado, aspecto externo y abertura de la hendidura del grano (**Geel, Kinnear, Kock, 2005; Centro de Comercio Internacional, 1992; Brownbridge y**

Gebreigzabhair, 1968). El tamaño de grano (granulometría) se determina utilizando tamices con diferentes diámetros (**Centro de Comercio Internacional, 1992**). Este se expresa en porcentaje de grano verde por clase de tamiz.

Se consideran granos con defectos aquellos que presenten al menos una de las siguientes condiciones: negros, decolorados, malformados, aplastados, inmaduros (verde), mordido, picado por insectos, fermentados, manchados, entre otros. Los defectos pueden expresarse tanto en porcentaje o en cantidad (**Marín, Arcilla, Montoya y Oliveros, 2003; Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, 1999**).

2.6.2. Catación

Lingle, (1999) define la catación como una prueba organoléptica o sensorial, la cual es aceptada mundialmente para su comercialización. La catación se realiza por un Catador, quien es una persona especializada que posee amplios conocimientos, experiencia, habilidades naturales y adquiridas a través de capacitaciones nacionales o internacionales, para poder percibir cada uno de los atributos y defectos que pueda tener el café (**Lingle, 1999; Barrios et al, 1998**).

Debido a los atributos subjetivos que se evalúan durante la catación, los catadores pueden tener opiniones diferentes sobre la calidad y la aceptación de la infusión; por ser una evaluación meramente empírica (**Geel et al., 2005; Barrios et al, 1998; Centro de Comercio Internacional, 1992**).

Desde hace una década atrás, los atributos del café, tanto para los granos como para la bebida, está en función a la demanda del consumidor; son ellos los que determinan el tamaño y/o tipo del grano y de la calidad de la bebida; por lo tanto la definición de calidad del café se basa en los defectos físicos del grano y de taza (**Vaast et al., 2003, Cleves y Astúa 1998, Shankaranarayana y Abraham, 1986**). Por lo tanto, la catación es una de las fases más importantes en la comercialización del café; puesto que determina el verdadero valor del café en el mercado (**Centro de Comercio Internacional, 1992**).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización y descripción del área de estudio

3.1.1. Localización

El presente estudio se realizó en el distrito de Alonso de Alvarado de la provincia de Lamas; en la localidad de Nuevo Chota. El distrito de Alonso de Alvarado se encuentra ubicado a una altura que va desde los 800 msnm hasta los 1800 msnm, la capital del distrito se encuentra a 1082 msnm (Figuras 1 y 2), cuyas coordenadas son 06° 21' 17" latitud sur, 76° 46' 28" de latitud norte.

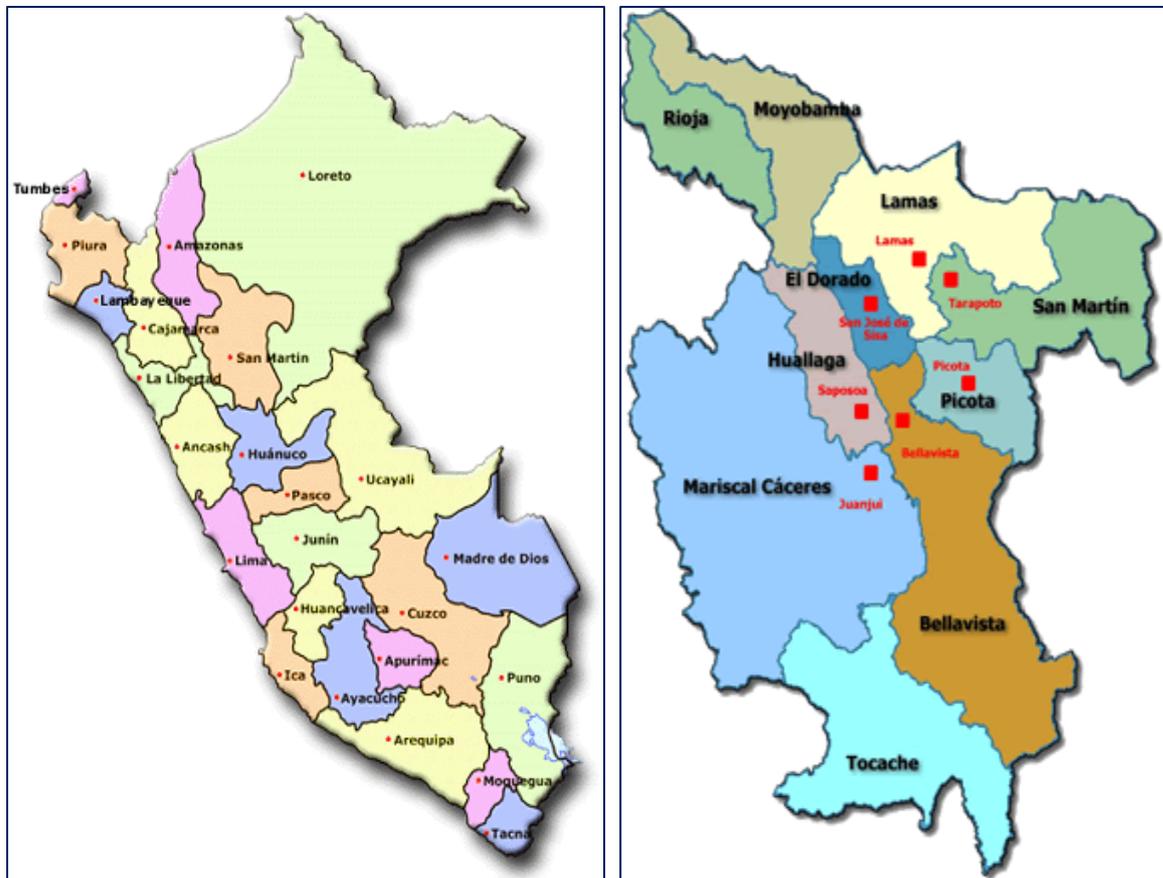


Figura 1: Ubicación Geográfica del área de estudio

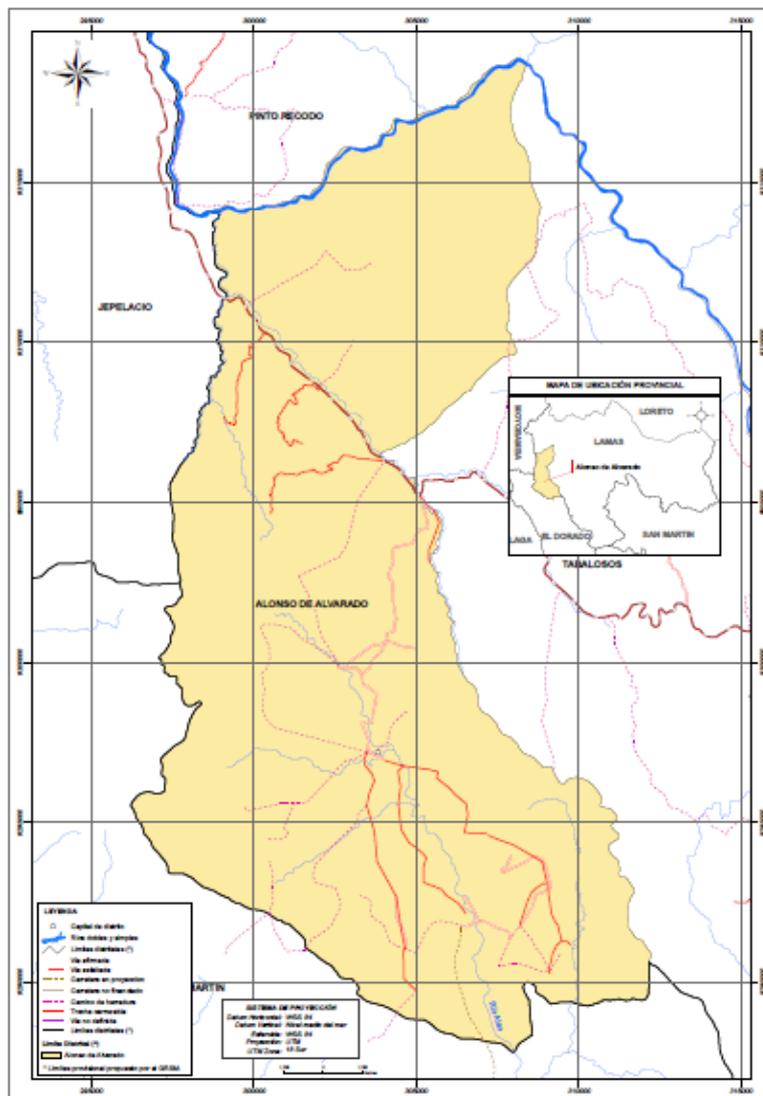
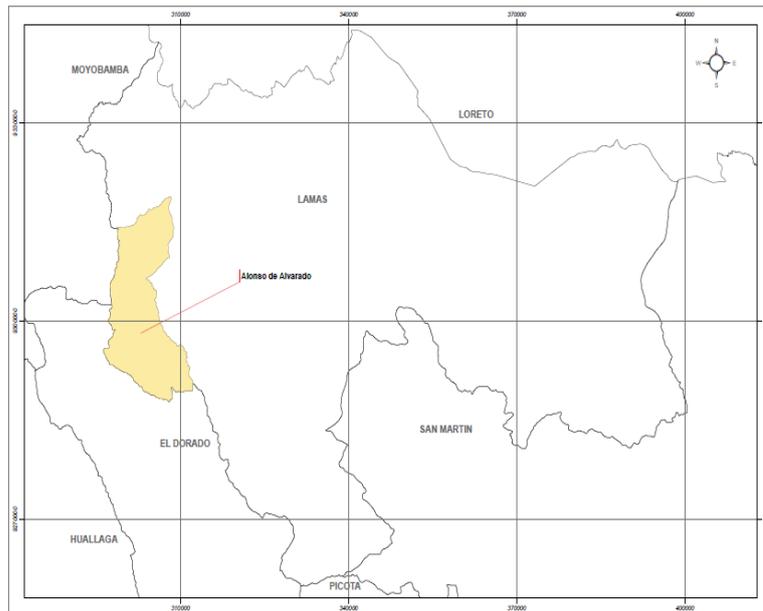


Figura 2: Ubicación de la provincia de Lamas y ubicación del distrito de Alonso de Alvarado

3.1.2. Vía de acceso

A la capital del distrito se accede por una carretera asfaltada de 10 Km. desde la carretera Fernando Belaúnde Terry (FBT), a una distancia aproximada de 52 km. al Norte de la ciudad de Tarapoto. Algunos centros poblados del distrito están articulados (Pacayzapa, San Juan de Pacayzapa) a través de la carretera, y otras comunidades ubicados en las zonas de montaña, a través de carreteras sin afirmar y por caminos de herradura a una diversidad de centros poblados (**Ruta de los Chancas, s/f, p.1**)

3.1.3. Clima

Cuenta con clima semi cálido que va de ligero a moderadamente húmedo, con una temperatura promedio de 22°C, Humedad relativa de 94%, durante el año su condición es de parcialmente nublado (**Cachique, 2013**).

En la tabla 5 se presentan los principales datos meteorológicos de precipitación, temperatura media y humedad relativa de los años 2013 y 2014, tiempo en el que se desarrolló el presente estudio. Estos datos fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI, Dirección Regional de San Martín.

En el área de estudio no existen estaciones meteorológicas que registren los parámetros climatológicos; por lo que en coordinaciones con el director de SENAMHI-San Martín, se tomaron los datos de la estación que existe en Jepelacios, ya que dicha zona presenta la misma altitud que nuestra zona de estudio.

3.1.4. Suelo y Fisiografía

Los ensayos fueron instalados en suelos pesados con una textura donde predomina la arcilla (54%), fuertemente ácidos, con valores de pH que varían entre 4.15 a 4.43, contenido medio de materia orgánica (2.3%), el Fosforo disponible en el suelo deficiente (4.5 ppm), presenta altos contenidos de Ca y Mg cambiables y contenido medio de K cambiante, en algunos casos el Aluminio es alto con 72% de saturación de aluminio.

Se caracteriza por presentar relieve Montañoso y Colinoso que va de pendiente moderada a pendiente fuerte, además presenta algunos llanos donde principalmente se encuentran ubicados los Centros Poblados.

3.1.5. Selección de la Finca Cafetalera

El predio donde se desarrolló el estudio fue seleccionado en enero del 2013, en función a diferentes visitas de campo para ubicar plantaciones de café que cumplieran con el requisito de edad de planta propuesta para el estudio. Es así que, en la localidad de Nuevo Chota, la propiedad del Sr. Alejandro Carhuajulca Torres, con una plantación de café variedad pache con edades de 4, 8 y 14 años de edad, fue seleccionada. Las coordenadas geográficas de la finca son: S: 6° 18' 10.2" y WO: 76° 45' 9.4", a una altitud de 1300 msnm. Las coordenadas fueron tomadas con un equipo de GPS marca Garmin modelo etrex.

Tabla 5

Parámetros meteorológicos de precipitación mensual, temperatura media promedio mensual y Humedad relativa registrado en una zona cercana al área de estudio.

Precipitación Total Mensual (mm.)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2013	117.2	63.9	368.5	70.7	111.7	45.9	51.0	96.2	100.6	99.4	144.9	75.5	1345.5
2014	138.9	151.8	239.9	168.7	54.4	74.9	52.0	63.9	72.8	211.9	301.6	240.4	1771.2
Temperatura Media Promedio Mensual °C													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2013	22.3	22.1	22.7	22.6	22.4	21.6	21.0	21.5	22.2	22.8	23.2	22.8	22.3
2014	22.1	21.5	21.5	21.2	21.1	20.6	20.7	20.9	20.6	21.3	22.6	21.5	21.3
Humedad Relativa Promedio Mensual (%)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
2013	86	86	85	82	86	87	83	83	83	85	85	85	85
2014	85	88	91	89	90	89	88	85	88	85	84	85	87

Fuente: Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología-Dirección Regional De San Martín

3.2. Materiales en General

Los materiales que hicieron posible el desarrollo del estudio están relacionados con las plantaciones de café de diferentes edades, sobre las cuales se aplicaron los tratamientos en estudio. También fueron parte de los materiales, las diferentes fuentes de nutrientes utilizados tanto orgánicos como inorgánicos y naturales, palas, machetes, bolsas plásticas, marcadores, formatos pre establecidos, para el registro de los datos provenientes de las

diferentes evaluaciones biométricas, así como los materiales de gabinete como papel bond de 80 g, computadora, impresora y otros.

3.3. Diseño del modelo teórico y su implantación

3.3.1. Referentes teóricos del modelo

3.3.1.1 Conceptualización de Abonamiento

El abonamiento es la actividad de adicionar al suelo productos los cuales pueden ser sustancias orgánicas, inorgánicas y/o naturales, que cumplen el rol de suministrar nutrientes al suelo para mejorar su fertilidad para la producción de cultivos y/o biomasa.

3.3.1.2 Elementos del Abonamiento

3.3.1.2.1. Tipos de Abono

El abono es una sustancia que puede ser inorgánica u orgánica, y/o natural y que se utiliza para incrementar o mejorar la calidad del suelo y brindar nutrientes a los cultivos y las plantaciones. El estiércol y el guano, por ejemplo, son abonos orgánicos; mientras que la dolomita, la roca fosfórica son abonos naturales, nitrato de amonio y cloruro de potasio, son abonos inorgánicos.

Los abonos inorgánicos, también llamados abonos minerales, son sustancias químicas sintetizadas, ricas en fósforo, calcio, potasio y nitrógeno, nutrientes que favorecen el crecimiento de las plantas. Son absorbidos más rápidamente que los abonos orgánicos. La característica más sobresaliente de los abonos inorgánicos es que deben ser solubles en agua, para un mejor aprovechamiento por las plantas, así como también para poder ser disueltos en el agua de riego.

El abono orgánico, es un fertilizante que proviene de restos o residuos de animales, humanos, vegetales u otra fuente orgánica y natural. En cambio, los abonos

inorgánicos están fabricados por medios artesanales, como los abonos nitrogenados (hechos a partir de combustibles fósiles y aire) o los obtenidos de minería, como los fosfatos o el potasio, calcio, zinc.

3.3.1.2.2 Dosis de abonamiento

Se refiere a la, o las cantidades de uno o varios nutrientes a suministrar al suelo, para esperar un máximo rendimiento de las plantas. Para elegir la dosis a aplicar pueden tomarse algunos criterios, como por ejemplo el tipo de cultivo, el rendimiento deseado, la cantidad que aporta el suelo, el requerimiento del cultivo, la extracción de nutrientes por el cultivo, la etapa del cultivo, en muchos casos se recurre a las estimaciones establecidas en la región por otras investigaciones.

3.3.1.2.3 Épocas de Aplicación

Las plantas necesitan diferentes cantidades de nutrientes en diferentes etapas de crecimiento. Para el desarrollo del cultivo y el buen rendimiento es importante, tomar en cuenta, la época de aplicación de los abonos. El suministro en la época adecuada aumenta los rendimientos, reduce las pérdidas de nutrientes, aumenta la eficiencia del uso de nutrientes y previene daños al ambiente. La época de aplicación, es determinada por el patrón de absorción de nutrientes del cultivo; para el mismo cultivo, cada nutriente tiene un patrón de consumo individual.

Efectos contrarios a los mencionados, se consiguen si es que no se toma en cuenta la época apropiada para la aplicación de los abonos.

3.3.1.3 Abonamiento

El abonamiento está íntimamente relacionado con la Nutrición Mineral de las plantas, la cual estudia cómo las plantas obtienen y usan los nutrientes minerales; tratando de obtener altos rendimientos (**Loomis y Connor 1992; Mengel y Kirkby, 2001**). De hecho, el rendimiento de la mayor parte de los cultivos vegetales aumenta de forma lineal con la cantidad de fertilizantes que pueden absorber (**Epstein y Bloom, 2005**).

El autor considera que, es preciso desarrollar herramientas que permitan predecir la productividad del café, asociado con la adición de nutrientes a través del abonamiento. El uso de modelos estadísticos es el método que nos permitirá estudiar, y entender, los rendimientos proyectados, con el uso de abonos.

3.3.1.4 . Productividad del Café

En términos generales la productividad agrícola se define como la cantidad de producto obtenido en un sistema de producción en función a los recursos utilizados; por unidad de área. Para nuestro caso específico, la productividad del café estará determinada por el rendimiento de café pergamino, afectado por la severidad de daño de la roya amarilla.

3.3.1.4.1. Severidad de daño de la roya amarilla

La roya amarilla es el nombre común de la enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix* en plantas de café. La roya amarilla del café es una enfermedad que se manifiesta a través de síntomas visuales y evaluado a través de la severidad de daño, el cual es el porcentaje de área o volumen de tejido vegetal cubierto por la roya.

3.3.1.4.2. Rendimiento.

Es la relación de la producción total de un cultivo cosechado por hectárea de terreno utilizado. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea, en el caso particular del café la unidad de medida en kilos por hectárea – Kg ha^{-1} .

3.3.1.4.3. Calidad de taza.

Evaluación sensorial de los atributos de aroma y sabor de la bebida de café, así como su limpieza, es decir la no presencia de aromas ni sabores extraños.

3.3.1.5. Productividad

El objetivo de los productores cafetaleros es el incremento de la productividad y su sostenibilidad en el tiempo (**Asociación Nacional del Café s/f, 2**

párr.), la productividad tiene que ver con otros factores como son la responsabilidad social y la responsabilidad ambiental, además de obtener rendimientos rentables.

Bajo este enfoque, lo más importante para el cafetalero será la optimización de los recursos para obtener el máximo de producto. Bajo el paraguas de las Buenas Prácticas Agrícolas esto se logra conservando el medio ambiente con inclusión social (**Solidaridad, 2009**).

A continuación, se presentan y discuten algunos modelos estadísticos, más importantes, desarrollados por otros investigadores, para predecir los rendimientos del café pergamino. La gran mayoría de los estudios utilizan los parámetros hídricos, de clima, de densidad de plantación y de sombreado para asociarlos con los rendimientos de café.

3.3.1.6. Modelo de predicción de producción del café

El rendimiento de un cultivo puede ser considerado como una función de los factores de producción. Para cuantificarla es posible utilizar modelos estadísticos que la aproximan con una precisión razonable.

Muchas investigaciones se han desarrollado para establecer modelos de predicción de rendimientos en diferentes cultivos como maíz, soya, palma aceitera y otros. Algunos de los modelos; están diseñados para potenciar el uso eficiente del agua, otros para tomar en cuenta las variaciones climáticas, las épocas de siembra y otros modelos asocian la productividad con la fertilización del suelo. Pero en la revisión bibliográfica no se ha establecido un modelo para el cultivo de café en la región San Martín.

En los siguientes párrafos presentaremos algunos de los modelos desarrollados para diferentes cultivos, pero en especial del cultivo de café.

En Colombia se desarrolló un modelo integrado de pronósticos de cosechas de café en donde considera procesos físicos, químicos y biológicos tales como el tipo de suelo, la interceptación de la radiación solar y fotosíntesis por la vegetación, el índice

de área foliar, la temperatura media diaria y la acumulación y distribución de la materia seca (**Centro Nacional de Investigación del Café, 2007; 2009**). También desarrollaron una función de producción basado en la densidad de siembra del café, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$Y = 130,73 + 0,0526X - 0,00002359X^2 \quad (1)$$

Donde:

Y : Producción de café en arrobas por hectárea

X : Número de plantas por hectárea.

Una arroba representa 11,5 kg. La densidad de siembra está relacionada con los efectos que produce en la planta la competencia de otras plantas de la misma o de otra especie, lo que se relaciona con la eficiencia en la captación de la radiación solar.

Por otra parte, **Silva, De Souza y Oliveira (2011)**, desarrollaron un modelo agro meteorológico de producción para café arábica en Minas Gerais, Brasil, considerando la evapotranspiración y la producción en el año anterior:

$$Y = (k_y \cdot (Y_{aa}/Y_p)) \cdot Q (\%) \quad (2)$$

Donde:

Y : Producción estimada de café (sacos/ha);

K_y : Coeficiente de respuesta del cultivo al déficit hídrico;

Y_{aa} : Productividad del cultivo en la cosecha anterior

Y_p : Productividad potencial del cultivo

El valor de Q (%) se obtiene a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia y la temperatura máxima

En un estudio desarrollado en el municipio de Bocono del Estado de Trujillo en Venezuela, **Trezza y Sánchez (2014)**, establecieron un alto coeficiente de correlación entre el rendimiento de 10 años asociado con el índice hídrico total para el mes de Marzo y la sumatoria de precipitación para los primeros meses del año.

Ellos correlacionaron los datos de Índice Hídrico Total (X2) y sumatoria de precipitación para enero, febrero y marzo (X1), con los datos de rendimiento de café (Y) obteniendo la siguiente ecuación:

$$Y = -0,08058X1 + 0,5975X2 + 36,754 \quad (3)$$

$$R^2: 0.96$$

Un modelo de predicción de cosechas de café de tipo sencillo se basa en el porcentaje de sombreado del suelo y la densidad de siembra:

$$Y = 5 + 0,13 \cdot (PS) - 0,0013 \cdot (PS^2) - 0,054 (DS/100) \quad (4)$$

Donde:

Y: Logaritmo de la productividad de café (gramos de café por planta)

PS : Porcentaje de sombreado (%)

DS : Número de plantas por hectárea.

