UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS DE GRADO

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CULTIVARES DE CAFÉ *(Coffea arabica)* TOLERANTES A LA ROYA *(Hemileia vastatrix)* EN EL MUNICIPIO DE CARANAVI

Por:

Félix Cuno Bautista

EL ALTO – BOLIVIA

JULIO, 2024

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CULTIVARES DE CAFÉ *(Coffea arabica)* TOLERANTES A LA ROYA *(Hemileia vastatrix)* EN EL MUNICIPIO DE CARANAVI

Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

Felix Cuno Bautista

Asesores:

Ph. D. M. Sc. Lic. Ing. Rogelio Maydana Apaza .....

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Windson July Martinez .....

Lic. Ing. Simón Cocarico Yana .....

M. Sc. Lic. Ing. Juan José Vicente Rojas .....

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador .....

DEDICATORIA:

Con mucho cariño a mis padres; José Cuno A. y Damiana Bautista Y.(+) por el apoyo incondicional que me dieron durante el tiempo de mis estudios.

A mi esposa; Tereza Quispe Macuaga, por brindarme su apoyo, confianza y comprensión.

A mi hijita; Jhosselyn Flordammiah, por ser mi fuente de inspiración y motivación.

AGRADECIMIENTOS

A la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto (UPEA), por acogerme en sus aulas e impartir la enseñanza durante los años de la carrera profesional.

A mi Asesor de Tesis de Grado: Ph. D. M. Sc. Lic. Ing. Rogelio Maydana Apaza, por el apoyo incondicional y paciencia otorgada durante los trabajos de investigación, en campo como en gabinete para la realización del presente documento.

A mis tribunales; Lic. Ing. Windson July Martinez, Lic. Ing. Simón Cocarico Yana, M. Sc. Juan José Vicente Rojas que con sus sugerencias me ayudaron a complementar y concluir el presente trabajo.

Al Instituto de Investigación IINEAP – UPEA" junto al equipo de investigación, por haberme dado la oportunidad de realizar la tesis, apoyándome y proporcionándome la facilidad de hacer mi trabajo de campo.

A los señores Isaac Pablo Quispe Choque, Franklin Aduviri Yana, Florinda Soliz de Condori, Andrés Uluri, Gregorio Chalco Mamani, Gregorio Quispe, Ronald Achillo, Bernardina Huiza Ancasi, Carlos Fernández Camiño e Hilarion Quispe Blanco, que me permitieron ingresar a sus parcelas de café de forma incondicional para realizar el estudio de investigación.

A mis compañeros y amigas que me acompañaron y brindaron su valiosa amistad durante estos maravillosos años de estudio.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS i

ÍNDICE DE CUADROS iv

ÍNDICE DE FIGURAS vi

ÍNDICE DE ANEXOS vii

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Antecedentes 2
1.2. Planteamiento del problema 2
1.3. Justificación 3
1.4. Objetivos 3
1.4.1. Objetivo general 3
1.4.2. Objetivos específicos 3
1.5. Hipótesis 3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. Origen y la distribución de café 4
2.2. Producción de café en Bolivia 5
2.3. Producción de café en los Yungas 6
2.4. Generalidades del café 7
2.4.1. Descripción taxonómica 7
2.4.2. Descripción morfológica 8
2.4.3. Requerimiento del cultivo 10
2.4.4. Necesidades fisiológicas 12
2.4.5. La variedad 12
2.4.6. El cultivar 15
2.4.7. Fenología del cultivo 15
2.4.8. Genética del café 16

2.5. Plagas y enfermedades del café 17
2.5.1. Plagas 17
2.5.2. Enfermedades 18
2.5.3. Roya de café 20
3. MATERIALES Y MÉTODOS 37
3.1. Localización 37
3.1.1. Ubicación geográfica 37
3.1.2. Características climáticas de la zona 38
3.1.2.1. Clima 38
3.2. Materiales 39
3.2.1. Materiales y equipos de campo 39
3.2.2. Materiales de gabinete 39
3.3. Metodología 40
3.3.1. Desarrollo del ensayo 40
3.3.2. Métodos estadísticos 41
3.3.3. Variables de estudio 43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46
4.1. Identificación de cultivares de café tolerantes a la roya de café *(Hemileia vastatrix)* 46
4.1.1. Cultivar de café CCP-COIPSA-01 46
4.1.2. Cultivar de café CLO-FAP-02 48
4.1.3. Cultivar de café CCQ-03 50
4.1.4. Cultivar de café CCQ-04 52
4.1.5. Cultivar de café CCU-06 54
4.1.6. Cultivar de café CCH-08 56
4.1.7. Cultivar de café CCH-09 58
4.1.8. Cultivar de café CCH-10 60
4.1.9. Cultivar de café CRM-11 62
4.1.10. Cultivar de café CRM-12 64
4.1.11. Cultivar de café COV-13 66
4.1.12. Cultivar de café CCAS-14 68
4.1.13. Cultivar de café CCAS-15 70
4.1.14. Cultivar de café CCAS-16 72
4.1.15. Cultivar de café CCNJ-CFC-18 74

4.1.16. Cultivar de café CCNJ-HQB-19 76
4.2. Análisis descriptivo de variables cualitativas y cuantitativas 78
4.2.1. Variables cualitativas 78
4.2.2. Variables cuantitativas 79
4.3. Tolerancia a la incidencia de la roya del café en los cultivados identificados 80
4.3.1. Análisis de Componentes Principales (similitudes) en base a los descriptores morfológicos de los cultivares. 80
4.3.2. Análisis de Componentes Principales (ACP), análisis Clúster de los cultivares de café sobre las dimensiones de ACP 81
4.3.3. Presentación del círculo de correlación y las similitudes de las variables de café 82
4.3.4. Análisis de correlación 84
4.3.5. Incidencia de la roya 85
5. CONCLUSIONES 89
6. RECOMENDACIONES 90
7. BIBLIOGRAFÍA 91
8. ANEXOS 102

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción del café en Bolivia por departamentos, provincias y localidades 6
Cuadro 2. Variedades de café que existen en los Yungas de La Paz..... 13
Cuadro 3. Fases del desarrollo de un cafeto. 15
Cuadro 4. Distribución geográfica de la roya del cafeto (Hemileia vastatrix)..... 21
Cuadro 5. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a la roya del fenotipo CSP-COIPSA-01..... 46
Cuadro 6. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades de fenotipo CLO-FAP-02. 48
Cuadro 7. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCQ-03..... 50
Cuadro 8. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCQ-04..... 52
Cuadro 9. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCU-06. 54
Cuadro 10. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-08. 56
Cuadro 11. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-09. 58
Cuadro 12. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-10. 60
Cuadro 13. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CRM-11..... 62
Cuadro 14. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CRM-12..... 64
Cuadro 15. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo COV-13. 66
Cuadro 16. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-14. 68
Cuadro 17. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-15. 70
Cuadro 18. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-16. 72

Cuadro 19. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCNJ-CFC-18. 74
Cuadro 20. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCNJ-HQB-19 76
Cuadro 21. Presentación de las variables cualitativas de los 16 cultivares de café. 78
Cuadro 22. resumen y medidas de tendencia central de variables cuantitativas 79
Cuadro 23. Variables conglomeradas..... 84
Cuadro 24. Estadística descriptiva de la variable agro morfológica cuantitativa, incidencia de la roya, evaluadas en 16 fenotipos de café (Coffea arabica) 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Superficie de los principales municipios productores de café en Caranavi Bolivia. 7

Figura 2: Incidencia promedio de roya y temperatura y precipitación promedio mensual, obtenidos de hojas de la plantación Catuai Vermelho en la Granja Experimental de la Fundación Procafé en VarginhaMG, Brasil. 28

Figura 3. Comportamiento de la roya de café en diferentes épocas del año. 29

Figura 4. Georrefenciación de las áreas de estudio elaborado con Google Earth. 37

Figura 5. Ubicación geográfica de la provincia de Caranavi. 38

Figura 6. Plano principal presentado en cuadro cuadrantes mediante las similitudes de los cultivares de café por grupos. 80

Figura 7. Dendrograma de agrupamiento jerárquico (distancia Euclides y método de Ward) de los cultivares de café con tolerancia a la Roya. 81

Figura 8. Presentación del círculo de correlación de las variables cuantitativas de café. . 82

Figura 9. Análisis de componentes principales en base a las variables cuantitativas. 83

Figura 10. Comparación de las medias de los 16 fenotipos con respecto a la incidencia de la roya en los cultivares de café. 87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos de las variables cuantitativas. 102

Anexo 2. Tabla de datos del porcentaje de incidencia de roya de los 16 cultivares de café 102

Anexo 3. Visita de socialización con los productores de café. 103

Anexo 4. Identificación de fenotipos tolerantes a la roya con el docente investigador y tesista. 103

Anexo 5. Colocado de marbetes en los diferentes fenotipos estudiados. 104

Anexo 6. Caracterización de los fenotipos identificados 105

Anexo 7. Fotos de las hojas con roya en los diferentes fenotipos identificados 106

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el municipio de Caranavi, interviniendo en nueve cantones: Calama, Illimani, Carrasco La Reserva, Entre Ríos, Chijchipani, San Lorenzo, Caranavi Rural y Taipiplaya, con el objetivo de caracterizar morfológicamente cultivares de café *(Coffea arabica)* tolerantes a la Roya del café *(Hemileia vastatrix)*. Para lo cual, se ha empleado la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, en donde se han evaluado las variables cualitativas mediante descriptores morfológicos y agronómicos, de la misma forma también se han evaluado las variables cuantitativas mediante el análisis estadístico de multivariado (Análisis de componentes principales, Análisis de Clúster). Como resultado se obtuvo que las características morfológicas de los 16 cultivares de café que mostraron mayor importancia entre los fenotipos fueron: número de bandolas o ramas, número de nudos por bandola, número flores por fascículo, número de flores por axila, ancho de la hoja y largo de la hoja, y a la vez, las mismas mostraron una mayor correlación con el número de fascículos por nudo (NFPN) y el número de flores por axila (NFA) con r = 0.92, seguida de la longitud de fruto (LF) y el número de flores por axila (NFA) con r = 0.82, seguida del número de fascículos por nudo (NFPN) con la longitud de fruto (LF) con r = 0.77, sin embargo, no se reportó alta correlación negativa, se mostraron valores por debajo del 50%. Mientras tanto, los fenotipos que mostraron mayor tolerancia a la incidencia de la roya de café fueron los cultivares CSP-COIPSA-01 con 1.6%, CCH-08 con 3.18%, CCH-10 con 5.3%, no obstante, contrariamente a los resultados mencionados, los cultivares de café que reflejaron menor tolerancia al ataque de la roya de café mostrando mayor incidencia fueron los siguientes cultivares CCAS-14, CCNJ-HQB-19 y CCAS-16 con 20.82%, 24.6% y 25.9% respectivamente. Como conclusión se debe considerar que los fenotipos con mayor tolerancia para contrarrestar el ataque en cualquier eventualidad de la roya de café son los cultivares CSP-COIPSA-01, CCH-08 y CCH-10.

Palabras clave: Caracterización, *Coffea arabica*, cultivar, tolerancia, roya, incidencia.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the municipality of Caranavi, intervening in nine cantons corresponding to the municipality, which were: Calama, Illimani, Carrasco, La Reserva, Entre Ríos, Chijchipani, San Lorenzo, Caranavi Rural and Taipiplaya, with the objective to morphologically characterize coffee cultivars (Coffea arabica) tolerant to coffee rust (Hemileia vastatrix). For this, the non-probabilistic convenience sampling technique has been used, where the qualitative variables have been evaluated through morphological and agronomic descriptors, in the same way the quantitative variables have also been evaluated through the multivariate statistical analysis (Analysis of principal components, Cluster Analysis). As a result, it was obtained that the morphological characteristics of the 16 coffee cultivars that showed the greatest importance among the phenotypes were: number of bands or branches, number of nodes per bandola, number of flowers per fascicle, number of flowers per axil, leaf width and leaf length, and at the same time, they showed a greater correlation with the number of fascicles per node (NFPN) and the number of flowers per axil (NFA) with r = 0.92, followed by fruit length (LF). and the number of flowers per axil (NFA) with only r = 0.82, followed by the number of fascicles per node (NFPN) with the fruit length (LF) with r = 0.77, however, no high negative correlation was reported, it was showed values below 50%. Meanwhile, the phenotypes that showed greater tolerance to the incidence of coffee rust were the cultivars CSP-COIPSA-01 with 1.6%, CCH-08 with 3.18%, CCH-10 with 5.3%, however, contrary to the results mentioned, the coffee cultivars that reflected lower tolerance to the attack of coffee rust showing a higher incidence were the following cultivars CCAS-14, CCNJ-HQB-19 and CCAS-16 with 20.82%, 24.6% and 25.9% respectively. In conclusion, it should be considered that the phenotypes with the greatest tolerance to counteract the attack of coffee rust in any eventuality are using the CSP-COIPSA-01, CCH-08 and CCH-10 cultivars.

Keywords: Characterization, Coffea arabica, cultivar, tolerance, rust, incidence.

1. INTRODUCCIÓN

El lugar de origen del café arábico es Etiopía, país donde se inició su cultivo. Por lo tanto, todas las variedades cultivadas en América Latina hasta mediados del siglo XX compartieron la base genética del café Typica (Anthony *et al.* 1999).