Los autores encontraron una mayor influencia del porcentaje de sombreado que la densidad de siembra, sobre la producción del café en Chiapas, México.

En el estado de Sao Paulo (Brasil), se desarrolló un modelo matemático para estimar los rendimientos del cultivo de trigo, el cual se presenta en la ecuación:

$$Y = 5,99 \cdot X1 - 3,46 \cdot X2 - 20,72 \cdot X3 + 1871 \quad (5)$$

Donde:

X1, X2: Insolación (horas) en los meses de agosto y septiembre.

X3: Humedad relativa para el mes de octubre.

En este modelo se considera que las enfermedades reducen drásticamente los rendimientos y a su vez el brillo solar y la humedad relativa explican la incidencia de enfermedades. En este caso, un aumento en la humedad relativa de octubre suele acarrear incrementos en los ataques fúngicos al cultivo.

Como se puede deducir de los resultados de las diferentes investigaciones realizadas y presentadas; ninguno de los modelos, son aplicables al efecto del abonamiento

sobre la productividad del café; medido a través del efecto de la severidad de daño de la roya amarilla, el rendimiento y calidad de taza.

Por las razones expuestas el autor, diseño un modelo teórico y su implantación aplicando el análisis cualitativo - cuantitativo en lo correspondiente a las técnicas estadísticas de la regresión (coeficiente de Pearson).

En concordancia con ello, nuestra contribución es que el modelo, se caracteriza por ser un modelo innovado y pertinente para la predicción de los rendimientos del café como efecto del abonamiento adicionado a las plantaciones de café de diferentes edades en la región San Martín.

En concordancia con lo mencionado líneas arriba, el propósito de esta investigación es desarrollar al menos una fórmula de abonamiento para incrementar la producción del cultivo de café con prevención del ataque de la roya amarilla, manteniendo la calidad de taza del café. }

3.4. Modelo propuesto

3.4.1. Lineamientos para diseñar el modelo teórico

El modelo teórico de **Predicción del Efecto del Abonamiento sobre la Severidad de Daño de la Roya Amarilla, Rendimiento y Calidad de Taza del Café** se basa en los siguientes lineamientos (**Ramírez, 2017**):

- 1) Los pasos metodológicos del modelo deben estar enmarcados dentro del proceso de abonamiento, con relación a la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento de grano en pergamino y calidad de taza del café.
- 2) El modelo debe tomar como base el análisis cuantitativo con el análisis de variancia, de regresión y correlación estadística de Pearson.
- 3) El modelo debe considerar un área geográfica para realizar la parte experimental, con plantaciones de café con diferentes edades.
- 4) El modelo debe considerar los pasos metodológicos de la implantación, de tal manera que cualquier miembro de la comunidad científica pueda utilizarlo para

realizar nuevas investigaciones.

- 5) Todos los pasos del modelo deben presentarse en un esquema acompañado de los fundamentos, para ser tomados como base de predicción de efectos futuros.

3.4.2. Diseño y fundamentación del modelo

El modelo teórico de **predicción del efecto del abonamiento sobre la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza del café** tiene ocho pasos metodológicos (Ramírez, 2017), tal como se muestra en la tabla 6 son los siguientes:

- 1) Definir las variables independientes que conforman el proceso de abonamiento a plantaciones de café con diferentes edades.
- 2) Definir las variables dependientes que corresponda a la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento grano pergamino y calidad de taza.
- 3) Establecer el escenario de intervención y las plantaciones cafetaleras para proceder a tomar datos mediante el método de la observación y medición con instrumentos biológicos.
- 4) Selección de herramientas estadísticas a aplicar datos registrados para efectuar el análisis cuantitativo aplicando el análisis de variancia, regresión lineal simple y cuadrática y el coeficiente de Pearson.
- 5) Obtener resultados de determinación, correlación, probabilidad (5% de significancia) y ecuaciones de regresión lineal y cuadrática.
- 6) Establecer los modelos de predicción para la producción de las plantaciones de café.
- 7) Validar resultados generando datos actuales modelados y datos futuros sobre la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza del café.
- 8) Verificación del modelo teórico según cuadro.

3.4.3. Fundamento del modelo teórico de predicción del abonamiento sobre la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza del café

3.4.3.1. Definición de variables independientes.

Las variables independientes, corresponden al abonamiento y edades de las plantaciones de café, son expresadas de la siguiente manera:

3.4.3.1.1. Dosis de abonamiento: Cantidades de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) suministradas a las plantas en kilos por hectárea.

Los tratamientos de abonamiento propuestos, fueron incorporados al suelo en dos fracciones, la primera fracción (50%) en Julio del 2013, a inicios de la floración y la segunda, seis meses después de la primera (enero del 2014), inicio de producción. La incorporación de los fertilizantes se realizó en la parte superior de la pendiente a 5 cm de profundidad en media luna a 40 – 50 cm del cuello y/o proyección de la copa de planta, los fertilizantes fueron cubiertos con una capa de suelo.

Solo en el caso de la roca fosfórica se aplicó en una sola dosis al año 20 días antes de la aplicación del resto de fertilizantes, pero siguiendo el mismo procedimiento.

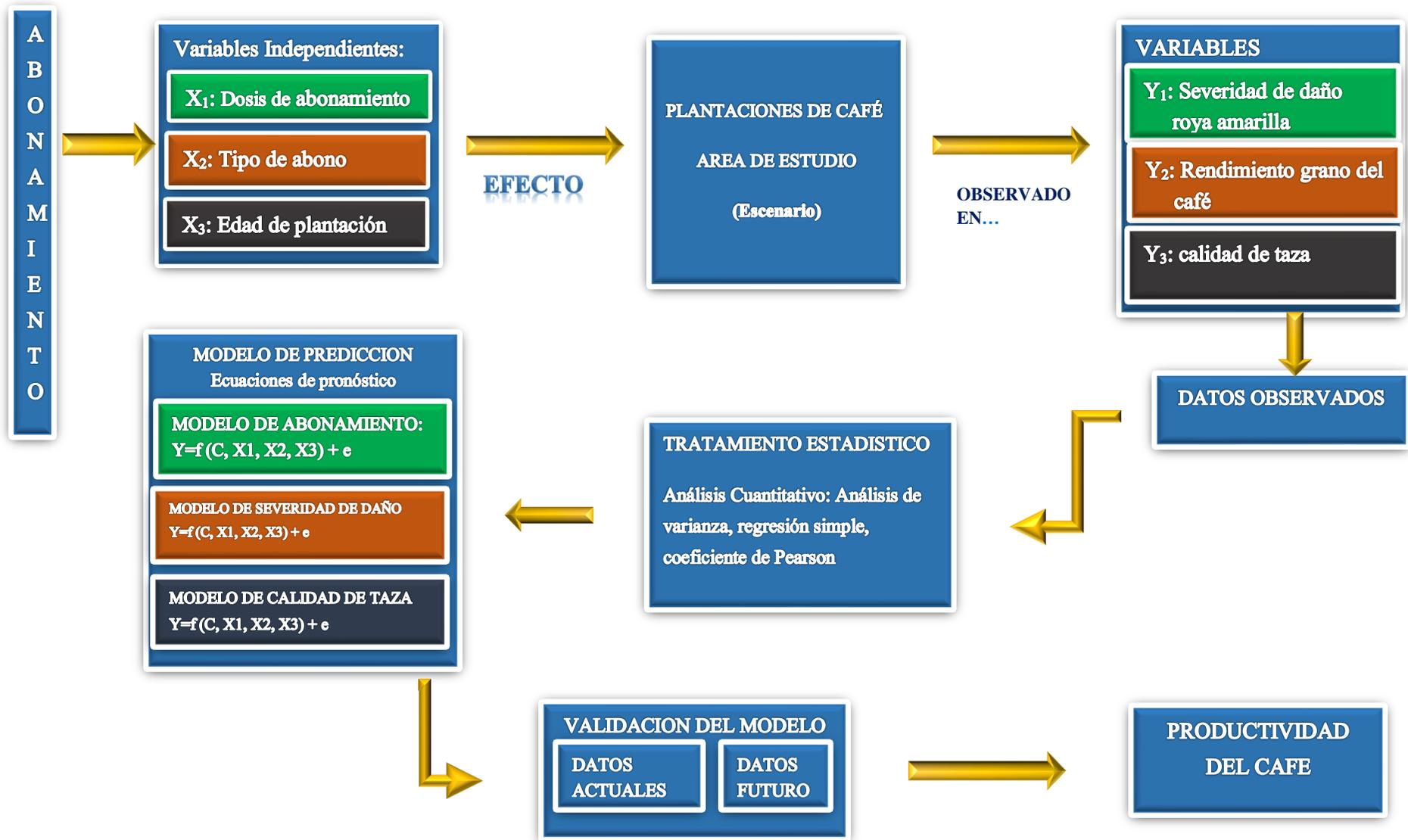
Como fuente de Nitrógeno (N) se usó nitrato de amonio (N 33%), debido al pH del suelo extremadamente ácido (3.85 a 4.61), se empleó como fuente de fósforo (P) la roca fosfórica, como fuente de Potasio (K), se utilizó el Cloruro de Potasio (60% de K_2O) como fuente de Magnesio (Mg) el sulfato de magnesio (MgO 16% y S 22%).

Tanto el Calcio como el Azufre fueron adicionados con los abonos Sulfato de Magnesio y Roca Fosfórica. En la tabla 7 se resume los tratamientos, las dosis de cada uno de ellos y las fuentes de los fertilizantes aplicados en el presente ensayo. Se adiciono un tratamiento de abono orgánico, para compararlo con los abonos químicos; utilizando para este caso el guano de isla.

Las fórmulas de abonamiento fueron seleccionadas en función a las recomendaciones de **Loli y Aquino (2011)** quienes indican que para conseguir un rendimiento de 30 qq de café por hectárea es necesario aplicar 65 Kg Nha^{-1} equivalente a 282 Kg ha^{-1} en Nitrato de Amonio, 12 Kg Pha^{-1} equivalente a 458 Kg Roca Fosfórica, 127 Kg Kha^{-1} equivalente a 365 Kg de Cloruro de Potasio y 30 Kg Mgha^{-1} equivalente a 444 Kg ha^{-1} en sulfato de magnesio. Las dosis de Calcio y Azufre resultan por la adición de la roca fosfórica.

Tabla 6

Modelo teórico predicción del efecto del abonamiento sobre la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento y calidad de taza del café



Se evaluaron dos fórmulas adicionales de abonamiento la más baja y la más alta, para establecer la mejor fórmula de abonamiento para los cafetales de esta zona con productividad de 30 qq o más y con tolerancia a la roya amarilla del café.

Adicionalmente se evaluó un tratamiento con aplicación de abono orgánico, teniendo como fuente al guano de isla a razón de 500 Kgha⁻¹; lo que aportó 50Kg de Nha⁻¹; 50Kg de P₂O₅ha⁻¹, 10 Kg de K₂Oha⁻¹; así como también 40Kg de CaOha⁻¹; 2.5 Kgha⁻¹ de MgO y 7.5 Kgha⁻¹ de S.

3.4.3.1.2. Edades: Años de existencia de las plantaciones de café, contados a partir del trasplante de las mismas expresada como edad de planta.

Las edades de cada una de las plantaciones en estudio fueron determinadas por el propietario del predio donde se realizó el presente estudio.

Factor: Edades:

E1: Cuatro años desde el trasplante

E2: Ocho años desde el trasplante

E3: Catorce años desde el trasplante

Estas edades fueron consideradas para el estudio, en virtud a que una planta de 4 años está iniciando su producción comercial, la de 8 años está en su máxima producción, mientras que las plantas de 14 años están en la etapa de disminución de su productividad, debido quizá a su edad fisiológica y a la falta de un buen abastecimiento de nutrientes.

Dentro del estudio se tuvo factores constantes como la variedad evaluada, para el estudio fue el Pache y la altitud fue de 1300 msnm

Tabla 7

Cantidades de nutrientes usados en función a los tratamientos establecidos

TRATAMIENTO	NUTRIMENTOS					
	N	P	K	Mg	Ca	S
	Kg/Ha					
T0	0	0	0	0	0	0
T1	33	6	64	15	43	29
T2	65	12	127	30	86	58
T3	130	24	254	60	172	116
T4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla 8 se presenta las cantidades equivalentes en abonos comerciales, utilizados para cada uno de los tratamientos del presente estudio.

Tabla 8

Descripción de los tratamientos, fuentes de fertilizantes y las dosis suministradas por cada una de ellas.

TRAT	DOSIS DE FERTILIZANTES (Kg/Ha)						
	N NITRATO DE AMONIO	P ROCA FOSFORICA	K CLORURO DE POTASIO	Mg SULFATO DE MAGNESIO	Roca Fosfórica/sulfato de magnésio		
CaO					S	SO ₄	
	Kg/Ha						
T0	0	0	0	0	0	0	0
T1	141	229	183	222	64	30	90
T2	282	458	365	444	128	60.5	182
T3	564	916	730	888	256	121	363
T4							

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.3.2. Definición de variables dependientes

Las variables dependientes, que para este caso es la Severidad de daño, el rendimiento del café, y la calidad de tasa.

3.4.3.2.1. Severidad de daño: Es el porcentaje de área o volumen de tejido vegetal cubierto por síntomas, expresada como el porcentaje de área total.

Durante doce meses se evaluó la severidad de la roya amarilla en campo. Para ello, cada treinta días se evaluaba y registraba el grado de daño utilizando la escala desarrollada por la **SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION, (2013)** (Tabla 8) (Figura 1), de México. Con los datos registrados se calculó el porcentaje del índice de intensidad de daño (%IID), donde el %IID es producto de la sumatoria del número de grado por el número de hojas con cada grado, entre número de grados mayor por número de hojas evaluadas. Con él % IID de cada evaluación se determinó la curva de progreso de la enfermedad (**Madden, Hughes, y Van den Bosch, 2007**) y para graficarla se utilizó el %IID promedio de cada tratamiento.

Para el cálculo del área bajo la curva de progreso de la enfermedad o AUDPC (Area Under Disease Progress Curve), se utilizó el %IID así como la fórmula detallada al final del párrafo (**Campbell y Madden, 1990; Madden et.al., 2007**). Con los datos registrados del AUDPC se realizó el análisis de variancia y la prueba de Duncan para la comparación múltiple de medias ($P=0,05$), con ayuda del programa estadístico Infostat/Profesional Versión 1.1 (**Di Rienzo et al., 2008**).

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) (T_{i+1} - T_i)$$

Dónde:

X_i = La proporción del tejido afectado en la observación i

$(T_{i+1} - t_i)$ = Tiempo entre dos lecturas

n = Número total de observaciones

Tabla 9:

Escala descriptiva para la evaluación de la roya amarilla en hojas

Grado o Clasificación	Descripción
0	Sano o sin síntomas visibles
1	Síntomas visibles llegando de 1 a 5% del área total sana
2	Las manchas empiezan a unirse llegando a ocupar del 6 al 20% del área sana
3	Las hojas comienzan a necrosarse de manera muy notoria afectando el 21 al 50% del área sana
4	Mayor al 50% del área foliar se encuentra afectada

Fuente: SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION, 2013.

En el **Anexo 1**, se presenta el certificado que acredita que el hongo *Hemileia vastatrix* fue el agente causal de la roya amarilla del café, que afectó negativamente las plantaciones de café de la región San Martín, y que estuvo presente en los campos donde se desarrolló la presente investigación.

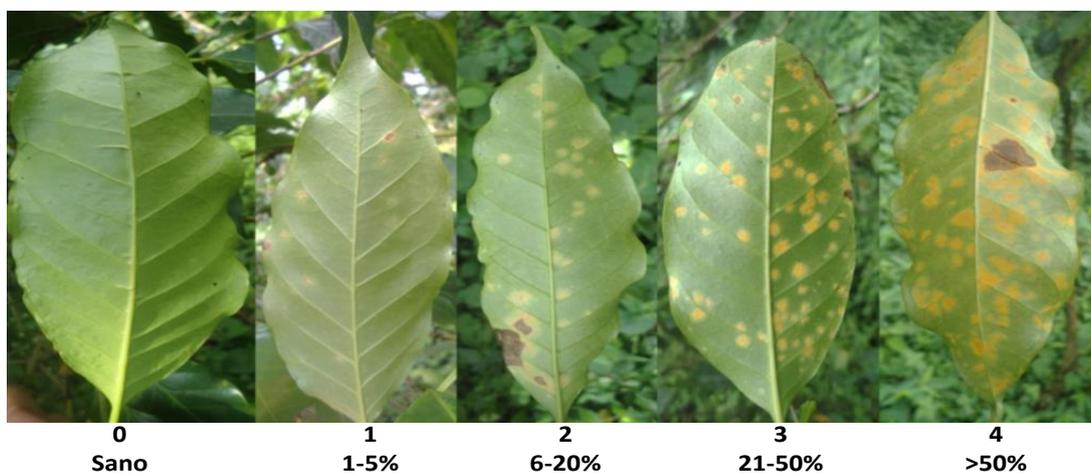


Foto 1: Escala diagramática para evaluación de severidad de la roya amarilla en hoja (SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION, 2013).

3.4.3.2.2. Rendimiento: Es la relación de la producción total de un cierto cultivo cosechado por área de terreno utilizado. Se mide usualmente en toneladas métricas por hectárea, en el caso particular del café la unidad de medida en kilos por hectárea - Kg/ha.

Para el caso específico del estudio, 4 plantas de café por cada unidad experimental fueron cosechadas y registradas; pasándose luego al proceso de despulpado, lavado y secado, hasta conseguir el café en pergamino; en este momento, se registraron los pesos de café pergamino por cada una de las plantas evaluadas durante la cosecha.

3.4.3.2.3. Calidad de taza. Evaluación sensorial de los atributos de la bebida del café.

Después del proceso de post cosecha y transformación de los granos del café fueron sometidos a un proceso de evaluación de calidad de taza; siguiendo las normativas establecidas por la **Specialty Coffee Association of América, (2011)**. Para ello se implementó un panel de tres catadores que son parte del equipo de catadores de la Cooperativa Oro Verde de Lamas. Los jueces fueron seleccionados dentro de los catadores de la Cooperativa.

La evaluación de calidad física y sensorial se realizó en el laboratorio de control de calidad de café de la Cooperativa Agraria Cafetalera y de Servicios Oro Verde Ltda., y en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. Las muestras de grano en oro, por cada tratamiento, fueron codificadas entregadas a los catadores, para evitar cualquier sesgo que podría generarse durante el proceso de catación.

Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial se prepararon 3 tazas por cada muestra a catar; previo a ello, el grano de café fue tostado entre 8 a 12 minutos a temperatura de 180 a 200 °C, se dejó enfriar y luego se procedió a moler el grano tostado, 24 horas antes de la catación. Para iniciar la prueba de catación se pesaron 10 g de café molido por cada muestra los cuales fueron adicionados a las tazas de catación. En estos momentos los catadores percibían la fragancia del café.

Después de percibir la fragancia, se agregó agua hervida a una temperatura aproximada de 94°C, en forma rápida y en chorros permitiendo humedecer el

polvo de café, controlándose el tiempo. Una vez realizado este proceso se percibió el aroma del café; siendo la fragancia y el aroma calificados como un solo atributo.

Después de transcurridos 12 minutos, cuando la infusión tuvo aproximadamente 70°C, se determinaron los siguientes atributos sensoriales: Aroma, Acidez, Sabor, Cuerpo, sabor residual, Uniformidad, balance, taza limpia, dulzor, puntos del catador; calificando de acuerdo al Formato Básico de Catación según **Specialty Coffee Association of América, (2011)**.

3.4.3.3. Tratamiento Estadístico.

Los factores en estudio fueron distribuidos bajo un diseño de bloques completamente randomizados (BCR) en arreglo factorial 3 x 5 y cada tratamiento tuvo 3 repeticiones. Los factores en estudio fueron: factor A: edades de plantación (4, 8 y 14 años) y el factor B fueron fórmulas de abonamiento (T0, T1, T2, T3 y T4) ambos descritos anteriormente. Los tratamientos T1 al T3 fueron formulas con abonamiento inorgánico; mientras que el tratamiento T4 fue una formula orgánica (guano de isla) comúnmente utilizado por algunos productores que abonan sus plantaciones de café.

Cada unidad experimental contó con 16 plantas, pero solo 4 plantas centrales fueron evaluadas biométricamente. La evaluación cuantitativa permitió aplicar regresión lineal, para determinar el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (r), probabilidad al nivel de significancia (5%) y la línea de regresión. La finalidad fue determinar si las variables independientes como edad de plantación, dosis y fuentes de abonamiento y tuvieron efecto significativo sobre las variables dependientes severidad de daño, rendimiento y calidad de taza.

Los resultados, fueron analizados estadísticamente usando el Análisis de Variancia - ANOVA y la prueba de comparación de medias de Duncan ($P \leq 0,05$), para las variables %IID, AUDPC; mientras que para el rendimiento de café pergamino seco y los atributos sensoriales del café se utilizó la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), utilizando el paquete estadístico Infostat/Profesional Versión 1.1 (**Di Rienzo et al., 2008**).

3.5. Modelo propuesto y su implantación

3.5.1. Objetivos del modelo propuesto

El objetivo del modelo propuesto, es predecir la variación en la severidad del daño de la roya amarilla en porcentajes, el rendimiento de grano del café en kilos por hectárea y la calidad de taza expresada en puntuación de acuerdo con la escala de internacional de catadores de café; mediante la aplicación del análisis cuantitativo de análisis de varianza, regresión simple y cuadrática, correlación de Pearson.

3.6. Metodología para la implantación del modelo propuesto

3.6.1. Fases de la metodología

Consistió básicamente en tres fases:

3.6.1.1. Fase de Gabinete

Comprendió en recopilar:

- ✓ Revisión bibliográfica relacionada con el abonamiento, edades de plantación de café, y su efecto sobre la severidad de daño de la roya amarilla, rendimiento de grano de café pergamino y calidad de tasa.
- ✓ Revisión bibliográfica relacionada al análisis sensorial de los atributos de aroma y sabor del café.
- ✓ Datos meteorológicos de la zona de estudio
- ✓ Datos edafológicos de la zona de estudio
- ✓ Mapa base de ubicación geográfica a nivel provincial y distrital donde se implementó la investigación.

3.6.1.2. Fase de Campo

Se realizó las siguientes actividades.

3.6.1.2.1. Selección del ámbito geográfico para implementar la investigación

Criterios de Selección.

En la región San Martín el 80% de sus provincias producen café; por lo que se aduce que la región es eminentemente cafetalera. Sin embargo, para la

implementación del presente estudio, una serie de limitaciones imposibilita que el mismo se desarrolle en todas las zonas cafetaleras. Por ello tomamos algunos criterios de selección de la provincia, dentro de la provincia el distrito y así sucesivamente. A continuación, se listan los criterios tomados en cuenta:

- Accesibilidad al distrito y accesibilidad a las parcelas de los productores
- Calidad del café producido en las zonas
- Productividad del café
- Presencia de la roya amarilla en las plantaciones
- Cafetales de diferentes edades
- Cercanía a la ciudad de Tarapoto
- Conocimiento de algunos productores en las zonas
- Dedicación del productor a su cultivo de café.

3.6.1.2.2. Implementación de la investigación

Para la implementación se desarrollaron una serie de actividades dentro de las parcelas de los productores seleccionados.

- Delimitación del campo experimental
- Aplicación de tratamientos
- Evaluación de la presencia de roya amarilla
- Evaluación de la Cosecha y Tratamiento post cosecha
- Análisis sensorial de aroma y sabor de la bebida del café
- Registro de datos

3.6.1.3. Segunda fase de gabinete

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- ❖ Tratamiento estadístico de los datos observados
- ❖ Análisis estadístico
- ❖ Interpretación de los resultados de los datos estadísticos
- ❖ Elaboración primera versión de tesis
- ❖ Revisión de la primera versión de tesis
- ❖ Levantamiento de las observaciones a la primera versión

3.6.1.4. Validación de la propuesta

La validación del modelo propuesto se presenta en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los principales resultados encontrados en el presente estudio, así como la discusión de los resultados.

4.1. Índice de intensidad de daño de la roya amarilla por edad y abonamiento del cafetal

El porcentaje del índice de intensidad de daño (**%IID**) de la roya amarilla, fue evaluado durante doce meses generando curvas con tendencias definidas, sin importar la edad del cafetal, ni las dosis de abonamiento (Figura 3).

En el cafetal de cuatro años de edad (Figura 3 a, b, c, d, e) se observa una primera tendencia del %IID con curvas en descenso entre los meses de setiembre a diciembre del año 2013; la segunda tendencia con curvas de ascenso desde enero a marzo de 2014 y alcanza su pico más alto en marzo de 2014 con IID entre 54% – 78%. A partir de esa fecha se observa una tercera tendencia con curvas en descenso acelerado hasta junio del 2014, después se observa un ligero ascenso y termina con curvas en descenso. Sin embargo, la curva con la dosis alta de abonamiento muestra %IID más bajos, mientras que el testigo absoluto los valores más altos. Las curvas del tratamiento con abonamiento a dosis media y el tratamiento orgánico muestran similar comportamiento, pero este último después de abril del 2014 mantiene la curva constante (Figura 3).

En el cafetal de ocho años de edad (Figura 3 f, g, h, i, j), la primera tendencia muestra curvas en descenso de %IID entre los meses de setiembre a noviembre 2013; la segunda tendencia muestra curvas en ascenso desde diciembre de 2013 y alcanza su pico más alto en marzo 2014 con %IID entre 66 a 84%. Después, las curvas presentan un descenso significativo, similar al cafetal de cuatro años alcanzando valores de IID entre 35% - 43%. Luego, se observa un ligero ascenso y termina con curvas en descenso. La curva después de abril del 2014 en el orgánico se mantiene constante, similar al cafetal de cuatro años.

El cafetal de catorce años de edad (Figura 3 k, l, m, n, o), muestra tres tendencias definidas, la primera tendencia entre setiembre a noviembre del año 2013 muestra curvas en descenso

de %IID; la segunda tendencia muestra curvas en ascenso desde diciembre de 2013 y alcanza su pico más alto en febrero de 2014 con % IID entre 73 a 86%, a partir de esta fecha las curvas muestran un comportamiento indefinido.

Las dosis de abonamiento muestran influencia en el comportamiento de la curva del %IID de la roya amarilla. En el cafetal de cuatro años, la curva de la enfermedad se mantuvo significativamente más baja con la dosis alta de abonamiento, mientras que, en el cafetal de ocho años, los tratamientos con dosis alta y media fueron los que mantuvieron curvas más bajas sin diferencias entre ellos.

Sin embargo, en el cafetal de catorce años, los tratamientos con las tres dosis de abonamiento inorgánico, no muestran influencia significativa en el comportamiento de la enfermedad durante el periodo de evaluación incluyendo la curva de tratamiento control, solamente el tratamiento orgánico mantuvo la curva más alta después abril de 2014.

Las curvas de los tratamientos con las tres dosis de abonamiento inorgánico, muestran %IID más bajos sin diferencia entre ellos, mientras que la curva del testigo absoluto presenta los valores más altos sin diferencias con la curva del tratamiento orgánico (Figura 4).

4.2. Índice de Intensidad de daño de la roya amarilla por fuente de abono

Con la finalidad de determinar el comportamiento del %IID en función al tipo de abono utilizado, se realizaron comparaciones entre el testigo absoluto versus el tratamiento orgánico e inorgánico. Durante los doce meses de evaluación del %IID, los tratamientos con abono inorgánico y orgánico, generaron curvas con tendencias definidas.

Para el caso del cafetal de cuatro años de edad, las curvas generadas desde setiembre 2013 a mayo 2014 son similares, después de este periodo y sin razón aparente la curva de la enfermedad muestra comportamiento similar entre el control sin abono con el tratamiento con abono inorgánico; mientras que para el tratamiento con abonamiento orgánico la curva se incrementó hasta el término de las evaluaciones. En general la enfermedad alcanza su pico más alto de daño (63% – 78%) en marzo 2014, después muestra tendencia decreciente hasta agosto 2014 (Figura 5).

En el cafetal de ocho años de edad, se observa diferencia significativa en el %IID de la roya amarilla. En el tratamiento control la curva del %IID, se mantuvo por encima de las curvas que recibieron abonamiento. Con el abonamiento inorgánico se obtuvo la curva más baja, mientras que con el abonamiento orgánico la enfermedad tuvo un comportamiento intermedio. En general la enfermedad alcanzó su pico más alto de daño (68% – 84%) en marzo 2014 y descendió hasta agosto 2014 (Figura 5).

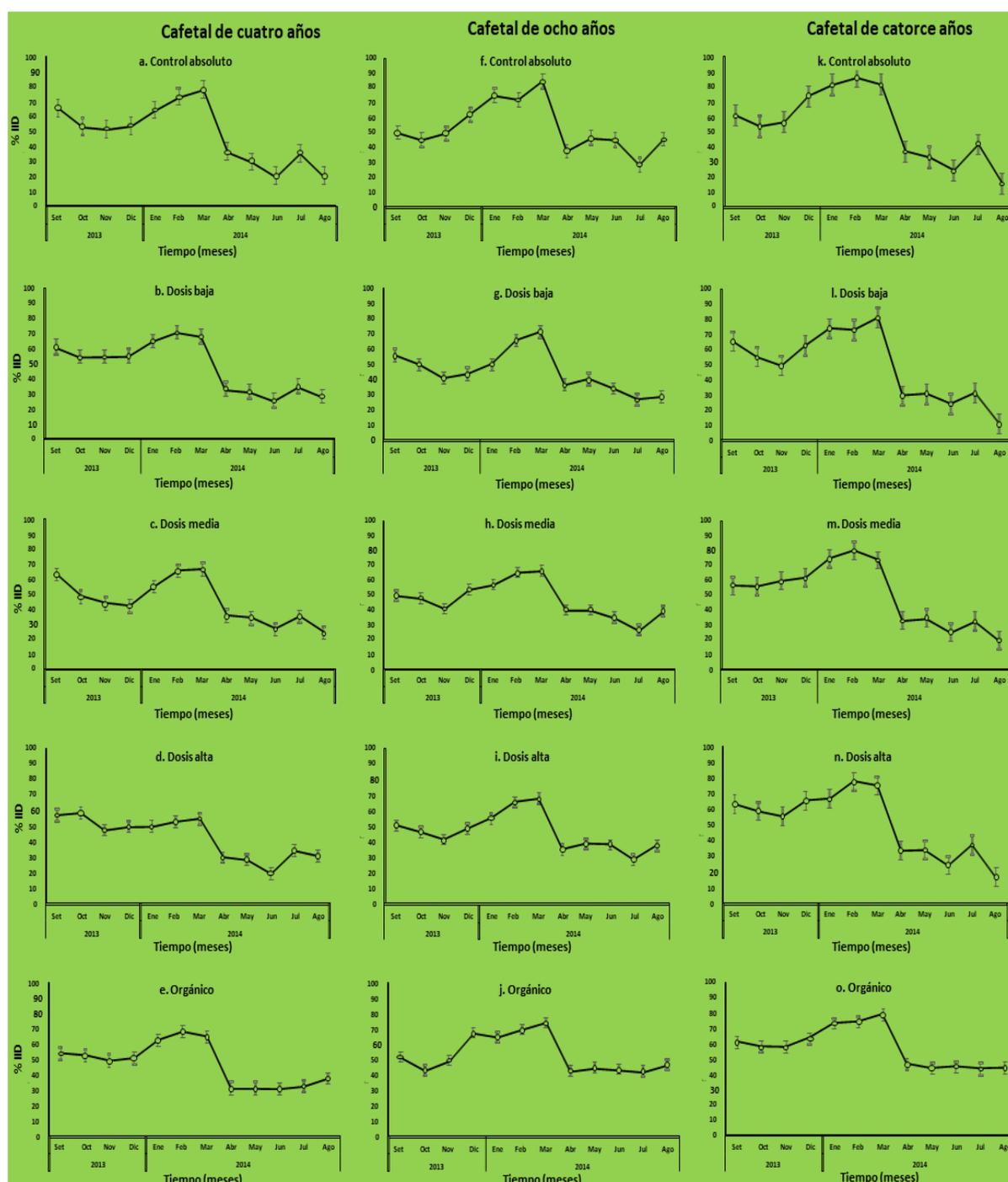


Figura 3: Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad de café pache (*Coffea arabica*), influenciados por las dosis de abonamiento y edad de la planta. Cafetal de 4 años (a, b, c, d, e); cafetal de 8 años (f, g, h, i, j) y cafetal de 14 años (k, l, m, n, o). (Fuente: Elaborado por el autor).

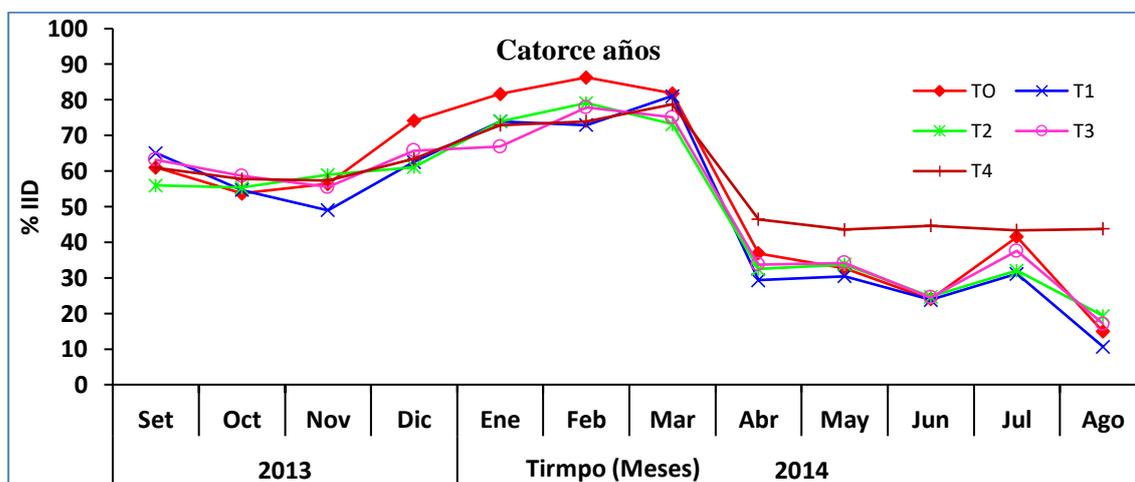
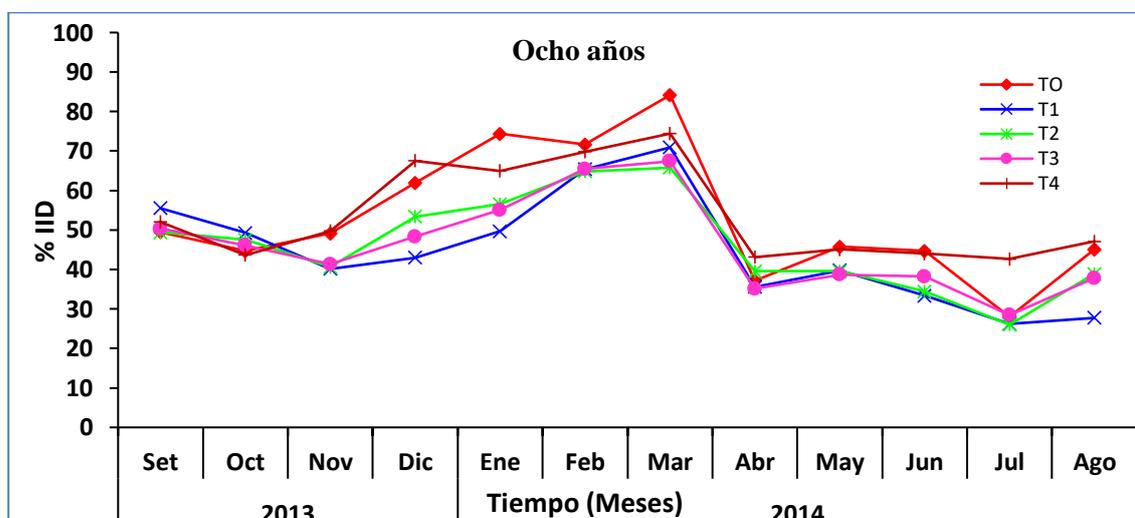
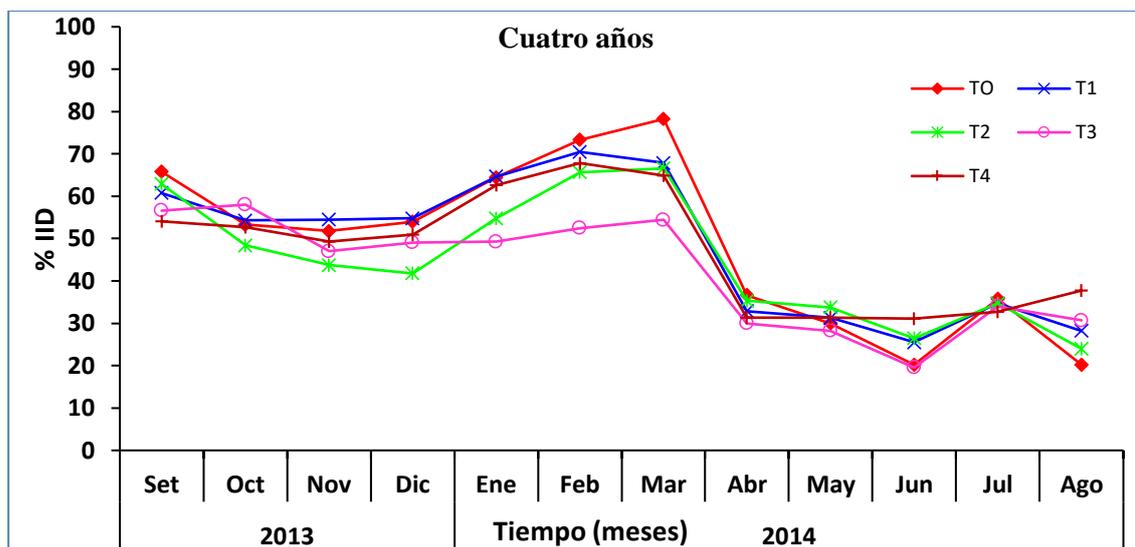


Figura 4: Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad pache de *Coffea arábica*, influenciados por las dosis de abonamiento y edad de la planta. (Fuente: Elaborado por el autor).

4.2. Índice de intensidad de daño de la roya amarilla por fuente de abono

En el cafetal de catorce años de edad, las curvas del %IID muestran tendencia en descenso, entre setiembre a noviembre 2013. A partir de diciembre de 2013 las curvas se incrementan hasta alcanzar el pico más alto (74% - 86%) en febrero 2014. Después inician su descenso acelerado hasta abril 2014, continuando en descenso lento hasta el término de las evaluaciones, tanto el tratamiento control como el tratamiento con abono inorgánico; mientras que para el tratamiento con abonamiento orgánico el descenso es más lento, pero manteniendo la curva por encima de las demás (Figura 5).

Durante doce meses, la enfermedad mantuvo el %IID de la roya amarilla más bajos en los tres tratamientos con abonamiento inorgánico. En este periodo los más altos %IID se registraron entre los meses de diciembre y marzo, alcanzando su pico más alto de daño (63% – 84%) en marzo 2014.

En general, el comportamiento de la enfermedad durante los doce meses de evaluación del %IID de la roya amarilla, presentó una fase de desarrollo lento de setiembre a diciembre, luego se incrementó de forma rápida a partir de diciembre a enero; alcanzando su punto máximo entre febrero y marzo del siguiente año.

Contrastando los resultados del estudio con otras investigaciones realizadas en diferentes países; **Orozco et al, (2011)** en Guatemala y **Rivillas et al, (2011)** en México, establecieron resultados similares. Los daños más severos de la roya amarilla, fueron registrados entre diciembre y marzo, posiblemente influenciados por la coincidencia con los meses de mayor precipitación en la región, al respecto **Rivillas et al, (2011)** menciona que el mayor incremento de la enfermedad se observa en los meses de mayor precipitación. Para las plantaciones en producción los daños también son severos durante los meses de desarrollo y maduración del fruto (**López-Bravo, 2010**), por la transferencia de los nutrientes de las hojas a los frutos (**Avelino et. al. 2006; Silva et. al. 2000**) y de compuestos fenólicos o de metabolitos primarios indispensables para su biosíntesis (**Chaves Arias, 2013**)

La dosis de abonamiento influyó en la severidad de daño de la roya amarilla durante los doce meses de evaluación. La contrastación de los resultados, con otros trabajos encontramos que el **Instituto de la Potasa y Fosfato (1997)**, **Baligar, Fageria, He (2001)** y **Márquez-Dávila, Arévalo y Gonzales (2014)**, manifiestan que las plantas en general

requieren de un sistema de nutrición balanceada, ya que su productividad es afectada por los factores de carencia o déficit nutricional, así como por las propiedades físicas del suelo.

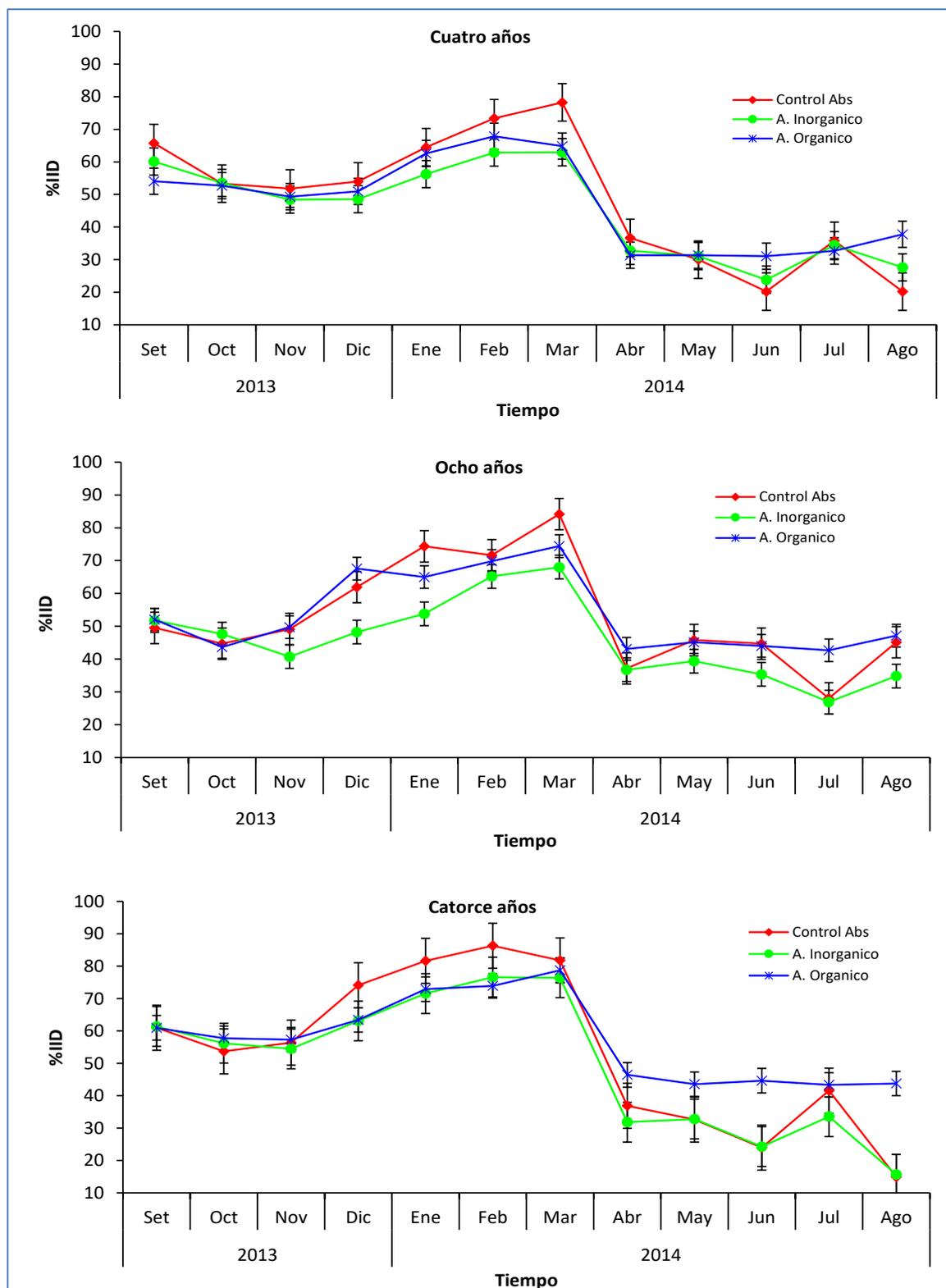


Figura 5: Curva de progreso del %IID de la roya amarilla en la variedad pache de *Coffea arábica*, influenciados por la fuente de abono (inorgánico e orgánico) y edad de planta. (Fuente: Elaborado por el autor).

Diversos estudios en diversos cultivos, probaron los efectos de la nutrición de las plantas y su reacción ante las enfermedades. Los resultados son hasta ahora controversiales, por ejemplo, **Avelino et al., (2006)** encontró que fincas bien fertilizadas o fincas sobre suelos fértiles eran menos expuestas a ataques severos de roya. Por otro lado, **Márquez et. al., (2014)** no estableció ninguna relación entre el abonamiento con dosis crecientes de N en dos variedades de café, con la severidad de daño de la roya amarilla.

En otro estudio, **Agrios (1998)** estableció que plantas con nutrición balanceada, toleran mejor las enfermedades; igualmente **Silva, Rosales-Mondragon y Tenias (2000)** encontraron que el equilibrio nutricional juega un papel importante en la expresión de resistencia o susceptibilidad de la planta a la enfermedad; debido a que los nutrientes están involucrados en todos los procesos que permiten a la planta presentar resistencia o susceptibilidad.