Según Jara (2017), el café es uno de los cultivos bandera de América tropical, África y algunos países del continente asiático representando una actividad con importancia económica a nivel mundial considerándose el cultivo de mayor relevancia agrícola, incidiendo notoriamente en la economía de los países en desarrollo como producto de exportación.

De acuerdo a Torres *et al.* (2020:738) “El café es uno de los productos básicos más comercializados en el mercado mundial y la bebida más consumida”. En tanto, Espinoza *et.al*. (2021:15) destaca “además de ser el sustento de 25 millones de familias a nivel mundial lo que lo ubica en el segundo lugar después del petróleo (Proyecto Café & Clima 2017)”.

El sector cafetalero boliviano desde sus orígenes se concentró principalmente en los yungas paceños, desde el siglo XVIII en la época colonial, donde las misiones franciscanas y otras órdenes introdujeron el cultivo para el consumo en el departamento de La Paz y otras regiones. El cultivo de café comienza a crecer en superficie cultivada a partir de la década de los cuarenta (Romero 2003:04).

Según Desarrollo Alternativo Integral (2006), el cultivo del café de los yungas de La Paz, se produce bajo los siguientes sistemas: 1) Tradicional, que abarca la mayoría de los cultivos (65% de la producción) sin el empleo de insumos como pesticidas y fertilizantes sintéticos; 2) Convencional (1%), con alto potencial de rendimientos y altos requerimientos de fertilización; 3) Producción orgánica (25%), cumpliendo normas nacionales e internacionales de producción certificada con enfoque de manejo sostenible de recursos naturales; 4) Cafés especiales (10%), basada en la calidad de café en taza, producción que se da en la mayoría de los casos en condiciones de altura.

La especie c*offea arabica* L., obedeciendo a su alto valor económico, se ha introducido en varios sitios donde ha permanecido por muchos años bajo condiciones que difieren ecológicamente de las que le dieron origen (Arcila *et al.* 2001).

“El café arábico oficialmente es reconocido como producto bandera por su importancia económica, ecológica, social y por ser uno de los principales productos de agroexportación,

del cual dependen más de 200 mil familias de pequeños y medianos productores" (INIA 2011:43).

1.1. Antecedentes

En Bolivia 12.000 familias de pequeños productores se dedican a la producción de café, con una superficie de 22.000 hectáreas, de las cuales 21.850 se encuentra en el departamento de La Paz, provincia de Caranavi con 17.840 hectáreas y 4.010 ha en el resto de las provincias de Nor y Sud Yungas (MDRyT 2011).

"La región de Caranavi presenta bajos rendimientos, debido a la avanzada edad de las plantaciones, perdida de fertilidad y presencia de plagas y enfermedades, siendo la más importante la roya (*Hemileia vastatrix*)" (Silva 2021).

La roya, debido a que está considerada en el ámbito mundial entre las siete enfermedades más peligrosas que atacan a las plantas tropicales, es sin duda la enfermedad más dañina del café. El daño es gradual y se localiza en las hojas, pudiendo reducir considerablemente en unos pocos años la producción de las plantaciones, si no se toman las medidas adecuadas de control (Subero 2005).

En los últimos años se han reportado 45 cepas patógenas de *Hemileia vastatrix* (roya del café), las cuales reaccionan con genes de resistencia generados por las plantas de café y aumentaron hasta un 30% en agresividad con el tiempo (Torres *et al*. 2020). Así, a lo largo de los años se ha puesto especial interés en descubrir diferentes ecotipos de café que expresen cierta tolerancia a este patógeno (Chain-Guadarrama *et al.* 2019).

1.2. Planteamiento del problema

La roya del café es una de las enfermedades que ocasiona las mayores pérdidas en los cultivos de café. En estos últimos 10 años, se ha convertido en un problema fitosanitario de alto impacto para la agricultura cuyas pérdidas en América Latina se calculan en un 30% de las cosechas, y el municipio de Caranavi del departamento de La Paz ha sido también afectado ocasionando pérdidas de sus cultivos e ingresos económicos para sus familias. Hasta la fecha no se han realizado investigaciones para identificar las plantas tolerantes a la roya del café, dentro de las parcelas establecidas, sino que solamente han plantado nuevos cultivares, pero la roya sigue atacando.

1.3. Justificación

Hoy en día la producción de café constituye la principal actividad agrícola de las familias del municipio de Caranavi y por ende constituye la mayor parte de los ingresos económicos que garantizan una mejor calidad de vida de los productores. Por otro lado, la roya del café ocasiona la caída prematura de las hojas infectadas, lo cual puede reducir el rendimiento hasta un 50%. Los síntomas corresponden a lesiones cloróticas inicialmente con la decoloración de áreas de hojas, especialmente a los márgenes, afecta a tres procesos vitales (fotosíntesis, respiración y transpiración), a mayor número de hojas enfermas mayor es el impacto negativo sobre la producción. Por tanto, es necesario identificar las plantas tolerantes a la roya del café y de esta manera apoyar al hermano productor.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Caracterizar morfológicamente cultivares de café *(Coffea arabica)* tolerantes a la Roya del café *(Hemileia vastatrix)* en diferentes localidades del municipio de Caranavi

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar cultivares de café tolerantes a la Roya del café *(Hemileia vastatrix)* en el municipio de Caranavi.
- Describir morfológicamente plantas de café tolerantes a la Roya del café *(Hemileia vastatrix)*.
- Evaluar el nivel de tolerancia de la incidencia de la Roya del café en los cultivares y parcelas del café identificados.

1.5. Hipótesis

Hi: El nivel de incidencia de la roya del café en los distintos cultivares, es diferente, al menos en una de las variedades cultivadas en las diferentes localidades del municipio de Caranavi.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen y la distribución de café

El café se originó en las tierras altas de Etiopía y Sudán. Su historia se remonta en Yemen donde se cultivaba posiblemente desde antes del Siglo XV, posteriormente se extendió por todo árabe. Por otro lado, en 1699 los holandeses lograron transportar el café y empezar a cultivar en Malabar e Indonesia, convirtiéndose en la principal fuente del rubro en Europa. Mientras tanto, en América, se empezó a cultivar el café en el decenio de 1720, su llegada a América Central se remonta en el año 1825 y, así sucesivamente se expande por el resto del mundo (Montalvo y Villalva 2017). Además "su origen en tierras altas de Etiopía y Sudan, se habría descubierto en las altitudes de 1.000 m.s.n.m. (África)" (ICAFE-MAG 1989).

"Corroborando con algunos estudiosos sobre café, indican África tropical, y los posibles países en donde se habría originado, como: Etiopía, Sudán, Kenia, Guinea o Mozambique, aunque el más aceptado es Etiopia" (Arvy *et al*. 2007:77).

Se cree que en torno al siglo XV fue introducido en otras regiones como Arabia, Yemen y Egipto, donde empezó a adquirir fama y valor. Pero, en 1690 comenzó a cultivarse en la Isla de Java (Indonesia) y a partir de ese momento su cultivo empezó a expandirse por América, llegando posteriormente hasta la India y Sri Lanka (Small 2009, Arvy *et al.* 2007).

Por otro lado, Herrera y Cortina (2013), hacen mención la historia del café como planta y como bebida está muy ligada a la historia de los grandes imperios y mercaderes; primero, representados por los árabes, luego por los turcos en el siglo XV, y finalmente por los colonizadores europeos a partir del siglo XVIII.

Complementando sobre el tema, De la Cruz (2015), hace alusión que el café es originario de Etiopía, a pesar que para su descubrimiento existen varias teorías, pero dos son las más relevantes: la primera manifiesta que el café fue descubierto por un pastor que fue a ver sus cabras y se ponían nerviosas e intranquilas después que habían comido el fruto de esta planta

"En América y en otros países de mundo, el café es uno de los cultivos de mayor importancia, tales como: Colombia, Brasil, El Salvador, Nicaragua, y muchos otros" (IICA, PROMECAFE 1997). Las principales áreas de cultivo del café son: Brasil, Colombia, México, Etiopia, El Salvador, Costa Rica, Honduras, Indonesia, Guatemala, Costa de Marfil, Angola, Jamaica, Uganda, India, Filipinas, Camerún, Angola, Camboya y China, aunque el café se cultiva principalmente en los trópicos americanos, donde Brasil es con diferencia el

mayor productor. Sus exportaciones suelen ser por lo general de tipo duro. Los cafés suaves son exportados por casi todos los países americanos, aunque el de Colombia sea tal vez el más importante. También se exportan buenos cafés desde algunos países centroamericanos como Costa Rica, Jamaica y El Salvador. Respecto al Viejo Mundo, el mayor exportador es actualmente Vietnam, pero cafés como los de Kenia y los de Mysore en la India, son los que gozan de mejor reputación (Jiménez 2014).

2.2. Producción de café en Bolivia

Con base en Flores (2009) destaca que la producción de café en Bolivia en la gestión 2004, logró alcanzar hasta 24.500 toneladas métricas en cereza, para los cual, se ha empleado una superficie cerca de 25.200 hectáreas, de los cuales el 30% fue al mercado nacional y el 70% destinado a mercados extranjeros concentradas en cuatro países: Alemania, Estados Unidos, Rusia y los Países Bajos.

Bolivia tiene una tradición en la producción de café y por sus características tiene una oferta única; el mayor productor es el departamento de La Paz, concentrándose la producción en la región yungueña con el 95% de la superficie cultivada. El café está catalogado como estimulante, su consumo a nivel nacional es relativamente bajo y se estima que es menor al 25% del total de la producción nacional, por lo tanto, algo más del 75% de la producción de café está destinada a la exportación a mercados europeos, americano y asiático (MDRyT 2016.)

Es importante destacar la producción de café en el país, se realiza en diferentes departamentos, según el IBCE (2007), el principal productor es La Paz, concretamente la zona de los Yungas se constituye en el centro cafetalero del país. En las provincias de Caranavi, Nor y Sud Yungas, Larecaja, Franz Tamayo, Inquisivi y Murillo se cultiva el 95% de la producción nacional y el restante 5% se distribuye entre cinco Departamentos: Santa Cruz (2,5 %), Trópico de Cochabamba (1), Tarija (0,5%), Beni (0,4 %) y Pando (0,1 %).

Complementando la anterior referencia por parte del IBCE (2007), resalta la institución Desarrollo Alternativo Integral (2006), la superficie cultivada en Bolivia asciende a 23.000 hectáreas, donde trabajan alrededor de 20.000 familias de manera directa y alrededor de 12.000 familias de manera indirecta, con una producción aproximada de 100.000 sacos de 60 kg., de los cuales casi un 30% es destinado al mercado nacional y el 70% a mercados extranjeros. La producción está distribuida en los siguientes Departamentos, a continuación, se presenta en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Producción del café en Bolivia por departamentos, provincias y localidades

Departamento	Provincia	Localidad
La Paz (95%)	Caranavi	Caranavi
	Nor Yungas	Coroico, Coripata
	Sud Yungas	Asunta, Chulumani, Irupana
	Franz Tamayo	Apolo
	Inquisivi	Circuata, Licoma, Cajuata
	Larecaja	Larecaja
Santa Cruz (3%)	Ichilo	Buena Vista
	San Ignacio de Velasco	San Ignacio de Velasco
	Sara	Sara
Cochabamba (1%)	Chapare	Chapare
Tarija (0.5%)	Arce	Bermejo
Beni (0.5%)	Vaca Diez	Vaca Diez

Fuente: Tomado de Desarrollo Alternativo Integral (2006).

Según López (2003) las especies y variedades del café que se cultivan en Bolivia son: la especie "*arabica*" y las variedades son: típica o criolla con 80%, con el resto de las variedades que hace el 20% son: Caturra, Catuai, Catimor, Cavimor y Mundo Novo.

En tanto, Cuba (2007) considera que la especie *Coffea arabica* conocida como variedad typica o nacional, y en los yungas como variedad criolla, es más importante en términos económicos, siendo apreciado por su calidad superior en aroma y sabor.

2.3. Producción de café en los Yungas

Según Barrientos (2000), la explotación de café en los Yungas es difícil y de bajos rendimientos, por las condiciones de topografía muy accidentada el presenta el lugar, la fertilidad de los suelos y el sistema de manejo por parte de los agricultores en mayoría de los casos es precaria, situaciones que han impedido el desarrollo de una caficultura más rentable y tecnificada como la que se tiene en otros países productores.