Por otro lado, **Savary et al., (1995)** establecieron que plantaciones de arroz con altos niveles de nitrógeno tenían mayores ataques de *Rhizoctonia solani*, en parte por el mayor crecimiento del hospedero y la mayor superficie de contacto entre hojas que permitirán un mayor desarrollo de la epidemia. Los investigadores **Neumann et al., (2004)** establecieron que grandes aplicaciones de nitrógeno favorecieron la severidad de la roya amarilla en el cultivo del trigo. **Carvalho et al., (1994)**, estableció un incremento en la demanda de N con la edad de la planta del café, sobre todo cuando se inicia la producción de granos (**Costa, Zambolim, Rodríguez, 2006**).

Para el café **Silva et al. (2000)** estableció una correlación negativa entre el N de la hoja con los índices de roya. **Costa et al. (2006)** encontró que el exceso de abonamiento nitrogenado incrementa la concentración de aminoácidos y amidas en la planta, provocando desequilibrios en las relaciones N/P y N/K, afectando la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, pigmentos, hormonas de crecimiento, fitoalexinas y fenoles; algunos estudios (**Chaves Arias, 2013**) refieren que las fitoalexinas son sustancias anti fúngica naturales. **Silva et al (2000)** encontró una relación inversa entre el contenido de K con los índices de roya, sugiriendo que bajos niveles de K favorecen la enfermedad.

Trabajos realizados por el **Instituto de la Potasa y Fosfato (1997)** y **Suárez, Calvache, Jaramillo y Morales (2010)**, indican que plantas con deficiencias de K y Mg son

susceptibles a plagas y enfermedades, pero que, las plantas deficientes en K son mucho más susceptibles a estos ataques. Impacto positivo del potasio sobre el crecimiento y menor índice de defoliación por efecto de la roya fue establecido por **Lagos, (2014)** en la zona de Costa Rica; otros efectos positivos del K han sido descritos por **Ismunadji (1976)** para el caso del arroz que muestra severo ataque de *Helminthosporium sigmoide*, cuando existe deficiencia de K en el suelo; efecto similar fue establecido por **Kovanci y Colakoglu (1976)** para el caso de la roya del trigo *Puccinia striiformis*.

En cuanto al Fosforo, a pesar de la claridad de sus funciones en la planta (**Fassbender y Bornemisza 1987**) existe contrariedad en sus efectos sobre las enfermedades (**Walters y Bingham, 2007; Koseoglu y Tokmak, 1996**). Aplicaciones de altas dosis como aplicaciones de bajas dosis están relacionadas con alta severidad de roya; por lo que se asume que la relación entre la aplicación de P y la severidad de la roya parece no ser lineal.

4.3. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad o AUDPC

En la tabla 10 se presente el análisis de Variancia para AUDPC, observándose que hubo efecto significativo sobre el %IID de la roya amarilla, tanto de la edad de plantación, como también de las dosis de abonamiento.

Tabla 10

Análisis de variancia del área bajo la curva de progreso de la enfermedad o AUDPC ($p = 0.05$) para dosis de abonamiento y edad de cafetal.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2525762.55	2	1262881.28	1.71	0.1992
Edad	36114228.7	2	18057114.4	24.45	<0.0001
Tratamiento	35566244.1	4	8891561.01	12.04	<0.0001
Edad*Tratamiento	13629517.7	8	1703689.72	2.31	0.0486
Error	20678364	28	738513		
Total	108514117	44			

Nota: N=45, R²: 0.81, CV: 15.26. (**Fuente:** Elaborado por el autor).

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos para el parámetro AUDPC en función a la edad del cafetal; a las dosis de abonamiento y a la interacción edad por dosis de abonamiento. En la figura 6 se observa que la plantación de mayor edad (14 años)

presenta el valor más alto de AUDPC; mientras que la plantación de menor edad tuvo el valor más bajo y la plantación de 8 años tuvo valores intermedios entre ambos; con diferencias estadísticas entre ellas.

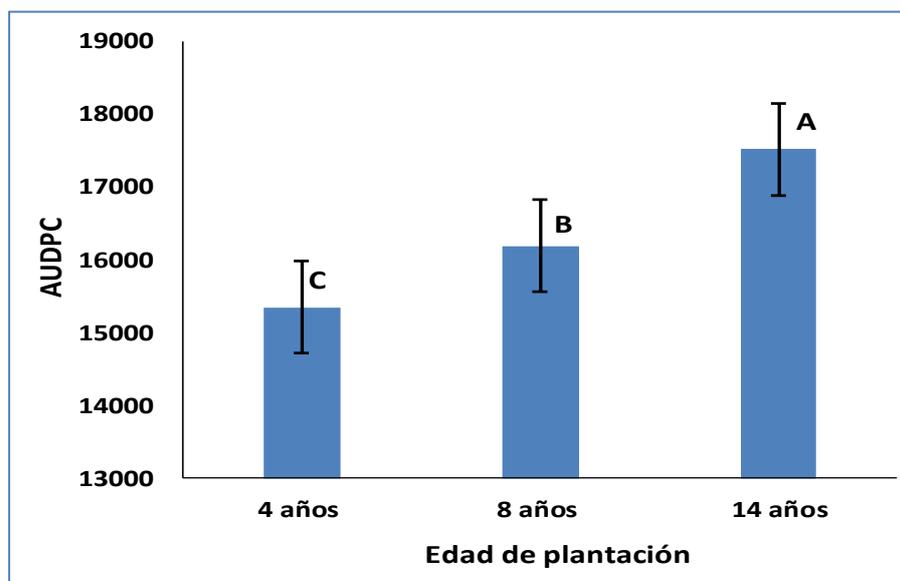


Figura 6: Efecto de la Edad del Cafetal sobre el AUDPC. Las barras con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor.).

En cuanto a la influencia de las dosis de abonamiento sobre el parámetro AUDPC, en la figura 7, se observa claramente dos escenarios bien marcados. La primera de ellas tiene que ver con el T0 y el T1, es decir con el testigo absoluto y con la dosis más baja de abonamiento-inorgánico quienes presentan los valores más altos de AUDPC; mientras que los tratamientos T2, T3 y T4 presentan los valores más bajos, con diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos.

Sin embargo, estas diferencias se presentan en los dos escenarios ya mencionados; es decir que no existen diferencias estadísticas entre el T0 y el T1 pero si entre ellos con los demás tratamientos y por otro lado, tampoco existen diferencias entre los tratamientos T2, T3 y T4.

Se establecieron diferencias significativas de la interacción edad de planta por fórmulas de abonamiento-tratamientos (figura 8), obteniéndose valores de AUDPC significativamente más altos en los tratamientos control sin abonamiento y con abonamiento orgánico (Figura 8). Con la dosis alta inorgánica en la plantación de 4 años, se obtuvo el valor

significativamente más bajo (13971) de AUDPC, respecto a los demás tratamientos; mientras que en plantas de ocho y catorce años los valores de AUDPC fueron más bajos con la dosis baja (Figura 8).

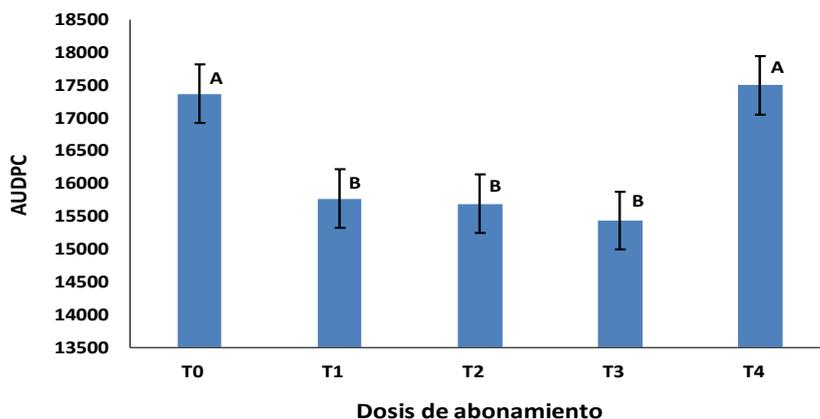


Figura 7: Efecto de las dosis de abonamiento sobre el AUDPC. Las barras con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

Solamente en plantas de cuatro años los valores de AUDPC muestran relación inversa con las dosis de abonamiento (mayor dosis de abonamiento, menor valor de AUDPC). Mientras en plantas de ocho y catorce años los valores de AUDPC muestran relación proporcional con las dosis de abonamiento (menor dosis de abonamiento, menor valor de AUDPC). Los resultados para AUDPC, indican que a mayor edad de planta de café el abonamiento reduce su efecto en relación al %IID de la roya amarilla (Figura 8).

Los más altos valores de AUDPC encontrados en el tratamiento T4, en la plantación de 14 años de edad, podría ser debido a dos razones; la primera de ellas por el desabastecimiento de nutrientes (tabla 12) del suelo para las plantas, y porque las cantidades de K y Mg adicionado con el guano de isla fueron muy bajas, lo que no permitió satisfacer la demanda de ambos nutrientes por la planta.

En la revisión bibliográfica para contrastar los resultados del estudio, encontramos que diferentes investigadores tales como **Alarcón, Aldazabal y Martínez (1996)**; **Da Silva et al., (2004)**; **Da Costa & Timm (2009)** y **Julca et. al., (2010)**, manifiestan que el abonamiento influye significativamente en la disminución del %IID de la roya amarilla, y por lo tanto en los valores de AUDPC, al ser este una medida indirecta del %IID. El estudio

evidencia la influencia del abonamiento, al comparar los valores de AUDPC del tratamiento control con los tratamientos abonados indistintamente de las dosis, resultados similares fueron establecidos por Márquez-Dávila, et al. (2014), en estudio desarrollado en una zona próxima al del estudio.

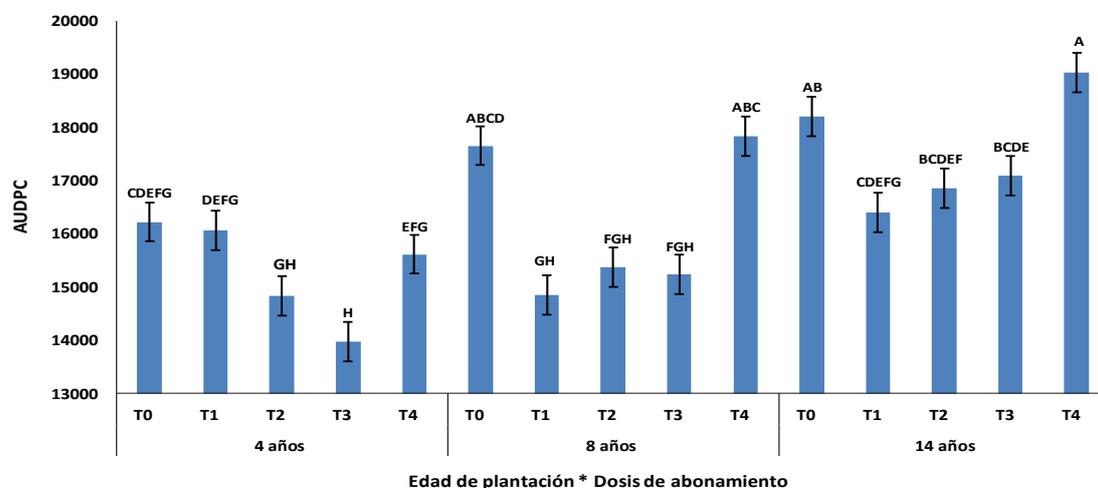


Figura 8: Efecto de la interacción Edad de Planta por Dosis de abonamiento sobre el AUDPC.

Nota: Las barras con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

En términos generales, el testigo T0 y el T4 registran los mayores valores de AUDPC, sugiriendo que la falta de nutrientes para la planta desarrolla susceptibilidad a la roya amarilla (Jeger, 2004). La curva de desarrollo de la enfermedad está relacionada con cinco factores principales, la lluvia (rangos de precipitación), la temperatura ($15^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$), la carga fructífera, la época de cosecha y el inóculo residual (Avelino, Muller, Eskes, Santacreo y Holguín, 1999).

4.4. Rendimiento del grano de café pergamino

La adición de fertilizantes sea de origen mineral u orgánico ayudan al desarrollo fenológico y productivo del cultivo de café. La evaluación del estado nutricional de las plantas es una importante herramienta para una adecuada utilización de fertilizantes y tiene como objetivo principal identificar los nutrientes que limitan el crecimiento, la producción (Silva, Nogueira y Guimaraes, 2003) y la calidad del producto.

Los altos rendimientos y la calidad de los productos están en función directa a la nutrición mineral de las plantas (Moraes y Catani, 1964). Para lo cual, los nutrientes tienen que estar

disponibles y en cantidades adecuadas en cada etapa de crecimiento de los cultivos (Moraes y Catani, 1964). Sin embargo, la deficiencia o exceso de los nutrientes causan desordenes metabólicos con efectos contrarios como la baja producción y mala calidad del producto (Pereira y Malta, 2004).

Por lo tanto, el café para su óptimo desarrollo necesita de nutrientes en cantidades adecuadas y de forma balanceada en cada estadio fenológico del cultivo (Centro Nacional de Investigación del Café, 2008). La producción del café por cada uno de los tratamientos fue registrada en la base de datos y luego analizados estadísticamente. En la tabla 11, se presenta el análisis de varianza con respecto al rendimiento influenciado por la edad de las plantas de café y las dosis de abonamiento respectivamente.

Existe una respuesta altamente significativa a los efectos simples de los dos factores en estudio, es decir a la edad de la plantación y a las dosis de abonamiento adicionados al suelo; pero no se estableció respuesta estadísticamente significativa a la interacción edades por dosis de abonamiento (Tabla 11).

Tabla 11

Análisis de varianza del rendimiento de grano pergamino de café en función a la edad de la plantación y dosis de abonamiento aplicados al suelo.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fcalc
Bloques	2	44660.86	22330.43	0.55
Edades	2	1867391.87	933695.94	23.10 **
Tratamientos	4	1918504.83	479626.21	11.87 **
E*T	8	256607.02	32075.88	0.79
Error	28	1131843.19		
Total	44	5219007.77		
CV			21.91	
R²			78.31 %	
Promedio			917.6	

Fuente: Elaborado por el autor

En la figura 9, se presenta la respuesta en rendimiento como grano de café a la edad de la plantación, donde se observa que la plantación de 4 años de edad tuvo los valores más bajos de producción comparado con las otras dos edades; representando el 52.3% y el 55.4% del rendimiento comparado con la de 8 y 14 años de edad. Tanto la plantación de 8 años como

la de 14 años no presentan diferencias estadísticas significativas entre ambas, aun cuando numéricamente la de 8 años tuvo mayor rendimiento que la de 14 años.

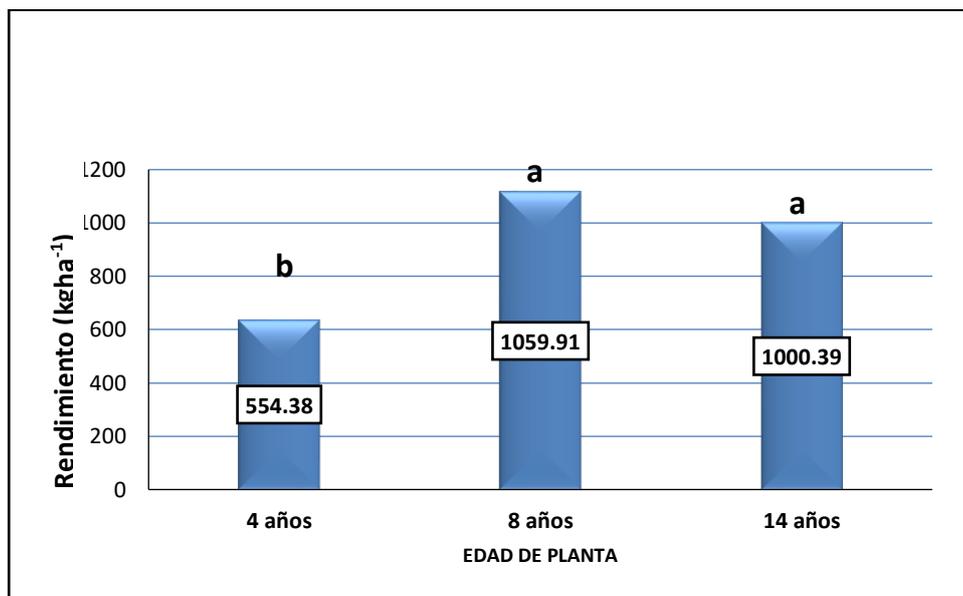


Figura 9: Rendimiento de café pergamino en función a la edad de la plantación

Nota: Las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

La figura 10 presenta los rendimientos del café bajo un modelo lineal de predicción, en función a la edad de la plantación; podemos observar que existe una fuerte relación entre la edad de la plantación y el rendimiento; sin embargo, la edad de la plantación solo explica el 50% del rendimiento; sugiriendo que existen otros factores que afectan la producción.

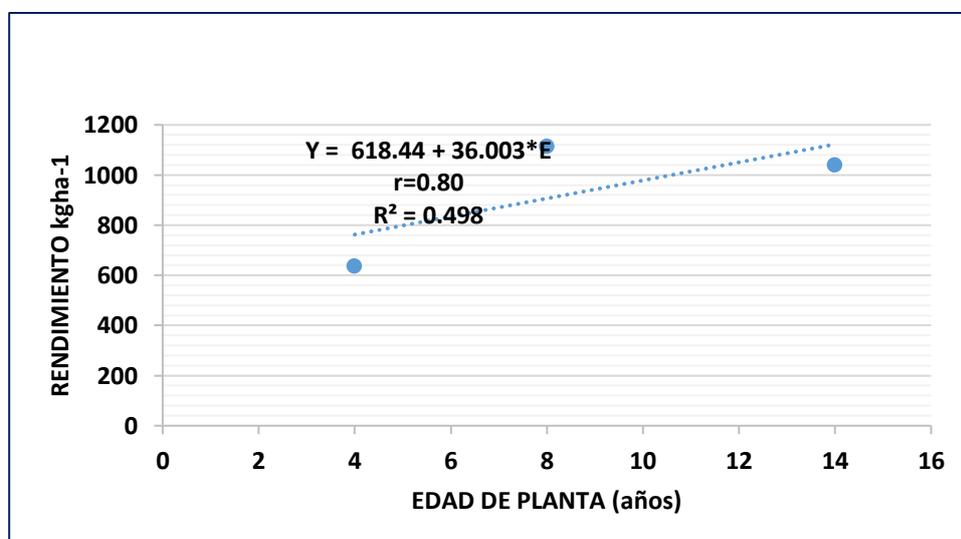


Figura 10: Ecuación lineal de predicción de los rendimientos en función a la edad de la plantación. (Fuente: Elaborado por el autor).

El menor rendimiento de la plantación de 4 años de edad, probablemente esté relacionado con su edad fisiológica, es decir que recién está iniciando su etapa de producción comercial; mientras que la menor producción en la plantación de 14 años de edad estaría asociado al agotamiento del suelo, debido a la extracción continua de nutrientes sin restitución alguna. No hubo mayor incremento en el rendimiento en la plantación de 8 años de edad, debido probablemente a la alta concentración de aluminio en el suelo, tal como se puede observar en la tabla 12.

Contrastando estos resultados con otras investigaciones, encontramos que **Arcila et al., (2007)**, indica que el cafeto necesita tres a cuatro años para comenzar a producir frutos, alcanzando su mayor productividad a los seis u ocho años, pero comercialmente es viable sólo hasta los veinticinco o treinta años. Así mismo la **DIRECCION REGIONAL DE AGRICULTURA DE SAN MARTIN (2016)** establece que la primera cosecha de una plantación de café se realiza a los dos años y que a los 5 alcanza su máxima producción; manteniéndose en esos valores por muchos años, siempre y cuando se contemple un buen plan de abastecimiento de nutrientes al suelo.

Existen reportes sobre las disminuciones en el rendimiento de varios cultivos por efecto de la acidez del suelo, tal como lo mencionan **Matsuyama et al., (2005)**; **Chadwick y Chorover (2001)**; **Guo et al., (2010)** y a la acidificación del suelo debido al uso del nitrato de amonio como fuente de nitrógeno, reportado por **Chien, Gearhart y Collamer, (2008)**. En un estudio sobre la productividad y la calidad de la bebida del café, **Farnezi, Silva, Guimaraes y Pinto (2010)** establecieron que los nutrientes más limitantes por deficiencia fueron el Mn, Fe, Ca, P, S y B en ese orden; mientras que los nutrientes Zn, Cu, N, K y Mg fueron los que más limitaron por exceso, tanto la productividad de granos como la calidad de la bebida del café.

La figura 11 presenta los rendimientos de café pergamino en función a las dosis de abonamiento aplicados al suelo al inicio del ensayo. En la figura 11 observamos que la dosis de abonamiento inorgánica 3, supera estadísticamente a las demás dosis, logrando un incremento de 624 kilos más de café con respecto al testigo (dosis 0) y aproximadamente 218 kilos más de café que la dosis 4 que fue el abono orgánico. Las dosis 2 y 4 estadísticamente son iguales, pero numéricamente diferentes. El menor rendimiento del abono orgánico, T4, comparado con los tratamientos 2 y 3, podría estar asociado con los muy bajos aportes de K, Ca, Mg y S, de la fuente de abono orgánico que para el estudio fue el guano de isla, comparado con las fuentes de los abonos inorgánicos.

Se observa en general, que los tratamientos que recibieron ambos tipos de abonamiento incrementaron sus rendimientos comparados con el testigo.

Aun cuando la dosis inorgánica 3, presenta los mayores rendimientos, sin embargo podríamos sugerir que la dosis de abonamiento económica para el productor sería la dosis 2, ya que presenta un incremento de 527 kilos de café pergamino comparado con el testigo y entre la dosis 2 y la dosis 3 solo existió 100 kilos adicionales producido por esta última; pero las cantidades de abono inorgánico adicionados al suelo fueron el doble que la dosis 2; es decir que el incremento del 100% en la cantidad del abono inorgánico, solo aumento en 100 kilos más el rendimiento.