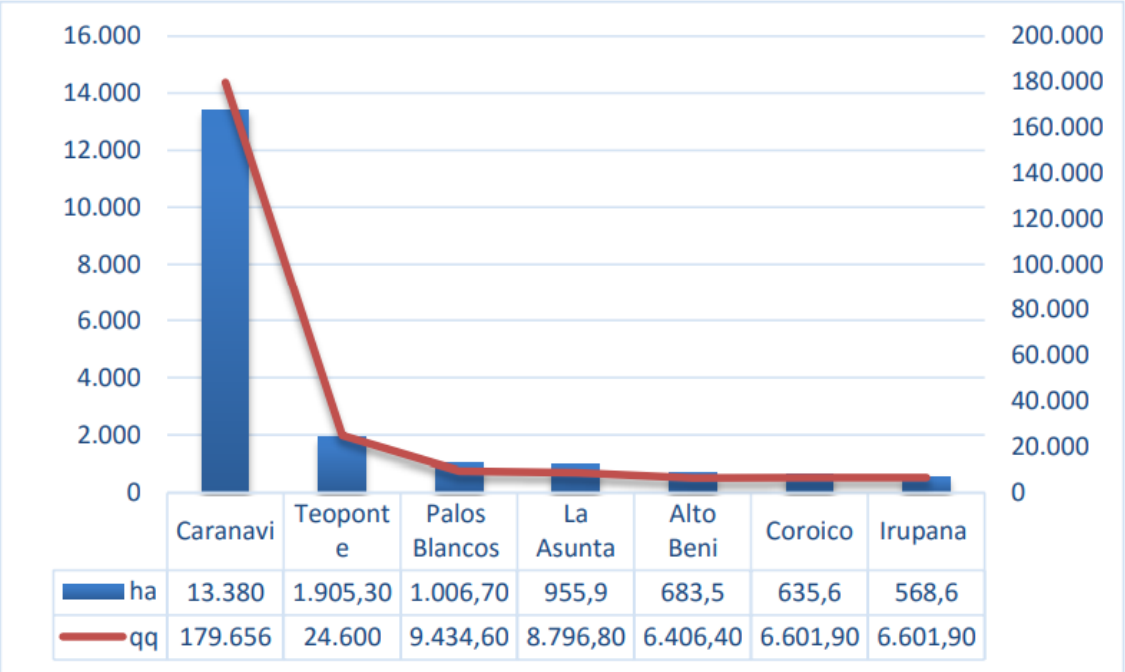


Figura 1. Superficie de los principales municipios productores de café en Caranavi Bolivia.

Fuente: Tomado del INE (2017).

Al cumplir 29 años de creación, Caranavi denominada capital cafetalera de Bolivia, registró una superficie cultivada de 13.380 hectáreas de café y una producción de 179.956 quíntales, según datos del censo agropecuario 2013, el municipio capital del mismo nombre se encuentra en la región de los yungas de La Paz, informa el Instituto Nacional de Estadística (INE 2017).

2.4. Generalidades del café

2.4.1. Descripción taxonómica

Según Alvarado y Rojas (2007) el café es una planta arbustiva perenne que se da en el trópico del planeta, la taxonomía del cafeto puede considerarse de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rubiales

Familia: *Rubiaceae*

Género: *Coffea*

Especie: *Coffea arabica*

2.4.2. Descripción morfológica

2.4.2.1. La raíz.

La raíz principal de la planta, es pivotante a menudo múltiple, extendiéndose de 45 a 60 cm de profundidad, tiene 4 a 8 axilas que crecen verticalmente hacia abajo hasta 2 a 3 m de profundidad, originadas lateralmente o de la bifurcación de la raíz principal, también presenta raíz superficial que crecen paralelas a la superficie del suelo de 1 a 9 metros a partir del tronco, ramificándose en un plano horizontal o uniformemente en todas las direcciones del suelo (CENICAFE 1988, Barrientos 2000).

2.4.2.2. El tallo

La planta normalmente presenta un solo tallo y bien definido, a pesar que en ciertas ocasiones presenta tallos múltiples, el café es un pequeño árbol de unos 4 a 12 m de alto, caracterizado por el dimorfismo de ejes que consiste de un eje vertical u ortotrópico del que salen ramas laterales o plagiotrópicas, el tallo forma nudos y entrenudos de los primeros 9 a 11 nudos, aparecen ramas laterales con hojas opuestas y en cada una hay de 1 a 2 estipulas, a partir generalmente del doceavo par de hojas aparecen yemas vegetativas en las axilas, donde se desarrollan ramas laterales secundarias adquiriendo la planta forma piramidal (CENICAFE 1988, IICA 1989, León 1999, Barrientos 2000).

También, sostiene Matiello *et al*. (2010) que el café es una planta arbustiva, de tallo leñoso, lignificado, recto y casi cilíndrico. Sus ramas son dimórficos, caracterizándose por la formación de ramas ortotrópicas y plagiotrópicas. Las ramas ortótropicas crecen verticalmente y originan las plagiotrópicas, que a su vez crecen horizontalmente y son responsables de la producción de la planta.

Por otro lado, algunos autores señalan que el tallo de café, normalmente es unicaule o de un solo tallo bien definido, aunque en ciertas ocasiones presenta tallos múltiples, el cafeto es un pequeño árbol de unos 4 a 12 m de alto caracterizado por el dimorfismo de ejes que consiste de un eje vertical u ortótropo del que salen ramas laterales o plagiotropas, el tallo forma nudos y entrenudos de los primeros 9 a 11 nudos, aparecen ramas laterales con hojas opuestas y en cada una hay de 1 a 2 estipulas, a partir y generalmente del doceavo para yemas vegetativas en las axilas, donde se desarrollan ramas laterales secundarias adquiriendo la planta forma piramidal (León 1999)

2.4.2.2. Las hojas

Las primeras hojas que se forman en el cafeto son los cotiledones de 9 a 11 hojas que se forman a continuación son elípticas, lanceoladas y obovada de superficie ondulada, las que nacen en las ramas primarias, secundarias y terciarias, aparecen en un mismo plano o pares opuestos, cada una con dos estipulas agudas, la lámina foliar mide a veces de 12 a 24 cm de longitud y de 5 a 12 cm de ancho (CENICAFE 1988, IICA 1989, Barrientos 2000).

Por otra parte, Cuba (2006) considera que las hojas son opuestas, su forma es generalmente elíptica, de peciolo corto, coriáceas, verde brillante en el haz, algo más pálidas en el envés y con nervaduras salientes. El color y tamaño varía según las especies, los bordes son ondulados, están rodeadas por dos estípulas agudas que crecen en los nudos del tallo ortotrópico y plagiotrópico; presentan dormancias que sirven para diferencias taxonómicas, son las encargadas de la fotosíntesis y la respiración.

2.4.2.3. Las flores

Las flores se desarrollan en las axilas de las hojas sobre glomérulos (tallo corto) en grupos de 3 a 5 flores, originalmente colocadas en línea recta entre la rama y la hoja, la flor del cafeto tiene de base un receptáculo carnoso, el cáliz consiste de cinco dientes finos e irregulares a manera de un reborde verde y continuo, la corola tubular en la base se abre arriba en cinco pétalos, con cinco estambres insertos en el tubo de la corola localizados en las uniones de los pétalos y en posición continua, de ovario ínfero con 2 óvulos con estigma bífido, la flor se abre por la mañana y tiene una vida efímera comúnmente de solo 24 horas, a cuyo término se seca la corola y se desprende (CENICAFE 1988, IICA 1989, Barrientos 2000).

2.4.2.4. El fruto.

El fruto del café es una drupa esférica y carnosa, comúnmente llamada cereza, de forma subglobosa, de color rojo o amarillo a la madurez y que alcanza según las variedades de 8 a 15 mm de largo, cada fruto está constituido por un epicarpio rojo o amarillo, un mesocarpio carnudo de color blanco amarillento (pulpa), el endocarpio o pergamino y 2 semillas (granos) reunidos por su faz plana pardo verdoso, cada grano está protegido por dos envolturas, la primera o endocarpio que es delgada y de textura esclerosa (pergamino), la segunda el perisperma o tegumento seminal que es una tela finísima o película plateada a veces adherida al grano (CENICAFE 1988, IICA 1989, Barrientos 2000).

“Los frutos del café presentan distintos estados después de 7 a 8 meses de iniciado el periodo de floración recién termina la fase de maduración” (Figueroa 1996:323).

2.4.2.5. La semilla.

La semilla de café está constituida por el endospermo y el embrión, es coriáceo de color verdoso y amarillento, las células contienen almidón, aceites, azucares, alcaloides como cafeína y otras substancias, sin embargo, el embrión es de 2 a 5 mm de largo, el contenido promedio de cafeína es de 1.015 % de aceites y grasas de 10.55 % es el factor determinante del aroma y sólidos solubles compuesto por hidratos de carbono y proteínas en un 28.6 % (Barrientos 2000, Coste 1998).

2.4.3. Requerimiento del cultivo

En los puntos siguientes se detalla los requerimientos climáticos para el cultivo de café, mismo que son necesarios para alcanzar una importante cosecha del mismo, para ello, se hace una descripción de cada elemento necesario.

2.4.3.1. Requerimientos climáticos

Tomando en cuenta la propuesta de Zamorano (1984) quien considera ciertos elementos de interés para lograr obtener importantes resultados en la cosecha del café.

a) Temperatura

La temperatura adecuada para la plantación del café está entre 12 a 33 ºC. Algunos estudios muestran que las hojas de café fotosintetizan mucho menos cuando están expuestas directamente al sol, por lo que se utiliza la sombra en alrededor del 98% de las áreas plantadas.

b) Luminosidad

Se provee sombra al café por medio de árboles, en especial en asociación con banano, ya que la planta es muy sensible a la luz y reduce su fotosíntesis y por ende su capacidad de producción al estar expuesta directamente al sol.

c) Precipitación

Estudios han concluido en que la precipitación ideal para el cultivo del café es entre 1600 y 1800 mm al año, ya que al excederse excesivamente se reduce la productividad.

d) Viento

El viento tiende a desecar a las plantas de café, por lo que se recomienda la utilización de barreras rompevientos para evitar el daño al cultivo, que puede darse en las hojas y en las ramas, esto principalmente para que el viento no afecte luego a la producción y al rendimiento.

2.4.3.2. Requerimientos edáficos

La Asociación Nacional del Café (1998), detalla los siguientes requerimientos edáficos para este cultivo:

a) Fertilidad

Los suelos para el cultivo de café deben ser de fertilidad media a alta, pero más importante aún es el equilibrio entre los elementos de magnesio/potasio, calcio/magnesio y calcio/potasio. También son importantes la textura del suelo y los tipos de minerales presentes, ya que influye directamente en la capacidad de fijación de fósforo y de esto dependerá la producción del café.

b) Materia orgánica

Los cafetales que se cultivan bajo sombra presentan cantidades de materia orgánica comparable con la de un bosque caducifolio. Las mismas favorecen al reciclaje de los nutrimentos, crecimiento de raíces y reducción de nemátodos en el suelo.

c) Potencial de hidrogeniones (pH)

Los suelos preferidos para el establecimiento de plantaciones de café son suelos ligeramente ácidos, con pH entre 5 y 6. Con suelos que poseen pH inferiores a 5 se puede cultivar adecuadamente el café, siempre y cuando la estructura del suelo sea buena. Se suele aplicar bases a los suelos ácidos, principalmente utilizando o mezclando con calcio.

Para el café, el pH óptimo del suelo varía de 5.5 a 6.5. Cuando es menor de 5.5, se debe evaluar los contenidos de manganeso (Mn) y de aluminio (Al), entre otros nutrientes. Si el nivel de estos elementos es alto, provoca toxicidad en la planta. Además, afecta la población y las actividades de los microorganismos en la mineralización de la materia orgánica (CENICAFE 2016).

Según Sadeghian (2016), el pH óptimo para el Café es 5,5 por debajo o encima de este valor se presenta problema en el crecimiento radicular y esto disminuye la fito-extración de nutrimentos.

2.4.4. Necesidades fisiológicas

Los cafetales pueden lograr una alta producción y mejores rendimientos si se aplica un control fitosanitario eficiente e incorporan fertilizantes en el momento adecuado, en las condiciones fenológicas adecuadas y en las dosis requeridas para lograr un buen desarrollo y crecimiento del cultivo, ayudando a la prevención a corto plazo de la susceptibilidad a las plagas y enfermedades del café (Poveda 2020).

Para el mismo autor Poveda (2020) la fase fenológica del crecimiento vegetativo y reproductivo del café es una respuesta a los estímulos ambientales, especialmente la distribución de las lluvias del año. Como respuesta a la distribución de periodos secos y húmedos en el área cafetalera, la distribución de la cosecha se da en diferentes regiones de la zona cafetalera, es decir, en una misma planta se pueden encontrar nudos, hojas, estructura floral y formación de frutos en diferentes etapas de desarrollo.

2.4.5. La variedad

La variedad se define como una población de plantas mejoradas genéticamente para comercialización por parte de un obtentor quien descubrió y luego desarrolló con caracteres que la hacen reconocible e identificable al menos genéticamente, a pesar de la que híbrida libremente con otras poblaciones de la misma especie ya sean silvestres o cultivadas.

“Una variedad es genéticamente distinta a cualquier otra conocida a la vez homogénea entre sus propios especímenes” (INC. Código Internacional de la Nomenclatura Botánica 2016:37).

2.4.5.1. Variedades de café

En la actualidad a nivel mundial el 99% de café proviene de la especie *arabica* y *robusta*. Las diferencias entre ambas especies son abismales y se debe a un componente muy conocido, la cafeína. El café *robusta*, tienen mayor cafeína por lo que los vuelven más resistentes a plagas, además, tiene un sabor más intenso, amargo y menos aromático.

Sin embargo, la especie *arabica*, contiene menos cafeína, lo que los hace susceptibles a plagas y se adaptan mejor en la altura, porque son delicados, dulces y aromáticos. Dentro de ambas familias (*robusta* y *arabica*), existen gran cantidad de variedades, pero por ahora, solo vamos a concentrarnos en los cafés *arabica*, (Chambi 2021). Saber con certeza la cantidad de variedades que hay es complicado. Esto se debe a que su árbol genealógico está en constante evolución, todos los años se encuentran y/o desaparecen nuevas

variedades y cultivares. En cambio, la diferencia con el cultivar radica en que es el resultado de programas de mejoramiento, donde a través de un cruzamiento entre diferentes variedades da como resultado semillas diferentes con el fin de buscar mayor productividad o más resistencia a plagas y enfermedades.

Según Velásquez (2019) en latinoamérica, las variedades tradicionales de *arabica*, provienen de semillas de unas pocas plantas del centro de origen en Etiopía. Estas variedades son Típica y Bourbón, quienes han dado origen a otras por medio de mutaciones naturales o por cruzamientos espontáneos e inducidos, como el Caturra, Mundo Novo, Catuaí, Pache, Villa Sarchí, Pacas, Maragogipe, etc.

“Esta situación explica la estrecha base genética de todas ellas, característica que no les permite tener tolerancia a ciertas plagas o resistencia a ciertas enfermedades, incluida la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*)”. (Velásquez 2019:03).

Cuadro 2. Variedades de café que existen en los Yungas de La Paz

Especies / Variedades	Características
Especie arabica variedad Typica (criolla)	Agradable, exquisito sabor acentuado, acidez, demasiado aroma y leve cuerpo. Alta calidad. Punto de referencia para comparación de calidad de otras variedades. 1% de cafeína.
Variedad Bourbon	Buen sabor, buena acidez, leve aroma, abundante cuerpo, 1% de cafeína buena calidad.
Variedad Mondo Novo	Aroma leve notorio cuerpo, acidez leve y ligeramente suave, buena calidad.
Variedad Caturra	Leve aroma, poca acidez y notorio cuerpo, buena calidad.
Variedad Catuai (rojo, amarillo)	Tueste bueno, uniforme, leve aroma, buena acidez y poco cuerpo.

Fuente: Tomado de MDRAyMA (2008).

a) Criollo o Typica

La variedad Typica, se caracterizaba por la excelente calidad del grano y una maduración uniforme, la baja densidad de siembra exigía sustituirlo por un cafeto de mayor producción.

El mejoramiento genético se completó con el aumento en la densidad de siembra por unidad y un mayor uso de fertilizantes, abonos y suplementos para combatir plagas y enfermedades. (MDRAyMA 2008).

También se llama arábigo, pajarito o nacional según plantea Cuba (2006), también destaca que en los yungas como variedad criolla, es la más importante en los términos económicos, especialmente para el continente americano; su producto es de calidad superior en aroma y sabor, por lo tanto, es la más apreciado en todo el mundo. El gen distintivo de la variedad Typica es “T”, que expresa el color de las guías terminales, las mismas que cambian a medida que las hojas maduran, hasta adquirir el color verde definitivo. La planta es de porte alto (denominado de porte normal) el tronco es flexible, las ramas tienen ángulo abierto, poca ramificación secundaria, hojas elípticas y frutos rojos. El grano o semilla es algo más alargado que de las otras variedades, es susceptible a la roya, Se siembran hasta 2.500 árboles por hectárea.

b) Caturra

Según sostiene Mejia *et al.* (2001) esta variedad es una mutación del Barbón en el estado Minas Gerais en Brasil. Es una planta de porte bajo, con tronco grueso y poco ramificado e inflexible. Posee entrenudos muy cortos en las ramas y en el tallo lo que lo hacen un alto productor. Sus hojas son grandes, de borde ondulado, anchas, redondeadas, gruesas y de color verde oscuro. Las hojas nuevas son de color verde claro.

Por otra parte, Soliebe (2005) considera que es un arbusto de un aspecto general compacto y de mucho vigor. Las ramas laterales forman un ángulo bien cerrado con el tronco. Su sistema radical está bien desarrollado lo que le permite adaptarse a diferentes condiciones. Es una variedad muy precoz y de alta producción por lo que requiere un manejo adecuado. El rendimiento del grano fluctúa alrededor de las 4.25 libras. La calidad de la bebida es buena.

c) Catuai rojo

Es originaria de Brasil, es un cruce artificial entre la variedad Caturra y la Mundo Novo en Sao Paulo, Brasil. Es una variedad de porte bajo y alta producción. 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 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 (Cuba 2006). Fue introducida en los años 70, pero antes de liberarla, se inició un proceso de evaluación y selección, obteniéndose muy buenos resultados en adaptabilidad, rendimiento y calidad de bebida (Fischersworring 2001).

Según Calani (2002) las características principales son:

- Planta vigorosa de corte bajo, menos compacta y más alta que la variedad.
- Laterales largos y entrenudos cortos, con abundante ramificación y tendencia a la formación de crinolinas (palmillas), con hojas ligeramente redondeadas y brillantes, brotes y hojas de color verde.
- Alta capacidad productiva, con fruto de color rojo de excelente calidad de bebida.
- Las condiciones óptimas de altitud para su cultivo van desde 600 a 1000 msnm, su rendimiento varía de 40 a 60 quintales.

2.4.6. El cultivar

El Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas (2016), menciona que el cultivar es un subgrupo de plantas cultivadas que es distintivo, uniforme y estable en sus caracteres seleccionados y además registrado internacionalmente en el listado conforme a las reglas para ser legal. Entre las númerosas cultivares de *Coffea arabica* L. se ha presentado especial atención a aquellas de alta calidad y productividad, sin embargo, en las últimas tres décadas, la caficultura también ha venido considerando como característica importante la resistencia a enfermedades como la roya amarilla del cafeto (*Hemilea vastatrix*) a la cual la variedad Typica no es resistente (Soliebe 2005).

2.4.7. Fenología del cultivo

La fenología del cultivo define las diferentes etapas de desarrollo (Cuadro 3) que presentan durante el ciclo de vida de una planta con relación a las condiciones ambientales. En el café se pueden identificar dos: el período juvenil y la fase adulta, siendo ambos con crecimiento vegetativo continuo (Rodríguez *et al*. 2009).

Cuadro 3. Fases del desarrollo de un cafeto.

Etapa	Fase	Duración
Semillero	Germinación, soldadito, mariposa	De 50 a 60 días, de 65 a 70 días y de 85 a 95 días
Vivero	Trasplante de plántulas en la fase de mariposa hasta obtener plantones con tres o más cruces	1 año

Plantación reproductiva	Trasplante de plantones al lugar definitivo	2 años
	Crecimiento acelerado	Hasta los 6 años
	Crecimiento menor	Después de los 6 años
	Máximo crecimiento vegetativo anual	De marzo a septiembre
	Mínimo crecimiento vegetativo anual	De octubre a febrero
	Crecimiento foliar (hojas) máximo	De marzo a junio
	Crecimiento foliar mínimo	De junio a noviembre
	Floración	De mayo a junio
	Crecimiento del fruto	De junio a octubre
	Cosecha	De noviembre a marzo

Fuente: Adaptado de "Paquete tecnológico para el cultivo del café orgánico en el estado de Colima" de Rodríguez, C., Munro, D., y Hugo, V., 2009, Colima, Cefcafé. 58 p.

2.4.8. Genética del café

Según el número cromosómico el género *Coffea* se divide en dos grupos, el grupo grande de las especies diploides (2n=22 cromosomas) conformado por *C*. *canephora*, *C*. *liberica, C*. *stenophyla*, *C*. *racemosa,* entre otros y el grupo de los tetraploides (2n=4x=44 cromosomas) conformado por *C*. *arabica.* Esta última es una especie alotetraploide producto de una cruza interespecífica natural entre dos especies diferentes con un número básico de cromosomas x=11 (Cárdenas 2007a), además el genoma del cloroplasto del café es una molécula de ADN circular, con una estructura típica de cuatro partes como la mayoría de los cromosomas de cloroplastos de plantas terrestres (Samson *et al.* 2007).

Esta estrecha base genética también puede ser atribuida a su origen reciente, más de un millón de años, a su evolución y reproducción por semillas producto de la autofecundación (Anthony *et al*. 1999). Pero en América Latina, la estrecha base genética de los cultivares actuales se debe a la historia particular de su diseminación a partir de problemas de establecimiento de cafetos en países transitorios fríos como Holanda y Francia conllevando a una reducción enorme de la variabilidad original (Cárdenas 2007).

Según León (2000), las principales fuentes de variación natural son las mutaciones y las hibridaciones intra e interespecíficas, estas últimas cumplen un papel preponderante para la recombinación de genes de resistencia a enfermedades, como *Hemileia vastatrix*, debido a la coevolución patógeno-hospedante en ambientes naturales.

Dado este contexto, los materiales silvestres y semi-silvestres constituyen importantes fuentes de diversidad genética del café, principalmente para América Latina (Cárdenas 2007).

2.5. Plagas y enfermedades del café

Según Silveira y Dionei (2008), dentro el concepto moderno, considera un insecto plaga si en el corto espacio de tiempo es capaz de multiplicarse rápidamente y alcanzar un nivel poblacional que causa daños económicos a los cultivos; de esa forma, se clasifican en plagas claves y plagas ocasionales.

Las enfermedades pueden ser definidas como el efecto dañino causado por la presencia de virus, bacterias u hongos en el interior o en la superficie de las plantas También se da el caso en el que no son producidas por organismos vivos, sino originados por la trasmisión de contaminadas y toxinas a través del aire. Otras enfermedades son provocadas por desbalances nutricionales debido a la falta de nutrientes y proteínas en el suelo (Rodríguez 2015).

Conviene indicar que el uso de productos químicos en los controles fitosanitarios rompe el equilibrio biológico del medio ambiente. Existen microorganismos e insectos benéficos que contribuyen al control natural, procurando hacer un uso mínimo de productos químicos (Sayago 1999).

2.5.1. Plagas

2.5.1.1. Cochinillas *(Coccus viridis)*

La escama verde *(Coccus viridis)* aparece en algunas plantas después del trasplante, generalmente acompañada de fumagina y hormigas. Una de las formas de poder controlarlos es quitando las hojas y limpiando las ramas con un paño áspero (Cuba 2006).

En tanto, considera la ICAFE (2011) que las escamas pueden debilitar las plantas, e incluso pueden causar la muerte, mediante la succión de savia, inyección de toxinas y por la excreción de miel de rocío, que sirve como sustrato para el establecimiento y desarrollo de fumaginas.

2.5.1.2. Minador de hoja *(Leucoptera coffeella)*

Son larvas de mariposa, se alimentan internamente de hojas, formando manchas irregulares características de la plaga, las manchas viejas presentan separación de la epidermis superior y la inferior, al separarlas se puede observar las larvas de la mariposa.

Una vez crecidas llegan a formar capullos en forma de tela de araña, que dura más o menos dos semanas, para luego pasar al estado de crisálida y emerger como adulto de mariposa (Cuba 2006).

Según Cuba (2017), otra plaga es el lepidóptero minador de hoja *Leucoptera coffeella*, que se comen las hojas internamente en estado larval, formando manchas irregulares características de la plaga, cuando el ataque es intenso perjudica a la producción y a la fotosíntesis, no existiendo variedades resistentes a esta plaga

“En la época seca, los adultos son mariposas blancas, atacan también al café” (Castañeda 2000:11).

“(…) son mariposas nocturnas, que ovipositan sobre las hojas, emergiendo las larvas a la semana (Jatún Sach’a 2009:28).

2.5.1.3. La broca del café

La broca del café ocasiona daños directos (caída de las cerezas lechosas, pérdida de peso en granos maduros, pérdidas de hasta la cuarta parte de la producción por alimentación) e indirectos en el fruto (pudrición y apertura que facilita el ingreso de enfermedades) (Fischersworring y Robkam 2001).

“Es una plaga que corresponde a la orden coleóptera, familia *Scolytidae*, del tamaño de la cabeza de un alfiler y muy similar al gorgojo, con coloración negra en su estado adulto” (Guharay *et al.* 2000:265).

“La broca es un escolítido muy pequeño de forma abultada, variando su tamaño y altura entre las hembras y los machos” (Bustillo *et al.* 1998:134).

Es una plaga exclusiva del café (no posee hospedantes alternantes). Entra perforando los frutos por la cicatriz de la corola (en frutos preferentemente maduros). Una vez dentro pone huevos, que eclosionan y se desarrollan. Las hembras, después de fecundadas, son las que abandonan el fruto infestado (caminando y volando) (Colonia 2012).

2.5.2. Enfermedades

Según Rogg (2000), las enfermedades más importantes del café en Bolivia son:

- Pudrición del cuello (*Rhysoctonia solani*)
- Antracnosis (*Colletrichum* spp.)
- Mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*)

- Ojo de gallo (*Mycena citricolor*)
- Roya de café (*Hemileia vastatrix*)

2.5.2.1. Mancha del hierro *(Cercospora coffeicola)*

Conocida también como cercosporiosis Ataca desde el vivero hasta cafetales adultos, especialmente cuando el suelo tiene poca materia orgánica. Se inicia con pequeñas manchas circulares de color marrón rojizo en las hojas y a medida que crecen el centro se hace gris, rodeado de un aro rojizo. En los frutos la pulpa se pega a la semilla y provoca la mancha en el café pergamino (Jatun Sach'a 2009).