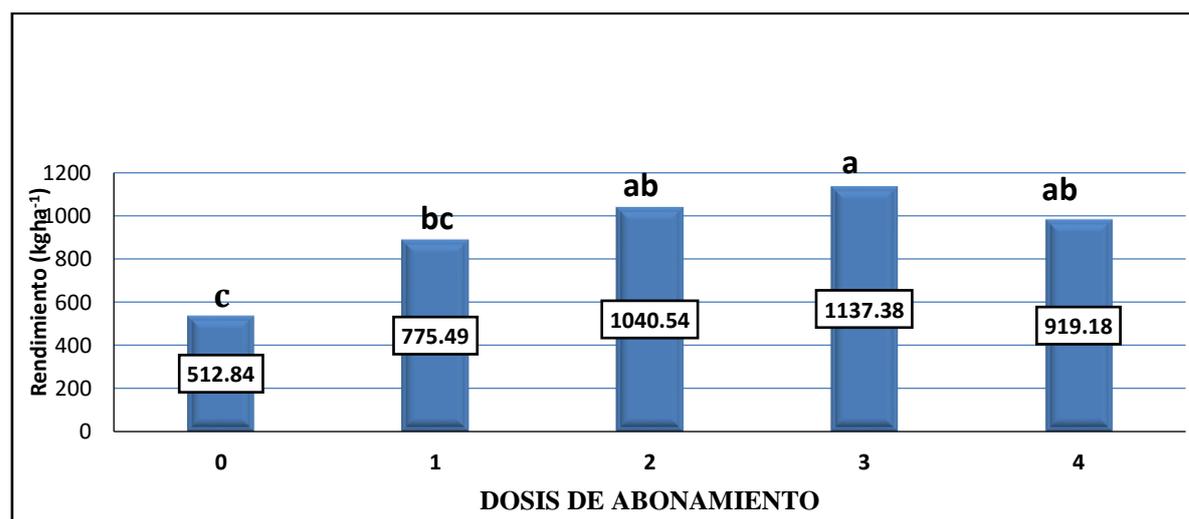


Figura 11. Rendimiento de café pergamino en función a las dosis de abonamiento adicionados al suelo

Nota: Las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p <= 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor.).

Contrastando estos resultados con otras investigaciones, encontramos que **Contreras y Adriazola (2011)**, establecieron que la fertilización química produjo la mayor cantidad de café pergamino seco comparado con la fertilización orgánica (pulpa fresca de café), con aproximadamente 1 tonelada de diferencia; similar resultado se estableció en el presente ensayo.

Reforzando la contrastación del estudio, **Capa (2015)** comparo tres dosis crecientes de abonamiento inorgánico versus tres dosis crecientes de abonamiento orgánico aplicados durante dos años consecutivos versus un testigo absoluto. Para el primer año de producción, el mayor rendimiento de grano de café fue producido por la dosis mineral alta seguida de la dosis mineral media, superando ampliamente a las dosis orgánicas; para el segundo año de producción la tendencia fue la misma, pero la dosis orgánica alta tuvo rendimientos similares a la dosis mineral media. En cuanto a la rentabilidad económica en ambos años

fue la dosis mineral media la que tuvo las mayores tasas de retorno, resultados similares fueron establecidos en este ensayo.

Aun cuando no se establecieron diferencias estadísticas significativas para la interacción edad de planta por dosis de abonamiento, sin embargo; la figura 12 presenta los rendimientos del café pergamino obtenidos como una función de ambos factores.

En general se puede afirmar que, sin importar la edad de la plantación hubo un notorio incremento en el rendimiento como respuesta al abonamiento; que en muchos casos fue el doble de lo producido por el tratamiento control sin abonamiento. También se observa que, sin importar las dosis de abonamiento, la plantación de 8 años tuvo los mayores valores en rendimiento comparado con las otras dos edades.

Sin embargo, hay que resaltar que la plantación de 14 años produjo el 90.7% comparado con la de 8 años; mientras que la plantación de 4 años de edad solo produjo el 59.2%. Se observa además que, sin importar la edad de la plantación, los tratamientos 2 y 3 son los que presentaron los mayores valores en rendimiento del café pergamino; sin embargo, hay que resaltar que la producción del tratamiento con abono orgánico fue el 81.2 y 74.5% para las edades de 8 y 14 años respectivamente, sobre el mejor tratamiento inorgánico; solamente en la plantación de 4 años el abonamiento orgánico supera en 17.5% el rendimiento del mejor tratamiento inorgánico.

Contrastando los resultados del estudio, encontramos que diferentes experimentos conducidos bajo condiciones agro ecológicas similares, establecieron que las adiciones de altas dosis de nutrientes permitieron altos rendimientos (**Amaral et al., 2010; Hagggar et al., 2011; Chagas, et.al., 2006**).

Por ejemplo, en la región Los Santos de Costa Rica, **Castro, Dietsch, Urena, Vindas y Chandler (2012)** establecieron que la concentración de Ca es un buen predictor del rendimiento del café. En este país se considera que suelos con menos de 4 meq/100g de suelo de Ca tienen serias limitaciones para la producción de café (**Bertsch, 1998**), para incrementar la concentración de Ca, **Hue (2004)** recomienda el encalado.

Aun cuando hubo un incremento en la producción del café por efecto del abonamiento; sin importar la edad de la plantación; sin embargo se esperaba mayor incremento que lo registrado, sobre todo en la plantación de 8 años de edad; probablemente el menor incremento observado sea debido a la alta acidez del suelo de dicha plantación y en general al fuerte desbalance catiónico, sobre todo entre el Ca con el K y el Mg con el K, tal como podemos observar en la tabla 12, lo cual sugiere una mínima absorción del K en primer

lugar y luego del Mg por las plantas de café, tal como lo señalan **Suárez et al (2010); Fageria et al (2002); Bertsch (2003), Instituto de la Potasa y el Fosfato (1997); Silva et. al., (2000)**; quienes indican que la alta concentración de Calcio en el suelo inhibe la absorción de K y Mg para la gran mayoría de plantas.

Con los resultados obtenidos, se desarrollaron ecuaciones de regresión lineal simple (Figura 13), múltiple y cuadrática, tratando de encontrar la dosis óptima de adición de nutrientes a las plantas de café; habiéndose establecido que las ecuaciones de regresión simple tuvieron la mejor predicción.

En la figura 13 a y b se puede apreciar que la adición de Nitrógeno y Fósforo al suelo están fuertemente relacionados con el rendimiento del café (77 y 72%), seguido por el Calcio con 63% y por último con el Potasio y Magnesio (53 y 52%). Estos resultados sugieren que, existen otros factores no contemplados en el estudio que interfieren con la respuesta en rendimiento a las dosis de nutrientes adicionados al suelo. Uno de estos factores puede ser el fuerte desbalance catiónico establecido; principalmente entre el Calcio con el Potasio y el Magnesio con el Potasio, tal como se puede apreciar en la tabla 12.

Estos resultados, sugieren la necesidad de incrementar las dosis de abonamiento, sobre todo del Potasio y Magnesio ya que como se puede observar en la tabla 12, las cantidades aplicadas no fueron suficientes para incrementar su concentración en el suelo; es decir que no se consiguió la saturación de cada uno de ellos, por lo tanto, su absorción fue bloqueado por la alta concentración de Ca. El Potasio podría ser uno de los nutrientes a probar a mayores dosis, para mejorar el balance catiónico con respecto al calcio y magnesio.

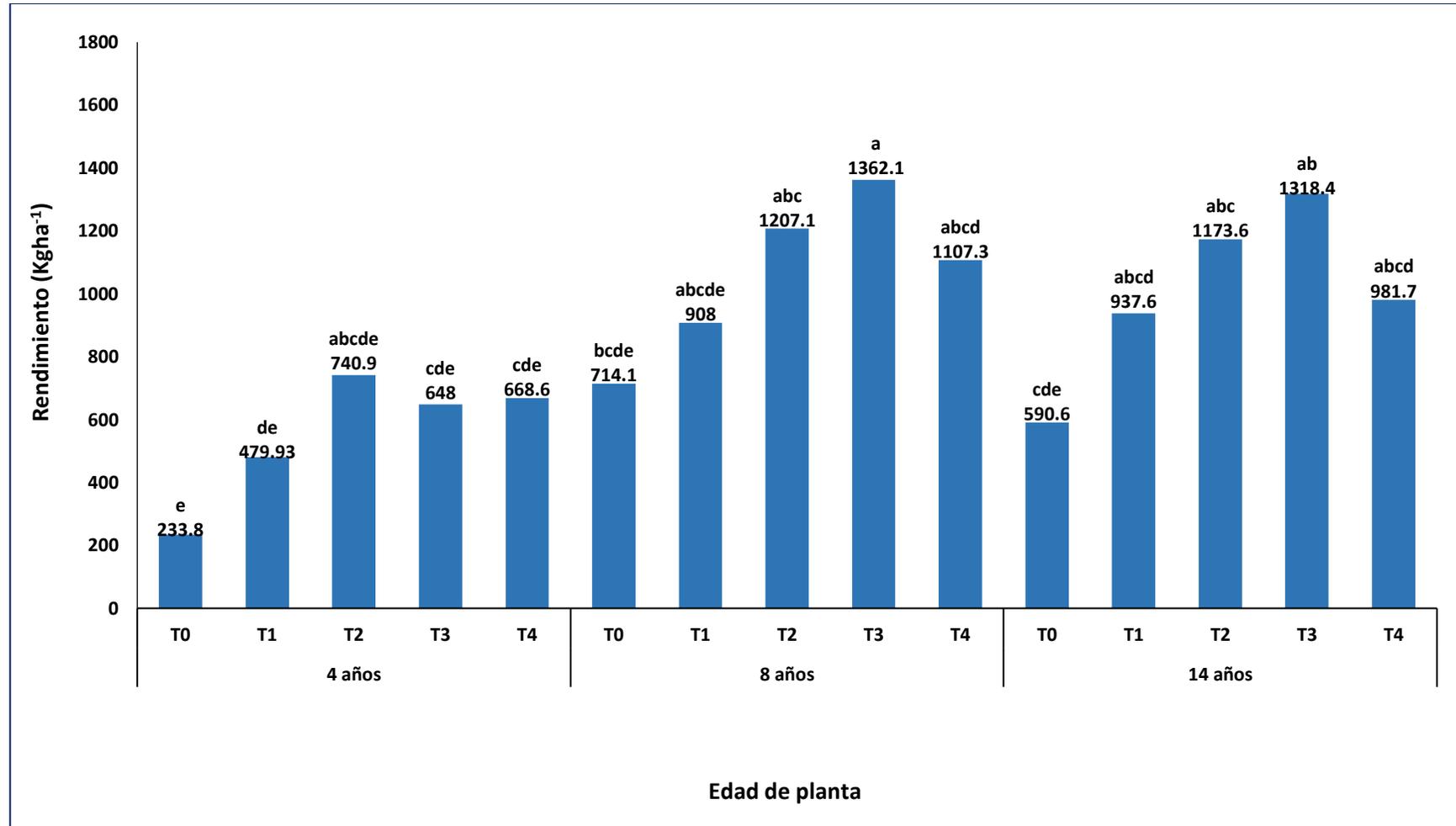


Figura 12. Efecto de la edad de las plantas y dosis de abonamiento sobre el rendimiento de café pergamino.

Nota: Las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p <= 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

Tabla 12

Resultados del análisis de suelos, previo a la adición de los tratamientos de abonamiento y al final del ensayo.

Edad Plantación (años)	época de muestreo	pH	M. O	N	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textura	C.I.C. Efectiva	Ca ²⁺	Mg ⁺	K ⁺	Al ³⁺	Relaciones catiónicas				
																Ca/k	Ca/M	Mg/k	K/M	K/C
				%	ppm		%		meq/100g					g	g	g	g	g		
4	inicio	4.1	1.9	0.08	2.9	5	19.24	26.28	54.58	Arc	10.06	5.57	1.1	0.1	3.27	46.4	5.06	9.17	0.11	0.02
	final	5.0	2.1	0.10	3.1	5	21.24	24.28	54.48	Arc	10.27	6.20	1.8	0.1	2.42	41.3	3.61	12.00	0.08	0.02
4	inicio	4.7	2.1	0.10	3.1	5	21.24	24.28	54.48	Arc	10.27	6.20	1.8	0.1	2.42	41.3	3.61	12.00	0.08	0.02
	final	2.1	1.8	0.08	3.1	5	21.24	24.28	54.48	Arc	10.27	6.20	1.8	0.1	2.42	41.3	3.61	12.00	0.08	0.02
8	inicio	4.3	2.7	0.12	7.6	4	18.24	29.28	52.48	Arc	14.54	3.16	0.8	0.1	10.4	26.3	3.67	7.16	0.14	0.04
	final	5.0	2.3	0.11	6.2	5	17.24	39.28	53.48	Arc	17.71	5.40	1.5	0.1	10.6	33.7	3.50	9.63	0.10	0.03
8	inicio	4.8	2.3	0.11	6.2	5	17.24	39.28	53.48	Arc	17.71	5.40	1.5	0.1	10.6	33.7	3.50	9.63	0.10	0.03
	final	1.5	2.3	0.11	6.2	5	17.24	39.28	53.48	Arc	17.71	5.40	1.5	0.1	10.6	33.7	3.50	9.63	0.10	0.03
14	inicio	4.4	2.5	0.11	4.7	4	15.84	25.18	58.36	Arc	15.18	12.4	1.2	0.1	1.40	113.	10.4	10.91	0.09	0.01
	final	3.9	2.4	0.11	6.2	6	16.00	27.28	56.72	Arc	16.35	12.0	1.6	0.1	2.60	85.7	7.45	11.50	0.09	0.01
14	inicio	4.4	2.5	0.11	4.7	4	15.84	25.18	58.36	Arc	15.18	12.4	1.2	0.1	1.40	113.	10.4	10.91	0.09	0.01
	final	1.3	2.4	0.11	6.2	6	16.00	27.28	56.72	Arc	16.35	12.0	1.6	0.1	2.60	85.7	7.45	11.50	0.09	0.01

Fuente: Elaborado por el autor

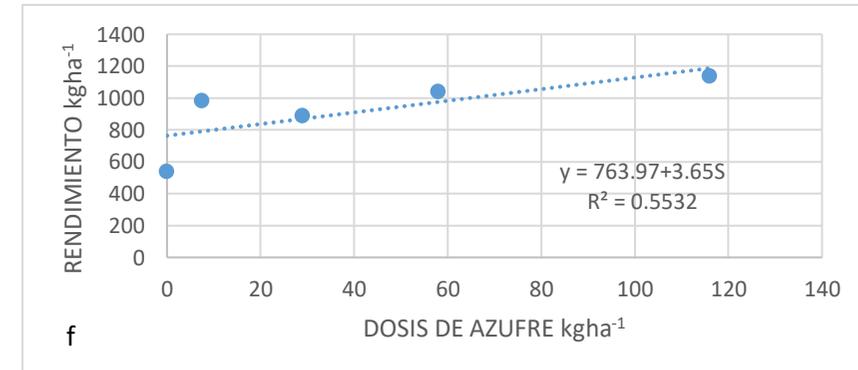
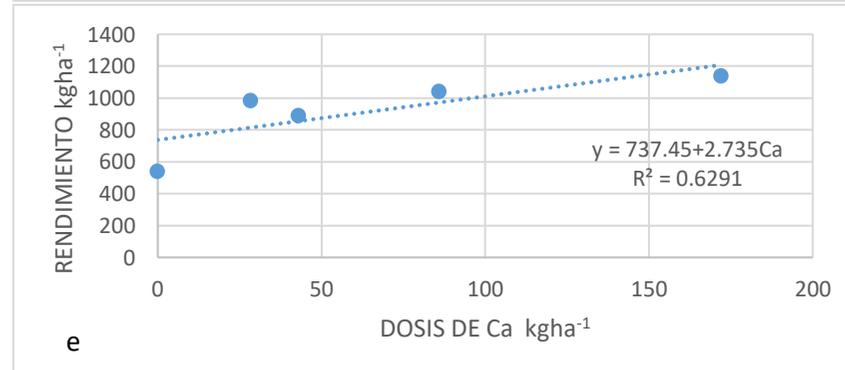
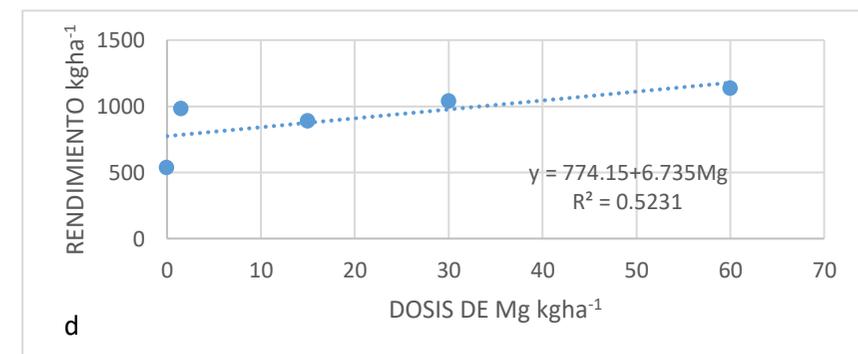
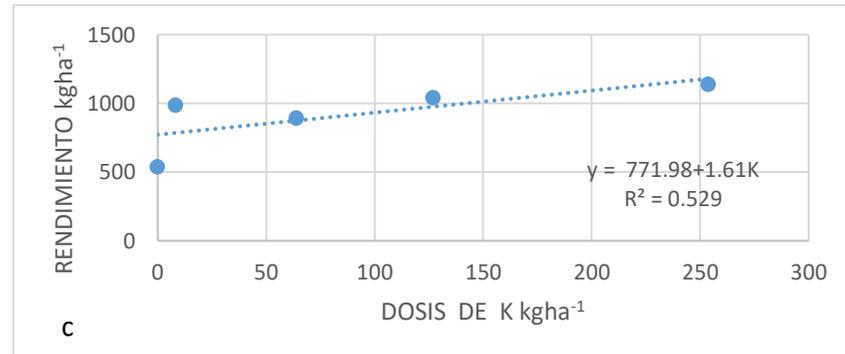
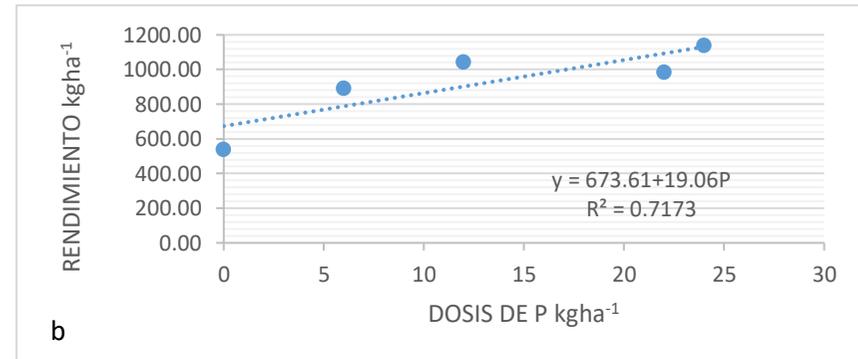
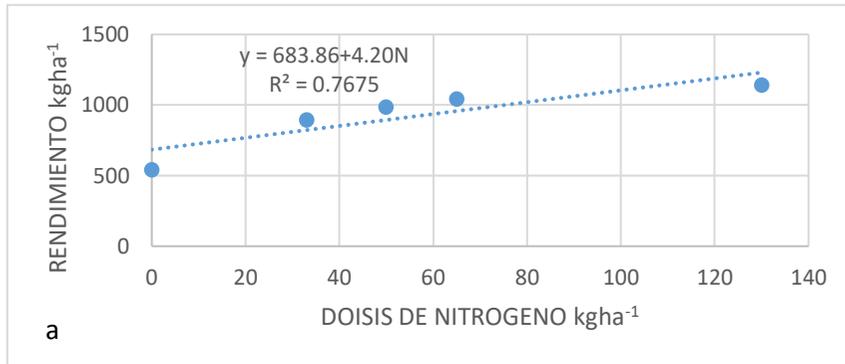


Figura 13: Ecuaciones lineales de predicción de los rendimiento del cafetal en función a dosis crecientes de los diferentes nutrientes adicionados

Por otro lado, el suelo tenía una textura muy pesada, con 55% de arcilla (promedio general), y también presenta altas concentraciones de limo con aproximadamente el 26%, estos componentes de la textura del suelo, podrían estar afectando la porosidad, la aireación y el transporte de los nutrientes (Ahuja, Naney, Green y Nielsen, 1984a; Horn y Smucker, 2005) además de que en épocas de lluvias, las condiciones anaeróbicas serían las que predominen en el suelo, causando efectos depresivos en los rendimientos y en la absorción de los nutrientes adicionados al suelo a través de los abonos. En Colombia Melo y Piñeros (2015), en un estudio sobre la fertilización edáfica a dos altitudes establecieron que el pH, la concentración de Fierro y el contenido de arcilla del suelo afectan la disponibilidad de los nutrientes.

Debido a que los coeficientes de determinación en las ecuaciones lineales, del nitrógeno y fósforo estaban fuertemente (77 y 72%) relacionados con el rendimiento del cafeto (Tabla 12), se desarrollaron ecuaciones lineales múltiples entre el rendimiento con el nitrógeno y fosforo; así como también con el nitrógeno, fosforo y potasio; y con los demás nutrientes. Sin embargo, la ecuación con N y P presento los mejores valores de r y R^2 con 0.90 y 0.81 el cual se redujo a 0.63 cuando se calculó el R^2 ajustado; dando lugar a la ecuación siguiente: $Y = 658.31 + 2.67 * N + 8.65 * P$.

Cuando se introdujo al Potasio dentro de la ecuación los valores de r , R^2 y R^2 ajustado fueron: 0.93, 0.87 y 0.48; lo cual indica que solamente el 48% del rendimiento estaba asociado con la adición de N, P y K, dando lugar a la ecuación: $Y = 604.93 + 389.08 * N - 822.15 * P - 119.09 * K$. La menor eficiencia de la ecuación lineal múltiple podría deberse a que las plantas no absorbieron cantidades suficientes de K debido al bloqueo de parte del Ca y Mg, por el desbalance catiónico en el suelo tal como se puede apreciar en la Tabla 12.

No se presentan otras ecuaciones lineales múltiples, debido a que cada vez que se agregaba un nuevo nutriente a la ecuación, los valores de r , R^2 y R^2 ajustado disminuyeron drásticamente.

Los resultados presentados en la tabla 13, hacen referencia a las ecuaciones múltiples refuerzan lo manifestado en los párrafos líneas arriba, es decir que la concentración de P en los suelos de las plantaciones de 4 y 14 años fueron deficientes, lo que facilito una sinergia entre el N con el P para incrementar los rendimientos; pero que en el caso del K, el

desbalance catiónico con el Calcio principalmente, pudo haber jugado un rol inhibitor de su absorción por las plantas de café, sin importar la edad de las mismas.

Tabla 13

Coefficientes de Correlación y Determinación para las ecuaciones lineales simples y múltiples.

Coeficientes	N	P	K	Mg	Ca	S
Ecuaciones lineales						
r	0.88	0.85	0.73	0.72	0.69	0.74
R ²	0.77	0.72	0.53	0.52	0.63	0.55
Ecuaciones múltiples						
	NP	NPK				
r	0.90	0.93				
R ² ajust	0.63	0.48				
R ²	0.81	0.87				

4.5. Análisis sensorial del café

Los granos de café son evaluados químicamente y sensorialmente cuando ellos se convierten en la bebida popular llamada café. La evaluación sensorial depende mucho del catador y su estado, aun cuando existe normas establecidas para la catación (**Lingle, 1995; Specialty Coffee Association of América, 2005; Chagas, Carvalho y Costa, 1996; Mazzafera, Goncalvez y Shimizu 2002; Bataglia, 2007**).