De acuerdo con Cuba (2006), mancha de hierro, es una enfermedad muy común por deficiencia de nutrientes, causando defoliaciones que retardan su crecimiento, atacan los frutos próximos a la maduración especialmente en las partes más expuestas al sol.

Castañeda (2000), al respecto menciona que afecta a plantas mal nutridas.

2.5.2.2. Antracnosis *(Colletotrichum* sp.*)*

Esta enfermedad afecta hojas, ramas, flores y frutos y puede provocar defoliación y muerte regresiva de las ramas, lo que puede conllevar a la muerte de toda la planta o reducir significativamente su capacidad productiva. Su principal forma de reproducción, son las estructuras llamadas conidias (Gil 2001).

El hongo que causa la antracnosis (*Colletotrichum* sp.) produce sus estructuras de reproducción llamados conidios, que son las encargadas de iniciar el ciclo de la enfermedad. La antracnosis es conocida como una enfermedad policícilica, porque en una sola temporada del cultivo, se repiten en varios ciclos la enfermedad (AGROPEDIA 2018).

Mientras tanto, según FUNICA (2010) el hongo es diseminado a cortas distancias por salpique de lluvia o a través de los trabajadores cuando realizan prácticas en el campo, y a largas distancias por medio de plántulas.

2.5.2.3. Ojo de gallo (*Mycena citricolor)*

"Las gemas o cabecitas del ojo de gallo, son pequeñas estructuras de color amarillo en forma de alfiler, que le permiten al patógeno diseminarse" (Wang y Avelino 1999; Rivillas 2006:243).

"*Agente causal: Mycena citricolor*, se presenta en hojas, ramas, tallos y frutos, causando defoliaciones y caida de frutos" (Colonia 2012, Wang, Avelino 1999).

CICAFE (2015), manifiesta que el ojo de gallo es un mal causado por el hongo *Mycena citricolor* y se presenta en áreas de frecuente niebla y lluvia. La enfermedad causa una reducción en la cosecha de café, pues hace que la planta pierda sus hojas.

Otras características importantes de este hongo son la capacidad de sobrevivir en tejidos muertos y la facultad de mantenerse inactivo durante los meses de verano. El principal daño que ocasiona el ojo de gallo en las plantaciones de café es la defoliación, la cual disminuye considerablemente el área fotosintética de las plantas (López 2001)

2.5.3. Roya de café

2.5.3.1. Origen y distribución

La roya anaranjada del cafeto fue reportada formalmente por primera vez a principios de 1869 en una plantación de la isla asiática de Ceilán, hoy Sri Lanka. En ese mismo año, el micólogo británico Berkeley describió y nombró al hongo, responsable de la enfermedad, como *Hemileia vastatrix*. La repentina aparición de la enfermedad y su rápida expansión en una región tan alejada de los centros de origen y de diversificación del cafeto, localizados en África central y África oriental, desató una gran polémica sobre el origen de ésta ya que lo esperado hubiera sido que el hongo se detectara primero en África, pues los centros de origen de un hospedero y sus patógenos suelen coincidir (Leppik 1970).

La coexistencia entre una planta y un hongo conduce normalmente a una coevolución de ambos, la cual se traduce por la expresión de una gran variabilidad genética en cuanto a la resistencia de la planta hacia el hongo y en cuanto a la virulencia del hongo hacia la planta (Avelino *et al*. 1999; Avelino y Rivas 2013). Por ello, la hipótesis más verosímil es que la roya anaranjada fue introducida a Ceilán desde África del Este, en forma accidental a través de plantas infectadas (Butler 1918), siguiendo la expansión imperial británica, la cual facilitó el movimiento de personas y bienes, y por consiguiente de plantas y sus patógenos. Al llegar a Ceilán, la enfermedad encontró condiciones propicias para su desarrollo, tanto de clima como de sistema de cultivo. La isla está, en efecto, bajo el régimen de lluvias monzónicas, lluvias abundantes que favorecen varios procesos de la enfermedad. Los colonos europeos habían establecido plantaciones homogéneas con materiales susceptibles, a pleno sol, propiciando altas producciones, otro factor que favorece la enfermedad. Finalmente, pocas opciones de control químico estaban disponibles en esa época, ya que las propiedades fungicidas del caldo Bordelés no fueron documentados sino hasta 1885, o sea 16 años después del primer reporte de la roya anaranjada en Ceilán (Avelino *et al*. 1999; Avelino y Rivas 2013).

La gran resistencia del cafeto hacia la roya anaranjada observada especialmente en los cafetales silvestres de Etiopía demuestra que el origen de la enfermedad fue efectivamente en África (Avelino *et al*. 1999, Avelino y Rivas 2013). Por ello, el primer reporte sobre el hongo pudo haber sido hecho antes del famoso capítulo de Ceilán, en 1861 por un explorador británico, el cual notó la enfermedad sobre cafetos que se encontraban al estado silvestre en la región del lago Victoria, en África del Este (Wellman 1952). En esta zona, las especies de café más susceptibles eran naturalmente raras, lo que explica que durante muchos años el hongo pudiera pasar prácticamente desapercibido (Saccas y Charpentier 1971).

Cuadro 4. Distribución geográfica de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*).

Asia	África	América	Oceanía
Bangladés, Brunei Darussalam, Camboya, China, India, Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Filipinas, Singapur, Sri Lanka, Taiwán, Tailandia, Vietnam, Yemen	Angola, Benín, Burundi, Camerún, Comoras, Congo, Costa de Marfil, Etiopía, Eritrea, Ghana, Guinea, Isla Reunión, Kenia, Liberia, Madagascar, Malawi, Mauricio, Mozambique, Nigeria, Reunión, República Centroafricana, República Democrática del Congo, Ruanda, Santo Tomé y Príncipe, Sierra Leona, Somalia, Sudáfrica, Sudán, Tanzania, Togo, Uganda, Zambia y Zimbabue, Lago Victoria.	Argentina, Belice, Bolivia, Brasil (Bahía, Minas Gerais, Pará, Randonia, Acre, Espíritu Santo, Paraná, Pernambuco, Randonia, Sao Paulo), Colombia, Costa Rica, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México (San Luis Potosí, Veracruz, Puebla, Guerrero, Chiapas y Oaxaca), Nicaragua, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Venezuela, Ecuador.	Islas Cook, Nueva Caledonia, Papúa Nueva Guinea, Polinesia Francesa, República de Fiji, Samoa, Samoa Americana, Vanuatu.

Fuente: Tomado de CABI 2016, EPPO 2017, mencionado por Mora-Aguilera (2019)

2.5.3.2. Introducción e historia de la roya en América

La primera aparición de la roya fue en suramérica específicamente en Brasil en el año 1970, existen dos hipótesis que explican la presencia de este hongo en América, la primera fue propuesta por Bowden *et al*. (1971), sugiere que las uredosporas del hongo fueron

transportadas por los vientos alisios desde África del Oeste hasta Brasil. Sin embargo, la segunda hipótesis sugiere que la enfermedad fue introducida accidentalmente a través de material vegetal o de ropas contaminados (Waller 1972). En el año 1976 llegó a Centro América específicamente a Nicaragua (Schuppener *et al*. 1977, Avelino *et al*. 1999, Corrales 2013), luego se expandió en toda la región: El Salvador 1979; Honduras y Guatemala 1980 y Costa Rica 1983 (Avelino *et al*. 1999, Avelino y Rivas 2013).

“La llegada de la roya anaranjada a América suscitó una gran preocupación, ya que todas las variedades de *arabica* cultivadas en América Latina eran susceptibles a la roya anaranjada” (Avelino *et al*. 1999, Avelino y Rivas 2013:260). La primera reacción cuando la roya anaranjada llegó a Brasil, Nicaragua y México, fue de tratar de erradicar la enfermedad apoyándose en las experiencias de Nueva Guinea donde se habían logrado tres erradicaciones, aunque solamente temporales, en 1892, 1903 y 1965, hasta el año 1986 cuando la enfermedad se estableció definitivamente (Shaw 1968). Ninguno de estos intentos fue exitoso, por eso se abandonaron, ya que el progreso de la roya anaranjada era imparable, debido a su gran capacidad de dispersión a larga distancia (Avelino *et al*. 1999, Avelino y Rivas 2013).

La zona centroamericana ha logrado convivir con la roya anaranjada a través del uso de fungicidas, de la siembra de variedades resistentes (especialmente en Honduras) y de la aplicación de técnicas que incrementaron la productividad, compensando así los costos y las pérdidas de producción relacionadas con la roya anaranjada (McCook 2009). No obstante, en el año 2012 se desató la epidemia de roya anaranjada más grave de la región (Cressey 2013) aunque ésa no fue la primera epidemia grave desde la introducción de la enfermedad a la región. En 1989-1990, se dio por ejemplo una epidemia severa en Costa Rica, otra en Nicaragua en 1995-1996 y en El Salvador en el 2002-2003 (McCook 2009).

2.5.3.3. Clasificación taxonómica de la roya

Hablar de este tipo de clasificación merece tomar en cuenta el planteamiento que hace Avelino y Rivas (2013) quienes asumen una clasificación taxonómica del agente causal de la enfermedad “Roya amarilla”, describiendo de la siguiente manera:

Phyllum: Basidiomycota

Clase*:* Urediniomycetes

Orden: Uredinales

Familia: *Chaconiaceae*

Género: *Hemileia*

Especie: *vastatrix*

“La roya es un hongo que pertenece al reino Fungi, al phylum Basidiomycota, al subphylum Pucciniomycotina, a la clase Pucciniomycetes, al orden Pucciniales, al género Hemileia y a la especie vastatrix” (SENASICA 2019:16).

Los estudios realizados con *H. vastatrix* han permitido demostrar que el hongo ha evolucionado y desarrollado variantes genéticas (razas del hongo), las cuales atacan de forma diferenciada a las especies y variedades de café, dependiendo de los genes de resistencia de la planta y de los genes de virulencia del hongo (Cristancho *et al.* 2012). En Centroamérica, la presencia de nuevas razas de roya del café es limitada, este comportamiento se explica porque desde el ingreso de la roya del café a Nicaragua en 1976 y su posterior dispersión por el resto de países, se identificó que la mayor parte del área sembrada de café contenía variedades susceptibles a la raza II, pero desde 1997 se reportó una nueva raza en Honduras (raza I; v2 y 5) en muestras recolectadas en la región del lago de Yojoa; y posteriormente esta misma raza también fue reportada en El Salvador (Avelino *et al*. 1999). En el 2013, los análisis realizados por el CIFC de muestras de roya del café recolectadas en Costa Rica revelaron la presencia de las razas XXIV (v2, 4 y5) y XXXVI (v2, 4, 5 y 8) como plantea Várzea (2013) el cual es mencionado por (Astorga y De Melo 2015)

2.5.3.4. Morfología de la roya

El micelio de *Hemileia vastatrix*, se encuentra completamente dentro del mesófilo y consiste de hifas hialinas en abundancia, de aspecto tortuoso y frecuentemente ramificado en forma muy irregular; el diámetro de las hifas es bastante uniforme y oscila entre 5 y 6 mm. Presenta septas que están separadas a veces por intervalos grandes, especialmente en las hifas que crecen rápidamente. Algunas veces el contenido de las hifas tiene una coloración anaranjada rojiza (Subero 2005).

Las hifas crecen entre las células del mesófilo y penetran en ellas mediante ramificaciones cortas, filiformes, que terminan en expansiones ovales, reniformes o un poco irregulares, miden entre 7 a 8 x 4.5 mm, contienen citoplasma denso con uno a dos gránulos refringentes. Estas expansiones constituyen los haustorios y sirven probablemente como órganos de absorción de alimentos. El micelio del hongo es más abundante en el parénquima esponjoso de la hoja. En las variedades más susceptibles, el micelio tiende a

penetrar el tejido de empalizada y hasta puede enviar haustorios a las células de la epidermis superior (Subero 2005).

También, asevera Subero (2005) las hifas forman unas masas entretejidas de micelio en las cavidades subestomáticas. De estas masas crece un fascículo de filamentos finos llamados - esterigmas, que emergen a través de las estomas, dando lugar a las esporas. Las esporas son de tamaño microscópico (30µ de largo X 20µ de ancho) de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosa en la externa, denominadas uredosporas, que son producidas en grandes cantidades y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas de café y que es característico de esta enfermedad. La forma de las uredosporas maduras varía según su posición en el haz de estas estructuras.

Generalmente son angostas y triangular-redondeadas en un corte transversal. Las teliosporas, cuya ocurrencia es muy baja, son de forma redondeada de un tamaño de 20 a 25µ (Subero 2005, SENASICA 2013).

2.5.3.5. Ciclo de vida

El ciclo biológico de *Hemileia vastatrix*, según Rivillas *et al*. (2011) y Avelino y Rivas (2013), está comprendido por cuatro etapas, las cuales son: diseminación, germinación, colonización y reproducción.

- **Etapa de diseminación**, se realiza a través de esporas microscópicas llamadas uredosporas. Esta etapa se divide en una fase de liberación y una fase de dispersión, en la primera la uredospora se despega del esporóforo y en la segunda la espora abandona la lesión, y se deposita sobre otra hoja y que al producirse en abundantes cantidades originan el polvo amarillo o naranja que se observa en la cara inferior de la hoja y que es característico de la enfermedad.
- **Etapa de germinación**, esta etapa marca el inicio del proceso infeccioso, ya que la infección todavía no está realmente establecida. Esta etapa es el proceso en el cual una vez que la espora se ha depositado en el envés de la hoja emite de uno a cuatro tubos germinativos, en un tiempo de 6 a 12 horas, los cuales crecen hasta encontrar los estomas. Durante esta etapa, el hongo necesita agua, la nula o poca presencia de luz, y temperaturas inferiores a 28°C y superiores a 16°C. De acuerdo con SENASICA (2019), la germinación de esporas requiere de la presencia de agua libre por lo menos 6 horas, temperaturas entre los 21-25 °C y condiciones de oscuridad. Bajo estas circunstancias, la formación del apresorio requiere de un período de 5.3 a 8.5 horas. La germinación se inhibe por la presencia de luz y por la evaporación

del agua en las hojas, debido a que estos factores afectan el crecimiento de los tubos germinativos.

- **Etapa de colonización**, la penetración del hongo por las estomas de la hoja constituye el inicio de la tercera etapa en la cual, por primera vez, se establecen relaciones tróficas entre el hongo y el hospedero. El hongo desarrolla unas estructuras denominadas haustorios, los cuales se encargan de ponerse en contacto con las células de la planta, y con los que extraen los nutrientes para su crecimiento. La colonización de la hoja por las hifas lleva a la formación de los primeros síntomas visuales. Las células parasitadas de la hoja pierden su coloración verde y, es ahí donde se observan zonas cloróticas o amarillentas, generando la aparición de los síntomas de la enfermedad. El periodo comprendido entre el inicio de la germinación y la expresión de los primeros síntomas (lesiones amarillentas) constituye el periodo de incubación, el cual tiene poca importancia del punto de vista epidemiológico, ya que en esta etapa todavía no se ha producido ninguna entidad infecciosa nueva.
- **Etapa de reproducción**, la emergencia posterior del esporóforo y la producción de nuevas uredosporas infecciosas constituyen la etapa de la esporulación. Luego de haber pasado 30 días, después de la colonización, el hongo está completamente maduro como para diferenciarse en estructuras llamadas soros, que son las encargadas de producir nuevas uredosporas, a razón de 1.600 por milímetro cuadrado (mm2) de hoja, por un período de 4 a 5 meses, y que serán dispersadas para iniciar el nuevo ciclo. El tiempo que pasa desde la infección hasta la producción de esporas se denomina período de latencia.

Las esporas son de tamaño microscópico (30µm de largo x 20µm de ancho) de forma reniforme, lisas en la cara interna y rugosa en la externa, denominadas urediniósporas, y son producidas en grandes cantidades, y corresponden al polvillo amarillo o naranja que se visualiza en el envés de las hojas de café y es característico de esta enfermedad. Las teliósporas, cuya ocurrencia es muy baja, son de forma redondeada de 20-25µm (Castro *et al.* 2009).

2.5.3.6. Sintomatología de la roya de café

La enfermedad se caracteriza por presentar pequeñas manchas redondeadas y polvorientas en el envés de las hojas (Subero 2005). Inicialmente, las manchas son de color amarillo claro que luego se vuelven de color anaranjado; y a medida que la enfermedad

avanza se visualizan manchas amarillentas en la superficie del haz de la hoja (Fischersworring y RobKamp 2001).

El área afectada por una sola infección tiene un diámetro de aproximadamente 3 mm, pero gradualmente aumenta el tamaño hasta 2 cm o más (FONAIAP 1984), y la cual tiende a unirse con otras infecciones para formar una lesión más o menos irregular que a veces puede abarcar gran parte de la superficie foliar (Subero 2005).

En los estados muy tempranos se nota sólo una mancha pálida, amarillenta, en el envés de la hoja. Uno o dos días después de su aparición, la mancha toma un color anaranjado y cuando esta envejece, su centro muere, y se torna marrón oscuro y se seca, pero en algunas ocasiones la pérdida del color amarillento-anaranjado típico de las esporas puede acelerarse con la presencia de un hongo blancuzco, parasítico, conocido como *Lecanicillium* (v*erticillium*). La formación de esporas en las áreas muertas cesa y con frecuencia las esporas presentes tienden a volverse grisáceas, antes de que el tejido foliar se torne marrón, pero el porcentaje de esporas con contenido hialino aumenta hacia el centro de la lesión y la pérdida de color no se debe necesariamente al envejecimiento de las esporas in situ, ya que al ser removidas puede producirse una nueva generación de esporas hialinas. Pero, a veces en etapas avanzadas del ataque, cerca del margen, sobreviven áreas amarillento-anaranjadas portadoras de esporas (Subero 2005).

Las lesiones comúnmente pueden ser limitadas por la nervadura principal y con menos frecuencia por una vena lateral, pero a veces estas barreras apenas retardan la expansión de una lesión o tienen poco efecto. La apariencia exacta de una lesión puede variar de acuerdo con la variedad del cafeto y su susceptibilidad (Subero 2005).

Cuando hay áreas grandes de la hoja infectada por la enfermedad, las áreas adyacentes, no infectadas, también pueden secarse y morir, afectando con frecuencia la hoja entera. Aun cuando sólo haya unas pocas lesiones, la hoja a menudo se reduce mucho y puede caerse a temprana edad. Como consecuencia de esto y de la abscisión de hojas muy atacadas, un árbol afectado severamente puede perder gran parte de su follaje, lo que a su vez puede conducir a una muerte descendente más o menos pronunciada de sus ramas. Este efecto depende del clima en ese momento, de la cosecha que produce el árbol y de la reserva de carbohidratos (Subero 2005).

Los daños severos, mayores al 60%, además de provocar pérdida del follaje también puede afectar considerablemente el rendimiento de la producción de café, si la infección ocurre en etapas tempranas se puede presentar una reducción en el rendimiento. Sin embargo, si la

infección se presenta en etapas tardías el efecto se observará en los niveles de amarre del fruto del siguiente ciclo de cultivo (Subero 2005; Castro *et al.* 2009).

2.5.3.7. Patogénesis de la roya

El progreso de la enfermedad causada por *Hemileia vastatrix* en la planta de café, según Rivillas *et al.* (2011) y Barquero (2013), permite establecer tres etapas de la infección:

- **Primera etapa:** crecimiento lento. Esta etapa se caracteriza por un aumento lento de la enfermedad, casi imperceptible, que coincide con el inicio del periodo de lluvias y con el crecimiento vegetativo del café. El inóculo residual de la roya que se encuentra en el tejido infectado permaneció en la planta luego de la época seca y apenas inicia la producción de esporas por lo que el surgimiento de nuevas manchas en hojas sanas es lento. Durante esta fase las infecciones solo se aprecian en menos del 10% de las hojas en la planta.
- **Segunda etapa:** crecimiento acelerado. En esta etapa los cambios en la cantidad de la enfermedad de un mes a otro son muy rápidos, pero depende en gran medida de la cantidad de enfermedad desarrollada en la primera etapa y de las condiciones climáticas existentes. El crecimiento acelerado ocurre a partir de una incidencia del 10% al 15%, la cual puede alcanzar un 30% o más en un tiempo de 2 a 3 semanas, ya que puede aumentar de 0,11 a 0,36 % por día.
- **Tercera etapa:** crecimiento máximo y final, es cuando la enfermedad alcanzó su máximo incremento y es demasiado tarde para implementar una estrategia de control químico, debido a que una gran cantidad de hojas tienen la presencia de la enfermedad y es común que las lesiones cubran gran parte de las hojas provocando la caída de gran parte de estas, además el aumento de la enfermedad es muy lento porque la presencia de hojas sanas es mínima y finalmente la enfermedad termina por el agotamiento del hospedero. Esta etapa coincide con la maduración de los frutos y con la etapa de mínimo crecimiento vegetativo de la planta.

2.5.3.8. Aspectos epidemiológicos de la roya

Hemileia vastatrix necesita condiciones particulares para parasitar las hojas de la planta de café. En general, requiere de la salpicadura del agua de lluvia para iniciar el proceso de dispersión entre hojas y entre plantas, así como de la presencia de una capa de agua en el envés de las hojas para germinar, todo esto acompañado de temperaturas entre 16 y 18 °C y condiciones de baja intensidad luminosa (Kushalapa y Eskes 1989).

Hemileia vastatrix es un parasito obligado de *Coffea* sp (Javed 1987), ya que la planta de café es susceptible al ataque de la roya durante todas las etapas de su desarrollo, desde el estado cotiledonal hasta la etapa productiva en el campo; por ello, en general las especies de esta planta son atacadas en mayor o menor grado (Schierber 1975).

De acuerdo con Rayner (1961), la germinación de las uredosporas ocurre entre las primeras 12 a 24 horas y a las 48 horas se da la formación de los apresorios. Los síntomas aparecen a los 14 días después de la inoculación y la esporulación comienza después de 2 a 4 días de haber aparecido los síntomas. En algunas investigaciones se ha determinado que se requiere agua para la germinación de las uredosporas, y que ésta ocurre entre 2,6 y 4,7 horas a 23 °C, con un mínimo de una hora; la formación de apresorios toma de 6,5 a 8,5 horas con un mínimo de 5,3 horas. La germinación puede ser inhibida por la alta insolación, pero es favorecida con las noches húmedas, las cuales proporcionan mayor infección, ya que la infestación se inicia a través de los estomas (Delgado 2012).

La infección resulta de la formación de manchas pálidas (pústulas) de hasta 15 mm de diámetro en el envés de las hojas, a veces con una ligera clorosis en la parte superior (Javed 1987); dichos síntomas se manifiestan 30 días después que la uredosporas han germinado en el envés de las hojas y ha penetrado a través de la hoja o por los estomas de la misma (Rayner 1972, Subero 2005).

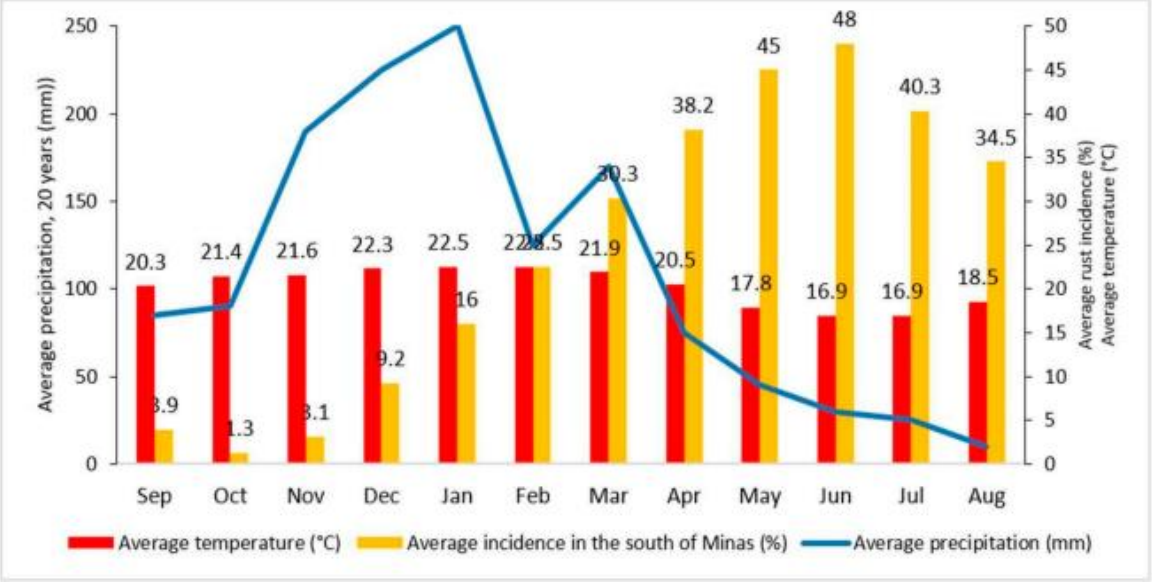


Figura 2: Incidencia promedio de roya y temperatura y precipitación promedio mensual, obtenidos de hojas de la plantación Catuai Vermelho en la Granja Experimental de la Fundación Procafé en VarginhaMG, Brasil.

Fuente: Boletines de Alerta Fitosanitaria de la Fundación Procafé.

Se realizaron evaluaciones mensuales entre 1998 y 2018, en las que seis hojas del tercer o cuarto par de ramas plagiotrópicas de cinco plantas se colectaron al azar, tres a cada lado del surco y del tercio medio de las plantas, totalizando 30 hojas por parcela.

El rasgo de incidencia de la roya de la hoja se estimó como el número de hojas con síntomas dividido por el total número de hojas en la muestra.