Con relación a la calidad en taza, algunos estudios han determinado que la mejor bebida se obtiene de frutos maduros, mientras que los verdes la deterioran debido a múltiples defectos como sabor y aroma a fermento y acre en la bebida (**Puerta, 2000; Vincent, 1968**).

4.5.1. Atributos sensoriales

Se observó que el sabor, cuerpo, acidez, uniformidad, balance, taza limpia, dulzor y puntaje del catador, no presentaron diferencia estadísticamente significativa; pero si los atributos de fragancia/aroma y el sabor residual.

a) Fragancia/aroma

Según el ANAVA (Tabla 14) muestra que existe diferencia estadísticamente significativa entre las diferentes edades considerando la variable fragancia/aroma

($p=0.0317$). Así mismo, indica un R^2 de 0.58; es decir, solo el 58% explica el efecto que tiene las edades sobre la fragancia/aroma.

De acuerdo a la prueba de Tukey (Tabla 15), la plantación de 4 años de edad presenta mayor grado de significancia con respecto a la plantación de 14 años de edad por tener la mayor calificación (7.58) en fragancia/aroma. Además, en cuanto a las dosis de abonamiento, no presentaron grado de significancia tal como se muestra en la tabla 15, pero si diferencias numéricas dando mayor calificación (7.63) el testigo (T0) y como mínima calificación (7.50) el T3.

También existió diferencia estadísticamente significativa entre la interacción de edad por dosis de abonamiento (tabla 16), destacando con mayor calificación (7.75) el testigo (T0) de 4 años de edad, en las cuales se encontró atributos a chocolate, panela, almendras, maracuyá, sandía, vainilla, naranja, frutas secas, capuchino.

Lingle (1995) y **Specialty Coffee Association of América (2005)**, indican que aquellos que se encuentran en una calificación de 7.00 - 7.75 son considerados como muy bueno y son clasificados como comerciales, con grado para intercambiar en el mercado internacional, taza limpia y calidad media.

Tabla 14

Análisis de Varianza para el atributo de fragancia/aroma

FUENTES DE VARIANZA	SC	gl	CM	F	p-valor
Edad	0.03	1	0.03	5.33	0.0317
Tratamientos	0.05	4	0.01	2.00	0.1333
Edad*Tratamientos	0.09	4	0.02	3.67	0.0214
Error	0.13	20	0.01		
Total	0.30	29			

Nota: N= 30

$R^2 = 58\%$

CV= 1.05%

Fuente: Elaborado por el autor

Los azúcares también son importantes para definir la calidad de taza del café, los granos de café tienen entre 5 a 10% de azúcar total. Los azúcares participan en reacciones importantes durante el proceso de tostado, tal como la reacción de maillard

y/o caramelización, el cual es responsable por la formación del color, sabor y aroma del café (Mendonza et al., 2007).

Tabla 15

Comparación de medias, para los promedios del parámetro fragancia/aroma en función a la edad de la plantación y dosis de abonamiento.

EDAD PLANTACION (años)	CALIFICACION
4	7.58 A
14	7.52 B
DOSIS DE ABONAMIENTO	CALIFICACION
0	7.63 A
1	7.54 A
2	7.54 A
3	7.50 A
4	7.54 A

Nota: Las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

Tabla 16

Comparación de medias, para los promedios del parámetro fragancia/aroma en función a las dosis de abonamiento y edad de la plantación de café.

DOSIS DE ABONAMIENTO	EDAD PLANTACION	CALIFICACION
0	4	7.75 b
1	4	7.50 a
2	4	7.58 ab
3	4	7.50 a
4	4	7.58 ab
0	14	7.50 a
1	14	7.58 ab
2	14	7.50 a
3	14	7.50 a
4	14	7.50 a

Nota: Las barras con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de tukey ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor)

b) Sabor residual

Según el ANAVA (Tabla 17) muestra que existe diferencia significativa estadísticamente entre las diferentes edades de plantación considerando la variable sabor residual ($p=0.0212$). Así mismo, indica un R^2 de 0.43; es decir, las edades de la plantación del café explican en un 43% el sabor residual. De acuerdo a la prueba de Tukey (Tabla 18), la plantación de 14 años de edad, presenta mayor grado de significancia con respecto a la plantación de 4 años que es la que tuvo mayor calificación (7.52) en sabor residual.

Sin embargo, ambos se encuentran dentro del rango de 7.00 - 7.75 que son considerados como muy buenos y son clasificados como comerciales, con grado para intercambiar en el mercado internacional, taza limpia y calidad media; como lo indican **Lingle (1999)** y **Specialty Coffee Association of América (2005)**. Presentaron sabor residual a vainilla, toque capuchino, afrutados, pulpa, panela, naranja, pepinillo y manzana.

Además, en cuanto a las dosis de abonamiento no presentaron grado de significancia tal como se muestra en Tabla 18, pero si diferencias numéricas obteniendo la misma calificación 7.50 el testigo T0, T2, T3, seguido del T4 con una calificación de 7.46 y como mínima calificación 7.42 el T1.

Tabla 17

Análisis de Varianza de Sabor residual

Fuentes de Varianza	SC	gl	CM	F	p-valor
Edad	0.05	1	0.05	6.25	0.0212
Tratamientos	0.03	4	0.01	1.00	0.4307
Edad*Tratamientos	0.04	4	0.01	1.25	0.3221
Error	0.17	20	0.01		
Total	0.29	29			

Nota: N= 30 $R^2 = 43\%$ CV= 1.22%. (**Fuente:** Elaborado por el autor).

Tabla 18.

Comparación de medias, para los promedios del parámetro sabor residual en función a la edad de la plantación y dosis de abonamiento

<i>EDAD PLANTACION</i>	<i>CALIFICACION</i>
4	7.43 A
14	7.52 B

<i>DOSIS DE ABONAMIENTO</i>	<i>CALIFICACION</i>
0	7.50 A
1	7.42 A
2	7.50 A
3	7.50 A
4	7.46 A

Nota: Las letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). (Fuente: Elaborado por el autor).

En la evaluación del análisis sensorial en el estudio, sobresalieron dos atributos, fragancia/aroma la que tuvo mayor efecto fue la plantación de 4 años de edad, se establecieron diferencias en la interacción de edad*dosis de abonamiento, sobresaliendo el testigo de la plantación de 4 años de edad obteniendo una mayor calificación a diferencia de los demás; en el sabor residual también influenciaron las edades, dejando un mejor sabor agradable la plantación de 14 años de edad, sin embargo en el resto de los atributos estudiados no se observaron diferencias significativas entre ellas.

Contrastando los resultados del estudio, con otras investigaciones, establecimos que, un estudio desarrollado por **Estrella y Coronado (2015)** sobre evaluación sensorial de cuatro cultivares de café creciendo a diferentes altitudes en la región San Martín, demostraron que la altitud es el mayor responsable para incrementar la calidad sensorial del café para las variedades pache y caturra. El estudio fue desarrollado a una altitud de 1300 msnm, por lo que el efecto de altitud no estaría reflejado en los resultados establecidos, pero si a las variables dependientes establecidas para el ensayo.

Por otro lado, **Pereira y Malta (2004)** indican que el sabor y aroma del café son el resultado de la presencia de constituyentes volátiles cafeína, proteínas, aminoácidos, compuestos fenólicos ácidos grasos y la acción de enzimas sobre algunos de los constituyentes produciendo compuestos que afectan la calidad de taza.

En el caso de la producción de cafés especiales, **Clemente, Prieto, Correa, Finger y Cecon (2015)** indican que la relación N: K es importante porque cantidades relativas de N y K pueden, cualquiera de ellos, suprimir o incrementar la concentración de compuestos que son esenciales para el sabor y aroma de cafés especiales; al respecto, **Mazzafera (1999)** estableció que la biosíntesis de la cafeína en las hojas de café es inducida por las bajas dosis de K, pero es reducido por la deficiencia de N.

El estudio desarrollado por **Clemente et al., (2015)** encontró que el K tiene un efecto positivo en el incremento del rendimiento del grano de café, así como en el contenido de cafeína, fenoles totales, azúcar total y reducido, y disminuyendo la acidez total titulable del café, arriba de un punto. Por otro lado, diferentes estudios realizados por **Carvalho et al., (2003)**; **Silva, et al. (2009)**; **Mazzafera et al., (2002)** establecieron que la Polifenol oxidase es una enzima de Cu ligada a la membrana celular y esta reportada por estar directamente relacionada con la calidad de taza del café.

La acidez del café, el cual puede tener un efecto benéfico o indeseable sobre la calidad de taza, como resultado de la presencia de ácidos no volátiles: málico cítrico tartárico, oxálico, pirúvico y ácidos volátiles tales como acético, propionico, valerico y el butírico los cuales son producidos por rutas endógenas relacionados con el metabolismo de la fermentación del azúcar (**Farnezi et al., 2010**).

Estudios sobre la acidez en diferentes calidades de café (**Arcila y Valencia, 1975**) detectaron mayor acidez en cafés de peor calidad. Las variaciones en la acidez de los granos fueron investigadas por **Carvalho et al (1994)** y **Abreu et al (1996)** quienes establecieron una relación inversa entre los tenores de acidez y la calidad de los granos.

CONCLUSIONES

Las conclusiones derivadas del presente estudio de investigación son las siguientes:

1. Se estableció un efecto positivo del abonamiento, en la respuesta fisiológica del café a la roya amarilla. El abonamiento inorgánico presentó el mayor efecto positivo. Así mismo la fertilización inorgánica permitió una menor Área bajo la curva de progreso de la enfermedad o AUDPC en las plantas de café, en cualquiera de sus edades.
2. La aplicación de abonos, tanto inorgánico como orgánico incrementaron la producción de café pergamino. El efecto fue mayor del abono inorgánico sobre las plantaciones de 8 años de edad.
3. La fórmula de abonamiento T3 presentó los mayores valores de producción y de mitigación de la roya amarilla; seguido de la fórmula T2, el cual se aproximaría al óptimo económico para el productor.
4. Hubo un desbalance catiónico entre el Ca con K y Ca con el Mg, lo cual podría haber bloqueado la absorción por la planta de estos dos últimos nutrientes, lo que podría estar reduciendo la respuesta a la mitigación de la roya amarilla, así como en el rendimiento.
5. El análisis sensorial del café no fue afectado por la adición de abonos orgánicos e inorgánicos. Solo se encontró diferencias en dos componentes: fragancia/aroma y sabor residual.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de abono inorgánico para mitigar los efectos de la roya amarilla y como una medida de recuperación de las plantaciones de café.
2. Se recomienda validar en campo de los productores, el uso de la fórmula de abonamiento T2 (65 Kg de N, 12 de P, 127 de K, 30 de Mg, 86 de Ca y 58 de S por hectárea), considerado económicamente adecuado.
3. Se recomienda para este tipo de suelos, incrementar la dosis de K a ser suministrada al suelo, para evitar el efecto bloqueador de su absorción por el alto contenidos de calcio en el suelo
4. Se recomienda validar en los laboratorios de catación, la calidad de taza de plantaciones abonadas con productos inorgánicos.
5. Se recomienda validar los resultados de este estudio en otras zonas cafetaleras de la región San Martín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C.M.A.; Carvalho, V.D. de; Botrel, N. (1996). *Efeito de níveis de adição de defeito verde na composição química de cafés classificados com bebida estritamente mole*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.6, p.456-561, 1996.
- Agrios, G.N. (1998). *Fitopatología* 2 ed. México, Editorial Limusa, S.A. de C.V. 11-12 p. (Fisiología de las enfermedades de las plantas).
- Agrobanco. (2017). Directiva de Créditos. Programa Especial Roya Amarilla. Renovación de Café. Código DIR 012-11. Lima, Perú. 35p.
- Ahuja, L.R., J.W. Naney, R.E. Green, y D.R. Nielsen (1984a). *Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 699–702.
- Alarcón M, O.; Aldazabal, M.; Martínez, J. (1996). Influencia del sol y la sombra en la calidad y el rendimiento del grano de café. Centro Agrícola 23(3): 11-16
- Altamirano J. 2012. Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. Tesis MsSc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 108p.
- Amaral, J.F.T.d., Martinez, H.E.P., Laviola, B.G., Fernandes Filho, E.I., Cruz, C.D., (2010). Bean production efficiency and relative allocation of nutrients of four coffee varieties. Rev. Ceres 57, 253–262.
- American Phytopathological Society (2011). Coffee rust (*Hemileia vastatrix*). [ONLINE]APSNET (<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>. 25 Enero 2017)
- Anzueto, R. F. 2013. Variedades de café resistentes a la roya. El Cafetal. La revista del Caficultor. Coleccion 2013, abril, mayo, junio ed 35. ON LINE: http://www.anacafe.org/glifos/images/c/c2/2013_36_El_Cafetal.pdf, consultado 28 diciembre 2017.
- Anthony, F; Astorga, C; Berthaud, J. 1999. Los recursos genéticos: las bases de una solución genética a los problemas de la caficultura latinoamericana. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, CR, IICA. p. 369-406.

- Arcila P., Jaime; Farfán V., Fernando.; Moreno B., Argemiro M.; Salazar G., Luis Fernando; Hincapié G., Edgar (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Chinchiná: Cenicafé. p. 22.
- Arcila, J. 2007. Factores que determinan la productividad del cafetal (en línea). In *Sistemas de producción de café en Colombia*. Manizales, Colombia, CENICAFE. p. 61-86. Consultado 30 mayo 2016. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo3.pdf>.
- Arcila, J.; Valencia, G. (1975). Relación entre la actividad de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catación como medidas de la calidad de la bebida del café. *Cenicafé, Caldas*, v.26, n.2, p.55-71, abr./jun. 1975.
- Arneson, P.A. (2000). Coffee rust. *The Plant Health Instructor* (Update 2011). Doi: 10.1094/PHI-I-2000-0718-02. <http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/Coffee>
- Asociacion Nacional del Café (S/F). Productividad. Recuperado de https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Productividad_Definicion
- Avelino J., Willocquet L. y Savary S. (2004). Effects of crop management patterns on coffee rust Epidemics. *Plant Pathology* (2004) 53, 541–547.
- Avelino, R.; Muller, A.; Eskes, R.; Santacreo y F. Holguín (1999). La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. En: Bertrand, B y B. Rapidel (eds), *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, CR, IICA. Pág. 193-241.
- Avelino, J.; Zelaya, H.; Merlo, A.; Pineda, A.; Ordóñez, M.; Savary, S. (2006). The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* 197(3-4): 431-447.
- Avelino, J; Rivas, G. (2013). La roya anaranjada del café. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>.
- Baker, Peter and Jeremy Hagggar. (2007). *Global Warming: the Impact on Global Coffee*. CATIE–SCAA conference handout. Revisado de la web http://web.catie.ac.cr/congreso/jeremy/Global_Warming.pdf (consultado el 15 de Julio 2015).
- Baker, P., Flood, J Barboza, C. (1996). Análisis de la calidad del Grano y de la bebida del café. *Var. Caturra en función de la maduración y Tiempo de Fermentación. Agronomía Tropical*. (3).

- Baligar, V.C., Fageria, N.K. y He, Z. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Commun Soil Sci. Plant Anal* 31:921-950.
- Barboza, C. (1999). Procesamiento del Café en centrales de beneficio ubicados en el Estado Táchira: Diagnóstico y Evaluación Sensorial *Agronomía Tropical*. 49(4):391-412.
- Barrios, AW; Ovalle de la Vega, CF; Dávila R RJ; Valdez L RA; Solis G M.E. y Muñoz, C.R. (1998). Beneficiado Húmedo y su Control de Calidad. In *Manual de Caficultura*. ANACAFE. Ciudad de Guatemala. Guatemala. P 229-259.
- Bataglia, O.C. (2007). Efeito da nutrição mineral sobre a qualidade dos grãos e da bebida do café. In: SALVA, T. de J.G. et al. (Eds.). *Cafés de qualidade: aspectos tecnológicos, científicos e comerciais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p.51-71.
- Bebber, D. P., A. Delgado Castillo y S.J. Gurr. (2015). Modelling coffee leaf rust risk in Colombia with climate reanalysis data. *Phil Trans. R. Soc. B* 371:20150458. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2015.0458>.
- Bertsch, F. (1998). *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. ACCS, San José.
- Bertsch F. (2003). *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del suelo (ACCS). San José. Costa Rica. 307 p.
- Brownbridge, J; Gebreigzabhair, E. (1968). The quality of some of the main Ethiopian mild coffees. *Turrialba* 18(4): 361372.
- Buenaventura S, C; Castaño C, J. (2002). Influencia de la altitud en la calidad de la bebida de muestras de café provenientes del ecotipo 206B en Colombia. *CENICAFE* 53(2): 119-131.
- Burström, H.G. (1968). Calcium and plant growth. *Biol. Rev.* 43: 287 – 316.
- Cachique, J. (2013). Distrito de Alonso de Alvarado Roque. Recuperado de <http://aaroque.blogspot.pe/2013/05/historia.html>
- Cadena, G. (1982). Diseminación de *Hemileia vastatrix* Berk. In. *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Taller de Roya del Cafeto *H. vastatrix*. Colombia 12-17 abril. Chinchina. Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE.
- Camargo, M. B. P. 2010. The impact of climatic variability and climate change on Arabic Coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69: 239-247. C
- Campbell C.L., Madden L.V., (1990). *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.

- Capa, M., E.D. 2015. Efecto de la fertilización orgánica y mineral en las propiedades del suelo, la emisión de los principales gases de efecto invernadero y en las diferentes fases fenológicas del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 214 p.
- Carvajal, J.F. (1984). Cafeto. Cultivo y Fertilización, Instituto Internacional de la Potasa, Berna, (Suiza), 254 p.
- Carvalho, G. R.; Mendes, A. N. G.; Carvalho, L. F.; Bartholo, G. F. (2003). Eficiência do ethephon na uniformização e antecipação da maturação de frutos de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e qualidade da bebida. *Ciência de Agrotecnologia*, v. 27, n. 1, p. 98-106, 2003.
- Carvalho, V.D.; Chagas, S.J. de R.; Chalfoun, S.M.; Botrel, N.; Juste Junior, E.S.G. (1994). Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.3, p.449-454.
- Castro, T.S., T. Dietsch, N. Urena, L. Vindas, M. Chandler (2012). Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazu, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 155 (2012)172-181.
- Centro de Comercio Internacional. (1992). Café: Guía del Exportador. Suiza. p.402.
- Centro Nacional de Investigación del Café (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Boletín Técnico No. 32.
- Centro Nacional de Investigación del Café (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Colombia. 309 p.
- Centro Nacional de Investigación del Café (2009). Modelo para simular la producción potencial del café en Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná, Colombia. 309 p.
- Centre for Agriculture and Biosciences International (2013). Crop Protection Compendium. © CAB International, Wallingford, UK, 2007. [ON LINE]CABI (<http://www.cabi.org/compendia/cpc/>, 17 enero 2013).
- Clemente, J:M. H.M. Prieto Martínez, L. Correa Alves, F. L. Finger, P.R. Cecon (2015). Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. *Maringá*, v.37, n.3, p297-305. July a Sept., 2015.
- Chadwick, O.A., Chorover, J., (2001). The chemistry of pedogenic thresholds. *Geoderma* 100, 321–353.

- Chagas, S.J. de R.; Carvalho, V.D.; Costa, L. (1996). Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.8, p.555-561.
- Chagas, S.J. de R.; Carvalho, V.D.; Costa, L. Chaves, V. M. 2006. Variación estacional de la producción de biomasa y extracción de nutrientes en el cultivo del café (*Coffea arabica*), en función de la fertilización y la carga fructífera. Instituto del Café de Costa Rica. San José, Costa Rica. Boletín técnico N° 3.
- Charrier A., Eskes A.B. 2004. Botany and genetics of coffee, in *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, ed. by Wintgens JN. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim.
- Chaves Arias, V.M. (2013). Relación de la carga fructífera y la nutrición en la susceptibilidad del café al ataque de la roya. *Revista Informativa Icafe* I:7-10
- Chaves, A. C. (2006). Propagação e avaliação fenológica de *Physalis* sp na região de Pelotas, RS. 65 f. Tesis (Doctorado) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.
- Chien, S.H., Gearhart, M.M., Collamer, D.J. (2008). The effect of different ammonical nitrogen sources on soil acidification. *Soil Sci.* 173, 544–551.
- Cleves S, R. (1998b). Factores que inciden en la calidad del café originados en el cultivo y la recolección. In *Tecnología en Beneficiado de Café*. San José. C.R. p 8-14.
- Cleves, SR; Astua, RG. (1998). Defectos y vicios del café que se origina o manifiestan en el beneficiado. In Cleves. Eds. *Tecnología en Beneficiado de Café*. San José. CR.
- Contreras P. E y Adriazola D. J. 2011. Efecto de la pulpa de café y la fertilización química en el rendimiento y en la macrofauna edáfica del cultivo de café (*Coffea arabica* L.). *Investigación y Amazonía* 2011; 1(2): 53- 58.
- Costa, M.J.N.; Zambolim, L.; Rodrigues, F.A. (2006). Efeito de níveis de desbaste de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores. *Fitopatologia Brasileira*, 31 (6): 564 - 571 . D o i: 10.1590/S0100-41582006000600005.
- Da Silva A. L., Bruno I. P., Reichardt K., Bacchi O. O. S., Dourado-Neto D.2, Favarin J. L., Da Costa F. M. P., & Timm L. C. (2009). Soil water extraction by roots and Kc for the coffee crop. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.13, n.3, p.257–261.

- Dirección Regional de Agricultura San Martín. (2016). Diagnóstico de la Cadena de Valor del Cultivo de Café. Dirección de Productividad Agraria-DPA. Tarapoto, Perú. 24p.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Drinnan y Menzel (1995). Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L). *Journal of Horticultural Science*, 70:25-34.
- Duicela G.L. y Sotomayor H. I. 1993. Principales Variedades In Manual del Cultivo del Café. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, Quevedo, Ecuador. 256 p.
- El Cafetalero. (2013). *Plaga de la roya afectó al 43% del área cafetalera peruana*. Junta Nacional del Café. Año 11 No. 43. Marzo 2013.
- El Cafetalero. (2017). Gobierno comprara parte de deuda cafetalera y fortalecerá a AGROBANCO. Junta Nacional del Café. Año 15 No. 59. Mayo-Junio 2017.
- Epstein E y Bloom AJ. (2005). *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Escobedo Torres R. (2005). Suelos y Capacidad de Uso Mayor de las Tierras. Zonificación Económica Ecológica de la Región San Martín. Convenio IIAP Gobierno Regional de San Martín. 217p.
- Estrella Gamonal, L., y Coronado, M:F.. 2015. Evaluacion Fisica y Sensorial de cuatro variedades de café (*Coffea arabica* L.) tolerantes a roya (*Hemileia vastatrix*) en relacion a dos pisos ecologicos de las provincias de Lamas y Rioja. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional de San Martín. 67p.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (2013). <http://www.eppo.int> (25 enero 2013).
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B. (2002). Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agron.*:77:185-268.
- Farnezi, M. M. M.; Silva, E. B.; Guimaraes, P. T.E.; Pinto (2010). Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 5,p. 1191-1198.
- Fassbender, H.W.; Bornemisza, E. (1987). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina, IICA.