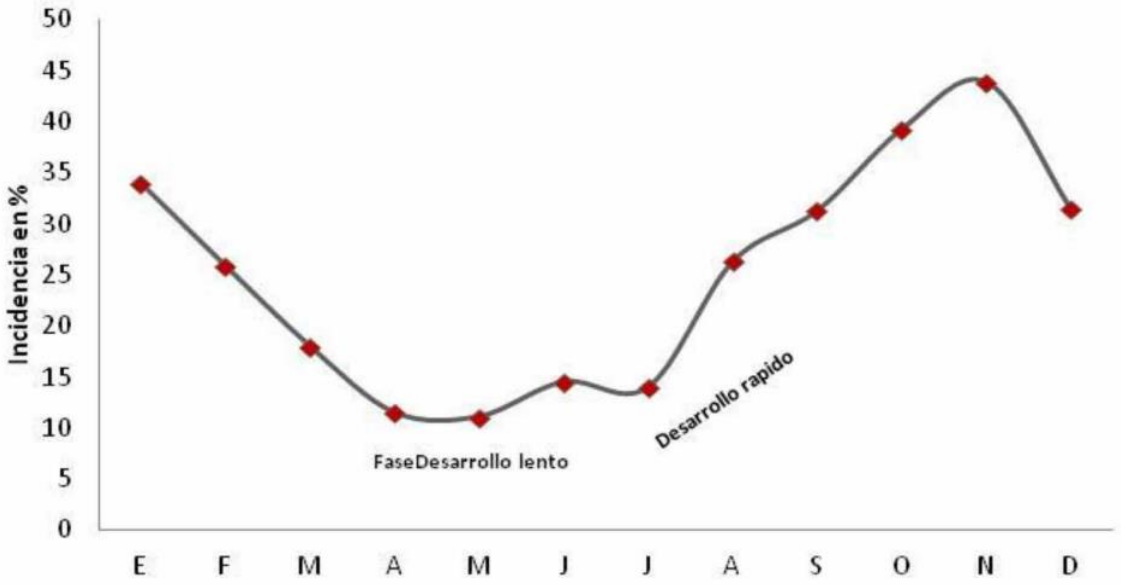


Figura 3. Comportamiento de la roya de café en diferentes épocas del año.
Fuente: Pérez *et al.* (2017).

2.5.3.9. Mecanismos de diseminación

La enfermedad causada por *Hemileia vastatrix*, es altamente propagable porque utiliza distintos factores como mecanismo de diseminación entre los que están: el viento, las lluvias, los insectos entre otros medios. A continuación, se describen cada uno de los mecanismos de propagación:

- **El viento,** un factor que se ha sugerido en varias teorías como medio de diseminación de la roya debido a pruebas realizadas con trampas para colectar esporas, en las cuales se colectaron de *H. vastatrix* desde aviones volando a 50, 100, 250, 500 y 1000 metros de altura. Las uredosporas colectadas a 1000 metros estaban a 150 Km. de un área afectada en Sao Paulo. A partir de ello, se le considera a las corrientes de aire como mecanismo de propagación de *H. vastatrix* (Subero 2005).

- **Las lluvias,** en algunas investigaciones se ha concluido que la dispersión de la roya por el aire es de poca o de ninguna importancia y que las salpicaduras de la lluvia son el agente principal, no solamente para la dispersión, sino también para la liberación de esporas. La relación entre la intensidad de la lluvia y la dispersión de las uredosporas es lineal y bajo condiciones promedio, solo las lluvias que exceden de 0,3 pulgadas dispersan esporas (Subero 2005).
- **Los insectos,** se han encontrado insec*tos* (*Euphysothrips subramanii, Scirtothrips bispinosus, Lestodiplosis* sp y *Mycodiplosis* sp) que se alimentan de pústulas de roya y que llevan hasta 280 esporas en su cuerpo. De acuerdo con esas investigaciones, los insectos tendrían un papel suplementario con la dispersión que podría llegar a ser importante a nivel de hojas, árboles e incluso plantaciones completas, pero sería irrelevante en la dispersión a largas distancias (Subero 2005).
- **Otros medios de diseminación,** material de propagación infectado, pero con síntomas poco visibles, puede provocar un avance acelerado de la roya en grandes áreas geográficas. También podría ser posible la propagación de la enfermedad a través de otras especies vegetales importadas de otros países (Subero, 2005). Además, el contacto de ropa o brazos del personal que trabaja en cafetales basta para permitir que una gran cantidad de uredosporas queden adheridas en el envés de hojas sanas. De igual manera se considera que los sacos de café pueden ser ocasionalmente vehículos de las esporas de la roya. También se ha indicado que la densidad del tránsito aéreo ha permitido el transporte involuntario de esporas por esta vía, incluso entre continentes (Subero 2005).

2.5.3.10. Factores que afectan al desarrollo de *Hemileia vastatrix*

La ocurrencia de una enfermedad de carácter epidémico como la roya está relacionada con factores bióticos (condiciones del hospedante y del patógeno) y factores abióticos (Subero 2005).

Según Subero (2005), entre los factores abióticos están los siguientes:

- **La temperatura,** afecta el desarrollo epidémico de la roya del cafeto debido a su acción directa sobre el proceso de germinación e infección del hongo, ya que temperaturas por debajo del óptimo tienden a inhibir el crecimiento del hongo, prolongando así el tiempo de germinación de las uredosporas, la formación de apresorios, la penetración y colonización del hospedante, haciendo más largo el ciclo epidémico de la roya. La temperatura óptima para la germinación de las

uredosporas es de 24°C; por encima de ella se afecta más severamente la germinación que aquellas por debajo de ésta, ya que la temperatura por encima del óptimo altera el metabolismo y disminuye el poder germinativo.

- **Efecto de la luz,** un factor determinante para la germinación de las uredosporas, para el inicio del proceso infectivo y para la sobrevivencia o viabilidad de las esporas producidas. La ausencia de luz estimula la germinación y el crecimiento del tubo germinativo; por ello, la intensidad lumínica superior a 2,5 bujías/pie reduce gradualmente el desarrollo de las lesiones y de la germinación, sin embargo, ésta aún se realiza bajo una intensidad de 10 bujías/pie. La duración del período de oscuridad para obtener un máximo de germinación es de cuatro horas, siendo en cambio necesario nueve horas para un máximo de infección.
- **Efecto de la humedad,** la lluvia actúa como factor determinante en la germinación de las esporas, en su dispersión, e indirectamente sobre otros factores ambientales tales como la humedad relativa, la temperatura y la luminosidad. También ejerce un efecto sobre el incremento de la enfermedad cuando la intensidad y frecuencia de las lluvias exceden determinados niveles. La germinación de las uredosporas de la roya ocurre a los 24°C aproximadamente, siendo indispensable el contacto con agua en estado líquido. La humedad relativa en el aire de 95 y 98% son inadecuadas para estimular la germinación. Aún en atmósfera saturada, la germinación no tiene lugar cuando no hay agua líquida en contacto con las esporas.

2.5.3.11. *Control de la roya del cafeto*

Durante décadas se ha investigado diferentes métodos para controlar la roya, destaca CICAFE (2015), los siguientes:

a) El control químico. La eficacia de los fungicidas depende del ingrediente activo, dosis, residualidad, frecuencia, época de aplicación, distribución en la planta y del tamaño de partícula. Los tipos de fungicidas utilizados para el control de la roya son los siguientes:

- **Fungicidas protectores,** estos actúan cubriendo la superficie de las hojas, en forma de capas delgadas, previniendo la germinación o penetración de las esporas. El primer producto químico que se utilizó para combatir la roya fue el azufre, sin llegar a resultados suficientemente satisfactorios. Posteriormente, se utilizó el cobre obteniendo una buena protección a los cafetos, pero sin lograr erradicar la enfermedad, debido a que son productos de contacto, no penetran dentro de la hoja, pero evitan que el hongo pueda causar enfermedad al formar una barrera de

protección. Así mismo, los fungicidas protectores no curan, por lo que en las partes que ya han sido atacadas, el hongo continúa su desarrollo. Además, estos pueden ser lavados con el tiempo a causa de la lluvia constante y las hojas nuevas formadas luego de su aplicación quedan desprotegidas, de ahí la necesidad de aplicar con regularidad este tipo de fungicidas para mejorar la protección contra la enfermedad (CICAFÉ 2015).

- Para lograr los mejores resultados con el uso de fungicidas protectores (oxides e hidróxidos de cobre), se recomienda su aplicación a una concentración de 0,30 % (peso / volumen) al inicio de la época de lluvias y cuando los niveles de infección de la enfermedad son bajos. Después de un 10 % de infección la capacidad de estos para detener el avance de la enfermedad se reduce (CICAFÉ 2015).
- En la Tabla 4, se indican algunos fungicidas cúpricos y dosis que pueden ser utilizados para la estrategia de control preventivo en el combate de la roya del cafeto.
- **Fungicidas sistémicos,** son productos que tienen la capacidad de detener el avance de las infecciones de la roya, desde el interior de las hojas, principalmente en etapas tempranas de la infección cuando se usa la cantidad o concentración apropiada de fungicida. Estas sustancias pueden llegar a los tejidos internos de las hojas y circular dentro de ellas por los conductos por donde se moviliza el agua y los nutrientes. La mayoría de los fungicidas sistémicos se mueven hacia la parte superior de la planta, pero principalmente dentro de las hojas hacia los márgenes y las puntas cuando son aplicados sobre las hojas de los cafetos. Los primeros fungicidas sistémicos utilizados para el combate de la Roya pertenecen a los grupos químicos de las anilidas y los triazoles, los primeros fueron descartados poco tiempo después por su baja capacidad de control de la roya en cambio los triazoles han mantenido un adecuado control de la enfermedad desde que se comenzaron a utilizar y su mecanismo de acción se basa en impedir la producción de una sustancia esencial para el crecimiento del hongo llamada ergosterol (precursor biológico de la vitamina D).

b) Control genético. Una de las alternativas para el control de la roya es el mejoramiento genético, el cual comprende el uso de variedades resistentes o tolerantes a la roya del café. La resistencia es un fenómeno general de las plantas, un criterio de evaluación de resistencia consiste en la observación del tamaño de las lesiones ocasionadas por la roya, si las manchas cloróticas son reducidas indican resistencia o si las manchas son grandes que indican susceptibilidad (Calderón 2012). En la resistencia específica del cafeto a la roya

están implicados al menos nueve genes, dichos genes corresponden a la resistencia - gen a gen‖. De los nueve genes conocidos, cuatro han sido identificados en *Coffea arabica* (Canjura 2000). Se han identificado fuentes de resistencia genética a la roya dentro de las especies *C. arabica* (Arábicas), *C. liberica* y *C. canephora* (Robustas), siendo esta última la más utilizada para crear variedades resistentes, en particular los híbridos catimores, obtenidos de la cruza de las variedades timor y caturra, estos tuvieron su origen en un cruzamiento espontáneo entre la variedad típica de *C. arabica* y Robusta de *C. canephora*, identificada alrededor de 1917 en una plantación de Arábicas en la isla de Timor Oriental (Océano Índico) (ANACAFÉ 2013); Gobierno Regional San Martin *et al*. 2013). En América los cultivares tradicionales poseen una estrecha base genética, por lo cual el problema de la roya adquiere mayor trascendencia y se hace más difícil encontrar alguna variación importante en resistencia (Ruiz 1994). De acuerdo con Beaker (1978) en El Salvador las investigaciones para el mejoramiento genético comenzaron en los años 70s, a cargo del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, ISIC, ahora Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café PROCAFÉ, el cual cruzó al hibrido de Timor, procedente del Centro de Investigaciones sobre la Roya en Oeiras, con Caturra para la obtención de Catimor, hibrido que presentó una buena adaptación en alturas mayores a 1000 msnm, pero en condiciones ambientales como son climas cálidos y de poca humedad, presentan pérdida de vigor que conduce a un agotamiento, casi irreversible en la planta. Ante esta situación se han realizado esfuerzos por mejorar el comportamiento del Catimor, especialmente su adaptación y vigor en las zonas no favorables (Rodríguez 1990). Reportes del Instituto de café de Costa Rica, recomienda no sembrar la variedad Costa Rica 95, por que presenta problemas por la menor calidad de taza comparada con Caturra y Catuai (Gobierno Regional San Martin *et al.* 2013).