- Figuroa S, P; Jiménez, O; López de León, E; Anzuelo, F. (2000). Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas y físicas del café. XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. Costa Rica. p 493-497.
- Fischersworing, B; Rosskamp R. (2001). Guía para la caficultura ecológica. 3 ed. Lima Peru.153p.
- Galindo, V. R.X. (2011). Producción e Industrialización de Café Soluble Caso: Solubles instantáneos. Tesis Economista. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas. Guayaquil, Ecuador. 96p.
- Gárate, A., Bonilla, I. (2001). Nutrición mineral y producción vegetal. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcón-Bieto y Talón (Eds.). Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Universitat de Barcelona. Madrid. pp: 113- 130.
- García, C. P., y Barreto, O.,D. 2007. Propuesta para el Incremento de Consumo de Café Tostado de los asociados de la Junta Nacional del Café. Tesis Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Escuela de Postgrado. Lima, Perú. 158p.
- Gay, C., F. Estrada, C. Conde y H. Eakin. 2004. Impactos potenciales del cambio climático en la agricultura: escenarios de producción de café para el 2050 en Veracruz (México). pp. 651-660. *In*: J. C. García Codron, D. C. Liaño, F. P. de Arróyabe Hernández, G. C. Pedraja y R. D. Álvarez (eds.). El Clima entre el mar y la montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria. Santander. España.
- Geel, L; Kinnear, M; Kock, H. (2005). Relating consumer preferences to sensory attributes of instant coffee. *Food Quality and Preference* 16: 237-244.
- Gliessman, S. (2002). Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Turrialba, C.R.359 p.
- Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M., Zhang, F.S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science* 327, 1008–1010.
- Haggar, J., Barrios, M., Bolaños, M., Merlo, M., Moraga, P., Munguia, R., Ponce, A., Romero, S., Soto, G., Staver, C., Virginio, E.d.M.F. (2011). Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agroforest. Syst.* 82, 285–301.

- Horn, R.; Smucker, A. (2005). Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil and Tillage Research* 82: 5-14.
- Hue, N.V., (2004). Responses of coffee seedlings to calcium and zinc amendments to two Hawaiian acid soils. *J. Plant Nutr.* 27, 261–274.
- International Coffee Organization (2013). International Coffee Organization. Annual Review 2011/12. ICO, London, England.
- Instituto de la Potasa y el Fosfato (1997). Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo. INPOFOS, Quito, Ecuador.
- Ismunadji, M. (1976). Rice disease and physiological disorder related to potassium deficiency. In. Proc. 12th Colloquium of the International Potash Institute. P33. Warblafen-Bern, Switzerland; Int. Potash Inst.
- Jeger M. J. 2004. Analysis of disease progress as a basis for evaluating disease management practices. *Annu. Rev. Phytopathology.* 42:61-82.
- Julca, A., Echevarría, A.C., Ladera, Y., Borjas V.R., Cruz J.R., Bello A. S. y Crespo C. R. (2013). Una revisión sobre la roya del café (*Hemileia vastatrix*) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Instituto Regional de Desarrollo de Selva. Lima Perú. 41p.
- Julca, A.; Guerrero, R, Meneses, L., B., Aduato, Bello, S., Santibáñez, R., Borja, R. y Crespo. R. (2008). Evaluación preliminar de la relación entre la roya (*Hemileia vastatrix*) con el nivel nutricional, rendimiento y calidad de café c. Caturra en la selva central del Perú. Resúmenes del XX Congreso Peruano de Fitopatología. Arequipa Art. 62.
- Julca, A., Carhuallanqui, R.; Julca Vera, N., Bello, S.; Crespo, R.; Echevarría, C. y Borjas R. (2010). Efecto de la sombra y la fertilización sobre las principales plagas del café var. Catimor en Villa Rica (Pasco, Perú). UNALM-FDA. Lima. 23pp.
- Junta Nacional del Café, 2014.
- Koseoglu, A.T; Tokmak, S. (1996). Relationships between the incidence of tire blight and nutritional status of pear trees. New York, USA. *J. Plant Nutrition* 19(1):51-61.
- Kovanci, I.; Colakoglu, H. (1976). The effect of varying K level on yield components and susceptibility of young wheat plants to attack by *Puccinia striiformis* West. Proceedings of the 12th Colloquium of the International Potash Institute, Bern, Switzerland, 1976, pp. 177–182. Horgen, Switzerland: International Potash Institute.
- Kuhl A, E. 2004. Nicaragua y su café. Managua, Nicaragua. *Hispanamer.* 371 p.

- Kushalapa, A. C. and Eskes, A. R. 1989. Advances in coffee rust research. *Annual Review of Phytopathology*. 27:503-531.
- Läderach, P.; Hagggar, J.; Lau, C.; Eitzinger, A.; Ovalle, O.; Baca, M.; Jarvis, A.; Lundy, M. (2011). *Café mesoamericano: Desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático*. CIAT Políticas en Síntesis no. 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.
- Lagos, M., S.M. (2014). Efecto de la condición química del suelo y de la fertilización sobre la incidencia, severidad y resistencia fisiológica de plantas de café a la roya (*Hemileia vastatrix*). Tesis MsSc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, Turrialba, Costa Rica. 52p.
- Lara, E., L. (2005). Efecto de la Altitud, Sombra, Producción y Fertilización sobre la calidad del Café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) Producido en Sistemas Agroforestales de la Zona Cafetalera Norcentral de Nicaragua. Tesis Ms. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 106p.
- Lashermes P., Combes M.C., Robert J., Trouslot P., D'hont A., Anthony F. (2004) Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. genome. *Mol Genet Genom* 261:259–266.
- León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales*. 3 ed. aum. y rev. San José, CR, IICA.
- Libert Amico, A., (2016). La roya del cafeto. Breves de Políticas Publicas. Programa Mexicano del Carbono. Boletín Informativo, Junio 2016.
- Lingle, T.R. (1995). *El manual de la preparación del café*, 2a Edición., Specialty Coffee Association of America. Pág. 23.
- Lingle, Ted R., (1999). Fundamentos para la catación de café. ABECAFE Abril-Mayo-Junio. p 21-22.
- Loli, F. O., y Aquino, Y., R. (2011). Fertilización y post cosecha de café jornada de capacitación UNALM – AGROBANCO. Guía técnica, curso – taller. Soposoa – Picota – San José de Sisa- San Martin – 2011. 38 p. pags. 5,6.
- Loomis, R.S., y Connor, D.J. (1992). *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural System*. Cambridge University Press, Cambridge.
- López Bravo, F. (2010). Efecto de la carga fructífera sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica. *Magister Scientiae en Agroforestería Tropical*.

- López-Bravo D.F., Virginio-Filho E. de M., and Avelino J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection* 38 (2012) 21-29.
- López- García, F.J., E. Escamilla-Prado, A. Zamarripa-Colmenero y J. G. Cruz-Castillo. (2016). Produccion y Calidad en Variedades de Cafe (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 39 (3): 297 - 304, 2016.
- Luiza, S. A., Adriana S. V., Beatriz A. G. y Mendonça C.F. (2007). A comparative study of chemical attributes and levels of amines in defective green and roasted coffee beans. *Food Chemistry*. 101: 26–32.
- Machado, J.R.M; Matiello, J.B. (1983). Curva epidemiologica de ferrugen (*Hemileia vastatrix* B. & Br) em cafeeiros sombreados e a pleno sol, na Ibiapa, noreste do Ceara. In: Simposio sobre ferrugens do cafeeiro (Oeiras, Portugal, CIFC: Outubro 17-20). p 282-286.
- Madden L V., Hughes G., and Van den Bosch F. (2007). The Study of plant disease epidemics. The American Phytopathological Society. Second printing 2008. 421 pg.
- Marín L, S; Arcilla P, J; Montoya R, E; Oliveros T, C. (2003). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *CENICAFE* 54(3): 208225.
- Marín, Ciriaco, G. 2012. Producción de cafés especiales. Manual técnico. Lima: Equipo técnico del proyecto Fondoempleo, Programa Selva Central – desco, 2012. 46 pp.
- Márquez Dávila, K., Arévalo, L. y Gonzales, R. (2014). Efectos del Abonamiento Nitrogenado sobre la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix* Berck et. Br.) en dos variedades de *Coffea arábica* L. *Folia Amazónica. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana*. Vol. 23 (1) 2014: 57 - 66
- Matsuyama, N., Saigusa, M., Sakaiya, E., Tamakawa, K., Oyamada,Z., Kudo,K. (2005). Acidification and soil productivity of allophanic Andosols affected by heavy application of fertilizers. *Soil.Sci. Plant Nutr.* 51, 117-123.
- Maynard, D. N. (1979). Nutritional disorders of vegetable crops. A review. *Journal of Plant Nutrition*, 1: 1 – 23.
- Mazzafera, P. (1999).Mineral nutrition and caffeine contentin coffee leaves. *Bragantia*, v. 58, n. 2, p. 387-391.
- Mazzafera, P.; Goncalvez, K.V.; Shimizu, M.M. (2002). Extração e dosagem da atividade da polifenoloxidase do café. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.4, p.695-700, out./dez.

- McCook, S., y J. Vandermeer. (2015). The big rust and the red queen: long-term perspectives on coffee rust research. *Phytopathology* 105(9):1164–1173. <http://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0085-RVW>.
- Melo, R.B.E. y Piñeros, R.J.B. (2015). Evaluación de la fertilización edáfica en café (*Coffea arabica* L.) mediante el análisis sensorial y características físicas bajo diferentes alturas en Fusagasuga-Cundinamarca. Tesis Ing. Agron. Universidad de Cundinamarca. Colombia 143 p.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2001). *Principles of Plant Nutrition*, 5th ed. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht.
- Mendonza, L. M. V. L.; Pereira, R. G. F. A., Mendes, A. N. G.; Borem, F. M.; Marques, E. R. (2007). Composição química de grãos crus de cultivares de *Coffea arabica* L. suscetíveis e resistentes à *Hemileia vastatrix* Berg et Br. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 31, n. 2, p. 413-419, 2007.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio –MIFIC (1999). Norma Técnica del café Verde. Clasificación de calidades, determinación de materias extrañas y defectos. Managua, Nicaragua. 15 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014a). Plan Nacional de Renovación de Cafetales. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú. 24p.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014b). Origen y distribución geográfica del cafeto. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú.
- Mora, N. 2008. Agrocadena de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección Regional Huetar Norte. 49 p. Costa Rica.
- Moraes, F. R. P.; Catani, R. A. (1964). Absorção de elementos minerais pelo fruto cafeeiro durante sua formação. *Bragantia*, v. 23, n. 26, p. 331-336, 1964.
- Moraes, F. R. P.; Cervilini, G. S. & Gallo, J. R. (1974). Influencia do estado nutricional do cafeeiro sobre a intensidade do ataque da ferrugem *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. In: Congresso Brasileiro sobre Pesquisas Cafeeiras. 2. Pocos de Caldas. Resumos. Rio de Janeiro, Bra. p. 126-127.
- Moreno, R.G. (2004). Obtención de variedades de café con resistencia durable a enfermedades, usando la diversidad genética como estrategia de mejoramiento. *Rev. Acad. Comom. Ciencia*. 28(1079):187-200.
- Neumann, S.; Paveley, N.D.; Beed, F.D.; Sylvester-Bradley, R. (2004). Nitrogen per unit leaf area affects the upper asymptote of *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* epidemics in winter wheat. *Plant Pathology* 53: 725-732.

- Orozco, E., Figueroa, P. Pacheco, A., Calderón, G. (2011). Manejo Integrado de la Roya del Cafeto. El cafetal. 28 p.
- Orozco, F. 1986. Descripción de especies y variedades de café. Cenicafé, Boletín Técnico No. 11. 29 p.
- Pereira, R. G. A.; Malta, M. R. (2004). Fatores que podem promover alterações nos grãos de café. In: PEREIRA, R. G. F. A. (Ed.). Qualidade do café/ Cafés especiais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. p. 25-39.
- Pérez P., E. y D. Geissert K. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Interciencia 31: 556-562.
- Piening, L.J. (1989). Fertilizers can reduce plant diseases. Better Crops plant Food. p. 18-20.
- Pico Rosado, J. (2014). Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65p.
- Puerta Q., G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Cenicafé 51(2):136-150. 2000.
- Rao, D. V.; Tewari, J. P. (1988). Suppression of the symptoms of American leaf spot of coffee with calcium hydroxide. Plant Disease 72:688-690.
- Ramírez, N. W. (2017). Efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de siete especies forestales en un bosque establecido en la región San Martín. Tesis Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional San Martín. Tarapoto. Perú. 213 p.
- Regalado O, A. (2006). ¿Qué es la calidad en el café?. Chapingo, ME. Universidad Autónoma Chapingo. 309 p.
- Rivillas, O. C., Serna, G. C., Cristancho, A. M. y Gaitán, B. A. (2011). La Roya del Cafeto en Colombia (Impacto, manejos y costos del control, resultados de investigación). Centro Nacional de Investigación del Café (Cenicafé). Chinchiná, Caldas, Colombia. 53 pp.
- Ruta de los Chancas (s/f). Perú. *Ruta turística y cultural de los Chancas Cuenca del Alto Cumbaza. Región San Martín*. consultado el 15-02-2017:
<http://www.exterior21.org/publicaciones/PERU%20RUTA%20CHANKA%20panel>

- Salazar, E., Muschler, R., Sánchez, V. y Jiménez, F. (2000). Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26): 40-42.
- Samper K, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las Caficultoras Centroamericanas. In B, Bertrand; B, Rapidel. Eds. *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José. C.R. IICA. PROMECAFE. CIRAD. IRD. CCCR. p 1-68.
- Santoyo C. V.H; Díaz C. S; Escamilla P. E; Robledo M. J.D. (1996). Factores agronómicos y calidad del café. Chapingo. México. Universidad Autónoma Chapingo/Confederación Mexicana de Productores de Café. 21 p.
- Savary, S.; Castilla, N.P.; Elazegui, F.A.; McLaren, C.G.; Ynalvez, M.A.; Teng, P.S. (1995). Direct and indirect effects of nitrogen supplies on rice sheath Blight spread. *The American Phytopathological Society* 85(9): 959-965.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION-SAGARPA, M.X. (2013). Ficha técnica roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. México. 26 p.
- Shankaranarayana, M; Abraham, K. (1986). Evaluation of Coffee Quality Using Chemical and Instrumental Methods. *Journal of Coffee Research* 16(12): 1422.
- Silva Acuña, R.S.; Zambolim, L., Alvarez, V.H. Chaves, G.M. (1992). Relacao entre producao de grãos, o teor foliar de macronutrientes e da severidad da ferrugem do cafeeiro. *Revista Ceres* 39(224):365-377.
- Silva Acuña, R; Rosales Mondragón, M; Tenias, J. 2000. Aspectos fisiológicos del café: su influencia en el ataque de la roya. *Fonaiap divulga* No. 68:44-45.
- Silva Acuña, R.S.; Zambolim, L., Alvarez, V.H. (2002). Estrategias de Control de la roya del cafeto con la aplicación de fungicida protector y sistémico en Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Bioagro* 14(2): 85-97. 2002.
- Silva, E. B.; Nogueira, F.D.; Guimaraes, P.T.G. (2003). Uso de DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.27, n.2, p.247-255, mar./abr. 2003.
- Silva, M.C. da; Castro, H.A.O.; Farnezi, M.M.M.; Pinto, N.A.V.D.; Silva, E.B. (2009). Caracterização química e sensorial de cafés da chapada de minas, visando determinar a qualidade final do café de alguns municípios produtores. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v.33, p.1782-1787, 2009. Edição especial.

- Silva, S.; De Souza, J. y Oliveira R. (2011). Modelo agrometeorológico de productividad de dos variedades de café arábica considerando la variabilidad Espacial. *Irriga, Botucatu*, 16:1-10. Brazil.
- Solidaridad (2009). Sistema de Mejoramiento continuo en la Producción de café. Módulo Productividad. The Netherlands. 27 p.
- Soto-Pinto, L; Perfecto, I; Caballero-Nieto, J. (2002). Shade over coffee: Its effects on coffee berry borer, leaf rusts and spontaneous herbs in Chiapas. Mexico. *Agroforestry Systems* 55:37-45.
- Specialty Coffee Association of America (2011). Manual del Catador de Café. Serie de Manuales. Guía Sistemática para la Evaluación y Percepción Sensorial del Sabor de Café. Cuarta Edición. 67 p. Long Beach, Ca.
- Specialty Coffee Association of America (2005). What is specialty coffe? www.scaa.org/what_speciality_coffe.asp.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D; Muschler, R.G. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems* 53:151-170.
- Suárez, A., M. Calvache, R. Jaramillo, R. Morales (2010). Recuperación de palma aceitera (*Elaeis guineensis* jacq.) bajo estrés por desbalance catiónico de Ca, Mg y K con el uso de diferentes fuentes de Mg y K. [XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo].
(<http://www.secsuelo.org/XIICongreso/Simposios/Nutricion/Ponencias/2.%20Andres%20Suarez.%20%20ARTICULO%20RECUPERACION%20DE%20PALM%20AS.pdf>) Acceso: 10/07/2013
- Tirado L. J. (2008). Enfermedades fungosas del cultivo de café. Primera edición 2008. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica – CONCYTEC. Pag. 183.
- Tran H.T., Lee L.S., Furtado A., Smyth H., Henry R.J. (2016). Advances in genomics for the improvement of quality in coffee. Society of Chemical Industry. *J Sci Food Agric*.
- Trezza, R., L. Sánchez (2014). Aplicación de un Modelo Agroclimático para el Pronóstico de Cosechas de Café en Mosquey, Municipio Boconó, Edo. Trujillo. *Saberes Investigación*, Vol. 1, Núm. 1. Julio – diciembre 2014. Pp24-31
- Vaast, P; Perriot, J; Cilas, C. (2003). Mejoramiento y Fortalecimiento en los Procesos de Certificación de Calidades y Comercialización del Café. Reporte. CIRAD-UNICAFE. 40 p.

- Vaast, P; Bertrand, B. (2005). Date of harvest and altitude influence bean characteristics and beverage quality of *Coffea arabica* in intensive management conditions. Hort Science In press
- Vaast, P; Cilas, C; Perriot, J; Davrieux, J; Guyot, B; Bolaños, M. (2005a). Mapping of Coffee Quality in Nicaragua According to Regions. Ecological Conditions and Farm Management. In ASIC Conference. Bangalore, India. p 842-850.
- Villers, L., N. Arizpe, R. Orellana, C. Conde y J. Hernández. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia 34: 322-329.
- Vincent, J.C. (1968). Influence de la maturité des fruits sur la qualité du Café Robusta. Café Cacao Thé 12(3):240-249.
- Waller, J.M. (1972). Coffe rust in Latin America. PANS. 18(4):402-408.
- Walters, D.R.; Bingham, I.J. (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for plant disease control. Ann Appl Biol 151(2007): 307-324.
- Wiersum, I.K. (1979). Calcium content of the phloem sap in relation to the Ca status of the plant. Acta Bot. Neerl, 28: 221 – 224.
- Wintgens, J. (2004). Factors Influencing the Quality of Green Coffee. In J, Wintgens. Eds. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Alemania, Wiley-VCH. p 798-809.
- World Coffee Research. 2016. Las Variedades de Cafe de Mesoamerica y el Caribe. On line, consultado 18/12 2017 <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/varieties>.
- Zuluaga, C.M.; Céspedes, P.B. (2009). Generalidades de los uredinales (Fungi:Basidiomycota) y de sus relaciones filogenéticas. Fundamentals of rust fungi (Fungi: Basidiomycota) and their phylogenetic relationships. Acta biol.colomb (1):41-56.

ANEXOS

ANEXO 1. CERTIFICADO DE IDENTIFICACIÓN DEL HONGO *Hemileia vastatrix* COMO AGENTE CAUSAL DE LA ENFERMEDAD “ROYA AMARILLA DEL CAFÉ”, QUE AFECTA A LA REGIÓN SAN MARTIN.



PERU

Ministerio
del AmbienteInstituto de
Investigaciones de la
Amazonía Peruana - IIAP

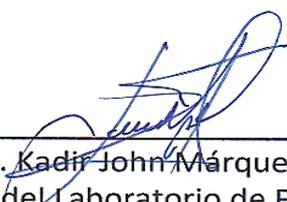
El que suscribe, Responsable del Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, sede San Martín (IIAP SAN MARTÍN),

CERTIFICA,

Que, en el laboratorio de Fitopatología del IIAP SAN MARTÍN se identificó al hongo *Hemileia vastatrix* como agente causal de la “roya amarilla del café”, en las plantaciones donde el Ingeniero Luis Alberto Arévalo López, desarrolló su trabajo de tesis doctoral denominado: “Respuesta Fisiológica del cafeto al abonamiento con relación a la severidad del daño de la roya amarilla en la provincia de Lamas”.

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Tarapoto 15 de julio del 2015


 Ing. MSc. Kadir John Márquez Dávila
 Responsable del Laboratorio de Fitopatología
 IIAP SM



OFICINA

Av. José Abelardo Quiñones km 2.5
 Teléfs. (065) 263451 - 263461 - 265515 - 265516
 Aptdo. 784 - Iquitos
 E-mail: preside@iiap.org.pe
 IQUITOS - PERU

OFICINA SAN MARTIN
 Jr. Belén Torres de Tello N° 135
 Morales
 Teléfs. (042) 524748 / 525979
 E-mail: iiapsm@iiap.org.pe
 SAN MARTIN - PERU

OFICINA DE COORDINACIÓN

Av. Larco 930, Of. 501
 Miraflores
 Telefax: (0051-1) 4460969 - 4445763
 E-mail: iiaph@iiap.org.pe
 LIMA - PERU

ANEXO 3. ANALISIS DE VARIANCIA PARA LA VARIABLE AUDPC, INFLUENCIADO POR LA EDAD DE LA PLANTACION Y LAS DOSIS DE ABONAMIENTO.

Tabla 19

Análisis de Variancia para la variable AUDPC influenciado por la edad de la planta y las dosis de abonamiento

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Bloque	2525762.55	2	1262881.28	1.71	0.1992
Edad	36114228.7	2	18057114.4	24.45	<0.0001
Tratamiento	35566244.1	4	8891561.01	12.04	<0.0001
Edad*Tratamiento	13629517.7	8	1703689.72	2.31	0.0486
Error	20678364	28	738513		
Total	108514117	44			

CV= 15.26%, R²=0.81

Tabla 20

Comparación de medias (Duncan al 5%) en función a la edad de las plantas

Edad de plantas	Medias	n	E.E.	
Catorce	17520.45	15	221.89	A
Ocho	16191.19	15	221.89	B
Cuatro	15343.79	15	221.89	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05)

Tabla 21

Comparación de medias con la prueba de Duncan al 5%, en función a las dosis de abonamiento.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T0	17496	9	286.46	A
T1	17366	9	286.46	A
T2	15770	9	286.46	B
T3	15691	9	286.46	B
T4	15436	9	286.46	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05)

Tabla 22.

Prueba de medias para la interacción edad de planta por dosis de abonamiento, a través de la prueba de Duncan al 5%

Edad	Tratamiento	Medias	E.E.	
Cuatro	T0	16225.77	496.16	cdefg
	T1	16064.52	496.16	defg
	T2	14839.78	496.16	gh
	T3	13971.13	496.16	h
	T4	15617.74	496.16	efg
Ocho	T0	17660.12	496.16	abcd
	T1	14847.4	496.16	gh
	T2	15369.3	496.16	fgh
	T3	15241.48	496.16	fgh
	T4	17837.66	496.16	abc
Catorce	T0	18211.14	496.16	ab
	T1	16399.11	496.16	cdefg
	T2	16864.07	496.16	bcdef
	T3	17094.41	496.16	bcde
	T4	19033.5	496.16	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

ANEXO 4. ANALISIS DE VARIANCIA PARA RENDIMIENTO DE CAFÉ PERGAMINO SECO, INFLUENCIADO POR LA EDAD DE LA PLANTACION Y LAS DOSIS DE ABONAMIENTO.

Tabla 23

Análisis de Variancia para el rendimiento de grano de café pergamino seco.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Rep	49993.13	2	24996.57	0.58	0.5656
Edad pta	2290172.38	2	1145086.19	26.64	<0.0001
Dosis abon	2029201.43	4	507300.36	11.80	<0.0001
Edad pta*Dosis abon	148745.06	8	18593.13	0.43	0.8913
Error	1203534.88	28	42983.39		
Total	5721646.89	44			

CV=23.8% N=45 R²:0.79 R² ajustado: 0.67

Tabla 24

Prueba de comparaciones de media Tukey al 0.05% del rendimiento de grano pergamino seco de café en función a la edad de planta

Edad pta	Medias	n	E.E.	
8 años	1059.91	15	53.53	A
14 años	1000.39	15	53.53	A
4 años	554.38	15	53.53	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=187.31859

Error: 42983.3886 gl: 28

Tabla 25

Prueba de comparaciones de medias (Tukey 5%) del rendimiento de grano pergamino seco de café en función a las dosis crecientes de abonamiento.

Dosis abon	Medias	n	E.E.	
T3	1109.76	9	69.11	A
T2	1040.54	9	69.11	A B
T4	919.18	9	69.11	A B
T1	775.49	9	69.11	B C
T0	512.84	9	69.11	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=284.74619

Error: 42983.3886 gl: 28

Tabla 26

Comparación de medias para la interacción edad de planta por dosis de abonamiento con la prueba de Tuckey al 5%

Edad pta	Dosis abon	Medias	n	E.E.					
8 años	T3	1362.07	3	119.70	A				
14 años	T3	1318.43	3	119.70	A	B			
8 años	T2	1207.13	3	119.70	A	B	C		
14 años	T2	1173.60	3	119.70	A	B	C		
8 años	T4	1107.30	3	119.70	A	B	C	D	
14 años	T4	981.73	3	119.70	A	B	C	D	
14 años	T1	937.60	3	119.70	A	B	C	D	
8 años	T1	908.93	3	119.70	A	B	C	D	
4 años	T2	740.90	3	119.70	A	B	C	D	E
8 años	T0	714.13	3	119.70		B	C	D	E
4 años	T4	668.50	3	119.70			C	D	E
4 años	T3	648.77	3	119.70			C	D	E
14 años	T0	590.60	3	119.70			C	D	E
4 años	T1	479.93	3	119.70				D	E
4 años	T0	233.80	3	119.70					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=627.44614

Error: 42983.3886 gl: 28

ANEXO 5.**ECUACIONES DE REGRESION LINEAL SIMPLE Y MULTIPLES, ENTRE EL RENDIMIENTO DE CAFÉ Y LOS NUTRIENTES ADICIONADOS AL SUELO.****NUTRIENTE NITROGENO**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple r	0.87607422
Coefficiente de determinación R ²	0.76750603
Error típico	128.530267
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F_t</i>
Regresión	1	163607.1151	163607.1151	9.90356072	0.05138473
Residuos	3	49560.08847	16520.02949		
Total	4	213167.2036			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	683.8561514	93.91870697	7.281362504	0.00534691
N	4.203986087	1.335874272	3.146992329	0.05138473

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 683.86 + 4.20N$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS N	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
	kg ha ⁻¹	
0	537.18	683.86
33	889.98	822.59
50	1040.54	894.06
65	1137.38	957.12
130	982.91	1230.37

NUTRIENTE FOSFORO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación r	0.84692348
Coefficiente de determinación R ²	0.71727938
Error típico	141.735392
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	152900.44	152900.44	7.61118218	0.07022061
Residuos	3	60266.7638	20088.9213		
Total	4	213167.204			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	673.60528	108.809367	6.19069204	0.00848968
P	19.061914	6.90940171	2.75883711	0.07022061

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 673.61 + 19.1P$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS P	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
	kg ha ⁻¹	
6	889.98	787.98
12	1040.54	902.35
24	1137.38	1131.09
22	982.91	1092.97

NUTRIENTE POTASIO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple r	0.727356046
Coeficiente de determinación R ²	0.529046818
Error típico	182.9314743
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	112775.431	112775.431	3.37005994	0.1637255
Residuos	3	100391.773	33463.9243		
Total	4	213167.204			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	771.98	113.950921	6.77467184	0.00657277
K	1.6062	0.87494266	1.8357723	0.1637255

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 771.98 + 1.6 K$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS K	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
kgha ⁻¹		
64	889.98	874.78
127	1040.54	975.97
254	1137.38	1179.95
8.3	982.91	785.31

NUTRIENTE CALCIO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación r	0.79317361
Coefficiente de determinación R ²	0.62912438
Error típico	162.335578
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	134108.684	134108.684	5.08896518	0.10934226
Residuos	3	79058.5194	26352.8398		
Total	4	213167.204			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	737.44742	107.925556	6.83292676	0.00641413
Ca	2.73452273	1.21217912	2.25587349	0.10934226

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 737.45 + 2.73 Ca$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS Ca	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
kg ha^{-1}		
43	889.98	855.03
86	1040.54	972.62
172	1137.38	1207.79
28.4	982.91	815.11

NUTRIENTE MAGNESIO*Estadísticas de la regresión*

Coefficiente de correlación r	0.72328407
Coefficiente de determinación R ²	0.52313985
Error típico	184.075116
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	GL	SC	CM	F	Valor crítico de F
Regresión	1	111516.258	111516.258	3.29115262	0.16729463
Residuos	3	101650.945	33883.6484		
Total	4	213167.204			

Estadístico

	Coefficientes	Error típico	t	Probabilidad
Intercepción	774.1522	114.143915	6.78224698	0.00655185
Mg	6.734533	3.71221808	1.81415342	0.16729463

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 774.15 + 6.73 \text{ Mg}$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS Mg	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
kg ha^{-1}		
1.5	982.91	784.25
30	1040.54	976.19
60	1137.38	1178.22

NUTRIENTE ASUFRE

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación r	0.74376338
Coefficiente de determinación R ²	0.55318396
Error típico	178.182047
Observaciones	5

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	117920.678	117920.678	3.71417255	0.1495738
Residuos	3	95246.526	31748.842		
Total	4	213167.204			

	<i>Estadístico</i>			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	763.96712	112.714013	6.77792494	0.00656377
S	3.6491843	1.89349759	1.92721886	0.1495738

Ecuación Lineal Simple:

$$Y = 763.97 + 3.64 S$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS DE S	RENDIMIENTO	
	OBSERVADO	PREDECIDO
	kg ha ⁻¹	
7.5	982.91	791.34
29	889.98	869.79
58	1040.54	975.62
116	1137.38	1187.27

B. ECUACIONES LINEALES MULTIPLES**NUTRIENTES: NITROGENO Y FOSFORO**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación r	0.90183832
Coefficiente de determinación R ²	0.81331236
R ² ajustado	0.62662472
Error típico	141.059707

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	2	173371.522	86685.7608	4.35654103	0.18668764
Residuos	2	39795.682	19897.841		
Total	4	213167.204			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	658.30856	109.33573	6.02098288	0.02649321
N	2.6713399	2.6336723	1.01430232	0.41718401
P	8.6533374	12.3527512	0.70051904	0.55612888

Ecuación Lineal MULTIPLE:

$$Y = 658.31 + 2.67N + 8.65P$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS N	DOSIS P	RENDIMIENTO	
		OBSERVADO	PREDECIDO
KgHa ⁻¹			
0	0	537.18	658.3
33	6	889.98	798.32
50	22	982.91	982.11
65	12	1040.54	935.66
130	24	1137.38	1213.01

NUTRIENTES: NITROGENO, FOSFORO Y POTASIO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación r	0.93315738
Coefficiente de determinación R ²	0.87078269
R ² ajustado	0.48313077
Error típico	165.966538

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	3	185622.312	61874.1039	2.246300484	0.44763163
Residuos	1	27544.8919	27544.89185		
Total	4	213167.204			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	604.93333	151.506028	3.992800425	0.15622833
N	389.07509	579.410055	0.671502135	0.623539501
P	-822.1528	1245.85565	-0.65991014	0.628653057
K	-119.0862	178.566474	-0.66690122	0.62556255

Ecuación Lineal MULTIPLE:

$$Y = 604.93 + 389.08N - 822.15P - 119.09K$$

Rendimientos de café pergamino seco observado y predecido por la ecuación

DOSIS N	DOSIS P	DOSIS K	RENDIMIENTO	
			OBSERVADO	PREDECIDO
KgHa ⁻¹				
0	0	0	537.18	604.93
33	6	64	889.98	889.98
50	22	8.3	982.91	889.98
65	12	127	1040.54	905.03
130	24	254	1137.38	1205.13

ANEXO 6. REGISTRO DE DATOS DE COSECHA DE GRANOS DE CAFE EN CAMPO

"Respuesta fisiológica del cafeto al abonamiento con relación a la severidad del daño de la roya amarilla en la provincia de Lamas

rep	edad pta	dosis abon	N	P	K	Mg	Ca	S	num de planta	RDTO CAFÉ CEREZO					Kg/Ha
										g/pta					
										cos 1	cos2	cos 3	cos4	cos5	
1	14	0	0	0	0	0	0	0	1	219.8	246.2	118.7	132.9	717.62	1794.1
1	14	0	0	0	0	0	0	0	2	198.5	222.3	150	168.0	738.8	1847.1
1	14	0	0	0	0	0	0	0	3	145	162.4	187	209.4	703.8	1759.6
2	14	0	0	0	0	0	0	0	1	143.1	160.3	26.4	29.6	359.3	898.4
2	14	0	0	0	0	0	0	0	2	100.35	112.4	39.5	44.2	296.5	741.2
2	14	0	0	0	0	0	0	0	3	113.35	127.0	85.1	95.3	420.7	1051.8
3	14	0	0	0	0	0	0	0	1	179.8	201.4	125.8	140.9	647.9	1619.7
3	14	0	0	0	0	0	0	0	2	119.28	133.6	104.4	116.9	474.2	1185.5
3	14	0	0	0	0	0	0	0	3	78.4	87.81	94.2	105.5	365.9	914.8
1	14	1	33	6	64	15	43	29	1	212.1	250.3	129.1	152.3	743.8	1859.5
1	14	1	33	6	64	15	43	29	2	0	0.0	269.8	318.4	588.2	1470.4
1	14	1	33	6	64	15	43	29	3	202.3	238.7	201.6	237.9	880.5	2201.3
2	14	1	33	6	64	15	43	29	1	225.9	266.6	228.6	269.7	990.8	2477.0
2	14	1	33	6	64	15	43	29	2	260.3	307.2	223.2	263.4	1054.0	2635.1
2	14	1	33	6	64	15	43	29	3	120	141.6	233.2	275.2	770.0	1924.9
3	14	1	33	6	64	15	43	29	1	230.9	272.5	237.3	280.0	1020.7	2551.7
3	14	1	33	6	64	15	43	29	2	0	0.0	195.3	230.5	425.8	1064.4
3	14	1	33	6	64	15	43	29	3	258.6	305.1	212.4	250.6	1026.8	2567.0
1	14	2	65	12	127	30	86	58	1	326.5	417.92	290.5	371.8	1406.8	3516.9
1	14	2	65	12	127	30	86	58	2	338.4	433.152	225.6	288.8	1285.9	3214.8
1	14	2	65	12	127	30	86	58	3	392.7	502.656	279.5	357.8	1532.6	3831.5
2	14	2	65	12	127	30	86	58	1	0	0	457.5	585.6	1043.1	2607.8
2	14	2	65	12	127	30	86	58	2	447.8	573.184	131.37	168.2	1320.5	3301.3
2	14	2	65	12	127	30	86	58	3	499	638.72	98.5	126.1	1362.3	3405.8
3	14	2	65	12	127	30	86	58	1	0	0	404.2	517.4	921.6	2303.9
3	14	2	65	12	127	30	86	58	2	305	390.4	110.3	141.2	946.9	2367.2
3	14	2	65	12	127	30	86	58	3	481	615.68	0	0.0	1096.7	2741.7
1	14	3	130	24	254	60	172	116	1	405.8	470.728	0	546.0	1422.6	3556.4
1	14	3	130	24	254	60	172	116	2	0	0	346.7	402.17	748.9	1872.2
1	14	3	130	24	254	60	172	116	3	373	432.7	100.1	116.1	1021.9	2554.7
2	14	3	130	24	254	60	172	116	1	238.9	277.1	161.1	186.9	864.0	2160.0
2	14	3	130	24	254	60	172	116	2	264.9	307.3	175.7	203.8	951.7	2379.2
2	14	3	130	24	254	60	172	116	3	340.3	394.7	92.8	107.6	935.5	2338.7
3	14	3	130	24	254	60	172	116	1	155.5	180.4	153.3	177.8	667.0	1667.5
3	14	3	130	24	254	60	172	116	2	187	216.9	94.1	109.2	607.2	1517.9

3	14	3	130	24	254	60	172	116	3	181.2	210.2	109.9	127.5	628.8	1571.9
1	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	0	0.0	386.9	464.3	851.2	2128.0
1	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	252.3	302.8	296.8	356.16	1208.0	3020.1
1	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	390	468.0	117.6	141.12	1116.7	2791.8
2	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	325.9	391.1	209	250.8	1176.8	2942.0
2	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	212.5	255.0	173	207.6	848.1	2120.3
2	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	286.3	343.6	177.8	213.36	1021.0	2552.6
3	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	192.3	230.8	171.3	205.56	799.9	1999.8
3	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	292.3	350.8	108.5	130.2	881.8	2204.4
3	14	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	289.7	347.6	137.8	165.36	940.5	2351.3
1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	3.1	3.4	3.8	4.3	14.6	36.5
1	4	0	0	0	0	0	0	0	2	14.3	15.7	17.6	19.7	67.4	168.4
1	4	0	0	0	0	0	0	0	3	131.8	145.0	162.4	181.9	621.0	1552.6
2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	51.7	56.9	63.7	71.3	243.6	609.0
2	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4	0	0	0	0	0	0	0	3	11.8	13.0	14.5	16.3	55.6	139.0
3	4	0	0	0	0	0	0	0	1	165.3	181.8	203.6	228.1	778.9	1947.2
3	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	4	0	0	0	0	0	0	0	3	19	20.9	23.4	26.2	89.5	223.8
1	4	1	33	6	64	15	43	29	1	12.7	14.6	17.2	20.3	64.9	162.2
1	4	1	33	6	64	15	43	29	2	23.7	27.3	32.2	37.9	121.1	302.7
1	4	1	33	6	64	15	43	29	3	8.9	10.2	12.1	14.3	45.5	113.7
2	4	1	33	6	64	15	43	29	1	9.9	11.4	13.4	15.9	50.6	126.4
2	4	1	33	6	64	15	43	29	2	200.6	230.7	272.2	321.2	1024.7	2561.8
2	4	1	33	6	64	15	43	29	3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	4	1	33	6	64	15	43	29	1	127.7	146.9	173.3	204.5	652.3	1630.8
3	4	1	33	6	64	15	43	29	2	207.7	238.9	281.8	332.6	1061.0	2652.5
3	4	1	33	6	64	15	43	29	3	160.4	184.5	217.7	256.8	819.4	2048.4
1	4	2	65	12	127	30	86	58	1	146.4	178.6	228.6	292.6	846.3	2115.6
1	4	2	65	12	127	30	86	58	2	156.8	191.3	244.9	313.4	906.4	2265.9
1	4	2	65	12	127	30	86	58	3	33	40.3	51.5	66.0	190.8	476.9
2	4	2	65	12	127	30	86	58	1	188.6	230.1	294.5	377.0	1090.2	2725.5
2	4	2	65	12	127	30	86	58	2	57.23	69.8	89.4	114.4	330.8	827.0
2	4	2	65	12	127	30	86	58	3	141.6	172.8	221.1	283.0	818.5	2046.3
3	4	2	65	12	127	30	86	58	1	150.1	183.1	234.4	300.0	867.6	2169.1
3	4	2	65	12	127	30	86	58	2	112	136.6	174.9	223.9	647.4	1618.5
3	4	2	65	12	127	30	86	58	3	70.1	85.5	109.5	140.1	405.2	1013.0
1	4	3	130	24	254	60	172	116	1	101.6	115.8	134.4	155.9	507.6	1269.1
1	4	3	130	24	254	60	172	116	2	107.4	122.4	142.0	164.7	536.6	1341.5
1	4	3	130	24	254	60	172	116	3	108	123.1	142.8	165.7	539.6	1349.0
2	4	3	130	24	254	60	172	116	1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4	3	130	24	254	60	172	116	2	95.6	109.0	126.4	146.6	477.7	1194.1
2	4	3	130	24	254	60	172	116	3	144.2	164.4	190.7	221.2	720.5	1801.2
3	4	3	130	24	254	60	172	116	1	159.2	181.5	210.5	244.2	795.4	1988.6
3	4	3	130	24	254	60	172	116	2	139.7	159.3	184.7	214.3	698.0	1745.0

3	4	3	130	24	254	60	172	116	3	157.5	179.6	208.3	241.6	786.9	1967.3
1	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	154.12	180.3	216.4	259.7	810.5	2026.2
1	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	153.2	179.2	215.1	258.1	805.6	2014.1
1	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	134.6	157.5	189.0	226.8	707.8	1769.6
2	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	156.6	183.2	219.9	263.8	823.5	2058.8
2	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	154.62	180.9	217.1	260.5	813.1	2032.8
3	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	166.4	194.7	233.6	280.4	875.1	2187.7
3	4	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	155.2	181.6	217.9	261.5	816.2	2040.4
1	8	0	0	0	0	0	0	0	1	209.2	234.4	257.8	309.4	1010.8	2526.9
1	8	0	0	0	0	0	0	0	2	207.1	231.9	255.1	306.1	1000.3	2500.6
1	8	0	0	0	0	0	0	0	3	249.7	279.7	307.7	369.2	1206.3	3015.8
2	8	0	0	0	0	0	0	0	1	136.2	152.6	167.8	201.4	658.1	1645.1
2	8	0	0	0	0	0	0	0	2	76.5	85.7	94.2	113.1	369.5	923.7
2	8	0	0	0	0	0	0	0	3	12.7	14.2	15.7	18.8	61.4	153.5
3	8	0	0	0	0	0	0	0	1	171.2	191.7	210.9	253.1	826.8	2067.0
3	8	0	0	0	0	0	0	0	2	94.5	105.9	116.4	139.7	456.5	1141.4
3	8	0	0	0	0	0	0	0	3	52.0	58.2	64.1	76.9	251.2	628.0
1	8	1	33	6	64	15	43	29	1	214.2	252.8	278.1	328.1	1073.2	2683.1
1	8	1	33	6	64	15	43	29	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	8	1	33	6	64	15	43	29	3	218.1	257.3	283.1	334.0	1092.5	2731.3
2	8	1	33	6	64	15	43	29	1	226.9	267.7	294.5	347.5	1136.6	2841.4
2	8	1	33	6	64	15	43	29	2	222.0	261.9	288.1	340.0	1112.0	2780.1
2	8	1	33	6	64	15	43	29	3	120.4	142.0	156.2	184.3	603.0	1507.4
3	8	1	33	6	64	15	43	29	1	233.1	275.0	302.6	357.0	1167.7	2919.3
3	8	1	33	6	64	15	43	29	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	8	1	33	6	64	15	43	29	3	216.9	255.9	281.5	332.2	1086.5	2716.2
1	8	2	65	12	127	30	86	58	1	198.8	254.5	279.9	358.3	1091.5	2728.8
1	8	2	65	12	127	30	86	58	2	197.2	252.4	277.6	355.3	1082.5	2706.2
1	8	2	65	12	127	30	86	58	3	218.7	279.9	307.9	394.1	1200.5	3001.2
2	8	2	65	12	127	30	86	58	1	162.4	207.9	228.7	292.7	891.6	2229.0
2	8	2	65	12	127	30	86	58	2	222.0	284.2	312.6	400.1	1218.9	3047.2
2	8	2	65	12	127	30	86	58	3	216.5	277.1	304.8	390.2	1188.7	2971.8
3	8	2	65	12	127	30	86	58	1	178.9	229.0	251.9	322.4	982.2	2455.5
3	8	2	65	12	127	30	86	58	2	195.4	250.2	275.2	352.2	1073.0	2682.5
3	8	2	65	12	127	30	86	58	3	196.9	252.1	277.3	354.9	1081.2	2703.0
1	8	3	130	24	254	60	172	116	1	243.0	281.9	310.1	359.7	1194.6	2986.6
1	8	3	130	24	254	60	172	116	2	264.0	306.2	336.9	390.8	1297.9	3244.7
1	8	3	130	24	254	60	172	116	3	269.2	312.2	343.5	398.4	1323.3	3308.3
2	8	3	130	24	254	60	172	116	1	235.6	273.2	300.6	348.7	1158.0	2895.1
2	8	3	130	24	254	60	172	116	2	261.2	303.0	333.3	386.6	1284.1	3210.1
2	8	3	130	24	254	60	172	116	3	295.5	342.8	377.1	437.4	1452.9	3632.3
3	8	3	130	24	254	60	172	116	1	153.3	177.9	195.6	226.9	753.8	1884.4
3	8	3	130	24	254	60	172	116	2	85.8	99.5	109.5	127.0	421.7	1054.3

3	8	3	130	24	254	60	172	116	3	80.1	92.9	102.2	118.5	393.6	984.0
1	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	196.8	236.2	259.8	311.7	1004.5	2511.2
1	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	213.3	256.0	281.6	337.9	1088.9	2722.3
1	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	203.8	244.6	269.0	322.8	1040.2	2600.5
2	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	212.4	254.9	280.4	336.5	1084.2	2710.5
2	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	202.8	243.3	267.6	321.2	1034.8	2587.1
2	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	212.0	254.4	279.9	335.8	1082.2	2705.5
3	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	1	186.1	223.4	245.7	294.9	950.1	2375.2
3	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	2	202.1	242.6	266.8	320.2	1031.8	2579.4
3	8	4	50	22	8.3	1.5	28.4	7.5	3	211.5	253.8	279.2	335.0	1079.5	2698.7