c) Control cultural. Las principales prácticas culturales que deben priorizarse en el control de la roya son: sembrar o regular la sombra de los cafetales, para proteger la humedad de los suelos y asegurar la nutrición de la planta, evitando de esta manera el estrés de las plantas en las épocas de baja precipitación como junio, julio, agosto y en algunos sectores hasta septiembre; previo a fertiliza, regular la acides de los suelos, verificando el pH del suelo, aplicando enmiendas orgánicas como roca fosfórica, carbonato de calcio entre otros, siendo necesaria su aplicación como mínimo 30 días antes del abonamiento; también se debe fertilizar de acuerdo a los resultados de análisis de suelo y en base a un plan nutricional; además se debe controlar la maleza para evitar la competencia del cafeto por nutrientes y se debe mantener algunas plantas acompañantes que permita evitar la erosión;

y en caso de la roya amarilla del cafeto realizar un plan de podas de renovación en plantaciones mayores, a fin de renovar la estructura productiva de la planta (Gobierno Regional San Martin *et al.* 2013). Todas estas prácticas culturales se describen a continuación: - Densidades de siembra, se define como el número de plantas por unidad de área de terreno; tiene un marcado efecto sobre la capacidad de producción de las plantas y es tan importante que se le considera como un insumo más en el proceso de producción; de la misma importancia que un fertilizante (Arcila *et al.* 2007, ANACAFÉ 2013). 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, y además, con una mayor o menor eficiencia de captación de la radiación solar (Fageria 1992, ANACAFÉ 2013). A medida que se incrementa la población de plantas por área, disminuye la producción media por planta, debido a la competencia por los recursos necesarios para su crecimiento. Entre los factores más importantes que deciden la densidad de siembra óptima para un cultivo, están las características morfológicas de las plantas, las cuales deben de tener condiciones ambientales favorables para que puedan desarrollarse sin limitantes y expresar la capacidad genética (ANACAFÉ 2013). - Tipos y sistemas de poda, el cafeto es una planta de producción distal; es decir, la cosecha de cada año se ubica en los nudos nuevos formados durante el periodo de crecimiento anterior. En cada ciclo los nudos productivos se localizan hacia el extremo de la rama, y sucesivamente hacia atrás cada vez queda mayor área de tejido improductivo. Este comportamiento productivo del cafeto induce un agotamiento progresivo, particularmente en sistemas de cultivo intensivos, lo que condiciona la productividad de la planta a la recuperación, la cual se da con el inicio de la poda (Carvajal 1984, Federación de Cafeteros de Colombia 1979, Ramírez 1994). Según Ramírez 1996, las principales estrategias de poda de cafetos que actualmente se aplican son las siguientes: poda selectiva, consiste en la poda individual por planta de acuerdo con el agotamiento que cada una presenta, poda por hileras, las plantas se podan en hileras completas en ciclos de 3, 4 y 5 años; y poda por lotes, este sistema comparte el criterio de renovación sistemático de la poda por hileras con la diferencia de que la organización de las áreas por podar se realiza por lotes y no por calles. De esta manera se divide la plantación en partes iguales, es decir en 3, 4 y 5 lotes. - Uso de sombra, el empleo de sombra es primordial para favorecer la productividad del café. El uso y manejo apropiado de los árboles de sombra tiene por objeto evitar extremos que son perjudiciales, ya que sombra excesiva afecta o limita la producción y exceso de sol acorta la vida productiva de la plantación y demanda mayor uso de insumos (Calderón 2012). Según ANACAFÉ (2002),

es mejor el sistema de cultivo de café bajo sombra, ya que las ventajas del mismo son múltiples, y van desde las necesidades eco-fisiológicas de la planta, generación de energía, hasta la de cumplir con requerimientos del mercado en temas ambientales, como protección de suelos y recursos hídricos, conservación de flora y fauna. Una plantación necesita mayor densidad de sombra (30-40%) y menor cantidad de luz (70-60%), cuando se cultivan bajo condiciones de alta temperatura, baja humedad relativa y mayor exposición a la luz solar; sin embargo, la plantación necesitara una menor densidad de sombra (25-30%) y una mayor cantidad de luz (75-70%) si es cultivada bajo condiciones de baja temperatura, alta humedad relativa menor exposición a la luz solar y alta humedad natural del suelo. Al inicio de las lluvias (mayo-junio), se realiza la poda de mantenimiento o regulación con el propósito de obtener una buena penetración y distribución de la luz dentro del cafetal (ANACAFÉ 2002). Fertilización, está demostrado que los fertilizantes son absolutamente necesarios en los cultivos de café, ya que el manejo nutricional de las plantas desempeña un papel fundamental en el comportamiento del ciclo productivo del cultivo. Una buena nutrición proporciona los minerales que requiere la planta para realizar sus funciones metabólicas y fisiológicas fortaleciendo así sus mecanismos de defensa contra la roya y manteniendo su capacidad productiva (Virginio y Astorga 2015). Existe en el comercio, fertilizantes líquidos o fertilizantes foliares (químicos u orgánicos o ambos) que, aplicados por aspersión a las hojas de las plantas, le suministran los nutrientes complementarios, igual como lo hacen los fertilizantes sólidos aplicados al suelo (Virginio y Astorga 2015). Los fertilizantes aplicados en las hojas son absorbidos en una elevada proporción, no inferior al 90%. Por el contrario, los fertilizantes aplicados al suelo se pierden en un 50% o más, por diferentes motivos. Otras ventajas de la fertilización foliar es que se pueden aplicar fungicidas en la misma solución, por ende, al mismo tiempo que se nutre se controlan las enfermedades (ANACAFÉ 2006). Igualmente, es importante revisar el diseño, composición y manejo de los árboles en asocio con el café, ya que ellos contribuyen con nutrientes complementarios al programa de fertilización (Astorga y De Melo 2015).

d) Control biológico: para Van y Bellows (1996) mencionado por Gonzáles *et al*. (2014) considera que el uso de parasitoides, depredadores, patógenos, antagonistas y poblaciones competidoras para suprimir una población de plagas, haciendo esta menos abundante y por tanto menos dañina que en ausencia de esto. Es ampliamente conocido que los patógenos presentes en la superficie de las partes áreas de las plantas, son susceptibles al ataque de otros microorganismos, lo cual puede contribuir a la reducción de la incidencia de enfermedades foliares (Canjura *et al.* 2002). Para que el parasito realice el control que

se desea, deben de facilitarse las condiciones naturales de su acción. Los ensayos demuestran que para que haya un parasitismo son necesarias, además de condiciones atmosféricas y del ecosistema del cafetal, dos condiciones, las cuales son: mantenimiento permanentemente en el suelo de las plantaciones una densidad elevada del hiperparásito y presencia de los vectores (principalmente insectos) que transportan el hongo del suelo a las hojas infectadas (Rolz *et al.* 2013).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

El trabajo de investigación se realizó en el municipio de Caranavi, interviniendo en nueve cantones como: Calama, Illimani, Carrasco, La Reserva, Entre Ríos, Chijchipani, San Lorenzo, Caranavi Rural y Taipiplaya.

El municipio de Caranavi se encuentra ubicada a 168 km de distancia de la ciudad de La Paz, geográficamente se ubica entre los paralelos 15º32’30.00" y 16º07'3.00" de Latitud Sur y 67º44’50.00" y 67º13'50.00 de Longitud Oeste. Las alturas oscilan desde 1900 a 405 msnm. La precipitación pluvial anual varía desde 1000 mm a 2500 mm (PTDI GAM CARANAVI 2016-2020).

Figura 4. Georrefenciación de las áreas de estudio elaborado con Google Earth.

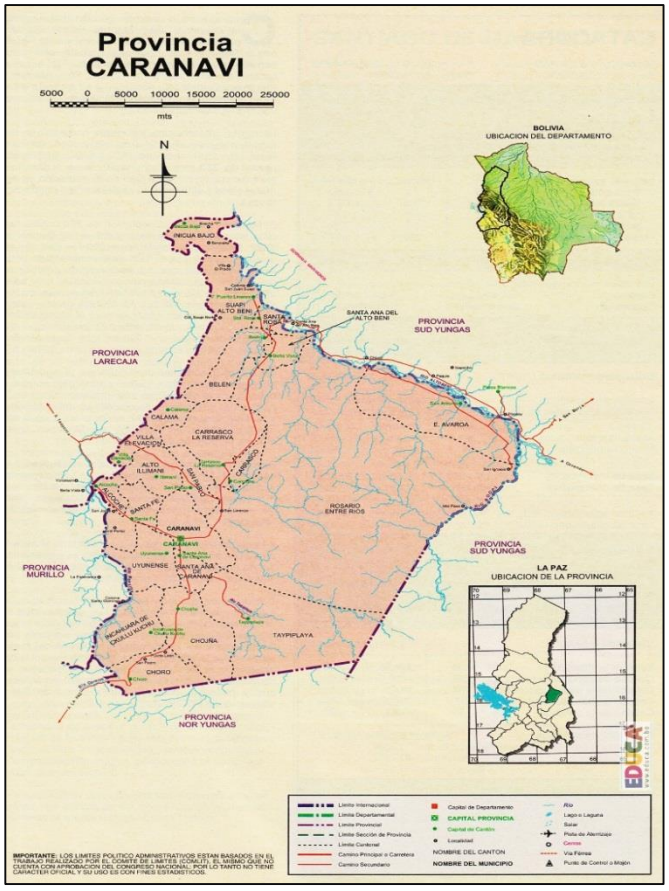


Figura 5. Ubicación geográfica de la provincia de Caranavi.

Fuente: PTDI GAM Caranavi 2016 – 2020.

3.1.2. Características climáticas de la zona

3.1.2.1. Clima

El clima que presenta la zona, es tropical y subtropical, no obstante, de ello es mencionar que las alturas, las precipitaciones pluviales y vientos, cambian el clima, las alturas oscilan desde 1.900 msnm, como la máxima elevación, y 405 msnm, como la de mínima altitud en las terrazas aluviales y lugares de planicie del sector de Alto Beni. La precipitación pluvial anual varía desde 1000 mm a 2500 mm y la evaporización por transpiración real se calcula entre 800 mm a 1200 mm (Tapia 2013).

La temperatura media anual aproximada es de 25.8 ºC, en el mes de septiembre y los meses más calurosos se registran en los meses de octubre a diciembre. Los meses más fríos son de mayo a julio (Tapia 2013).

3.1.2.2. Suelo

Suelos aluviales en mayor proporción con una formación de areniscas, cuarcitas, calcáreas y arcillas en terrazas altas y con origen en rocas sedimentarias (CUMAT 1987).

3.1.2.3. Fauna

La potencialidad se debe a la variabilidad silvestre de la zona. La caza indiscriminada a la que los habitantes someten a indefensos animales como ser: venado, jochi y el sari han puesto en peligro de extinción. Las principales especies son: mamíferos, aves, reptiles, anfibios, peces e insectos, los cuales en su mayoría se ven afectados por los depredadores primarios.

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales y equipos de campo

- Material vegetal: Plantas de café *(Coffea arabica)*
- GPS
- Machete
- Cinta métrica
- Vernier
- Pinzas
- Planillas de campo
- Tablero
- Marbetes
- Cámara fotográfica

3.2.2. Materiales de gabinete

- Material de escritorio (papel bond, regla, bolígrafos, lápiz, borrador y calculadora)
- Software de computacion: InfoStat, R, R Commander y Minitab ver.18.0, Word, Excel, Power Point y Google Earth
- Pendrive
- Impresora
- Computadora

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Reconocimiento de las zonas productoras de café

Posterior a la revisión de la información referente al tema de investigación, se realizó una visita previa a los cantones de Calama, Illimani, Carrasco La Reserva, Entre Ríos, Chijchipani, San Lorenzo, Caranavi Rural y Taipiplaya; mediante el cual se obtuvo una información preliminar sobre las características biofísicas del terreno, las ventajas y desventajas de cada zona para el acceso del apoyo logístico.

3.3.1.2. Planificación del trabajo de campo

En base a la recopilación de toda la información necesaria sobre el cultivo de café y reconocimiento de la zona de estudio, se realizó la planificación de las actividades de campo, donde se han determinado las técnicas y los instrumentos que se usaron en todo el proceso investigativo.

3.3.1.3. Socialización con las autoridades sindicales

Antes de empezar con el trabajo de campo, se realizó una reunión y talleres preliminares de socialización con las autoridades sindicales y productores de café, para hacer conocer el objeto del presente trabajo de investigación.

3.3.1.4. Procedimiento del trabajo de campo

La metodología de investigación que se aplica en este trabajo es de enfoque cuantitativo, calculando la incidencia y severidad de acuerdo con escalas categóricas.

3.3.1.5. Ubicación de fenotipos de café tolerantes a la roya

De los nueve talleres realizados y de acuerdo con la información de los productores de café se identificaron dieciséis fenotipos de café tolerantes a la enfermedad de roya de café, ubicados en diferentes cantones y comunidades pertenecientes al municipio de Caranavi.

3.3.1.6. Georreferenciación de fenotipos de café tolerantes a la roya

Una vez identificada la ubicación de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades se realizó la georreferenciación de cada fenotipo, como referencia para realizar seguimiento permanente a las plantas identificadas.

3.3.2. Métodos estadísticos

3.3.2.1. Muestreo

El presente trabajo de investigación se realizó utilizando la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, donde las muestras de los cultivares de café se seleccionan solo porque están convenientemente disponibles para el investigador. Estas muestras se seleccionan solo porque son fáciles de reclutar y porque el investigador no consideró seleccionar una muestra que represente a toda la población, y para lo cual se realizaron los siguientes procedimientos:

El muestreo de órganos de las plantas para la caracterización morfológica y agronómica fue aleatorio en la unidad de muestreo (árbol), excepto para la evaluación de incidencia de la enfermedad de roya de café, para ellos se realizó un muestreo sistemático debido a las particularidades patológicas del hongo que infecta tejidos de hojas que completaron su etapa de crecimiento (hojas que alcanzaron la madurez fisiológica). El muestreo sistemático a la vez se realizó solamente para la evaluación de la incidencia de roya, para lo cual se marcó cuatro bandolas productivas, tomando en cuenta la referencia de los puntos cardinales, en el tercio medio de cada árbol de café. El tamaño de la muestra se determinó según la variación de la variable.

3.3.2.2. Análisis descriptivo

El análisis descriptivo se realizó de manera individual para la incidencia de los 16 cultivares de café en el cual consistió en: realizar el análisis estadístico de datos (rango, máximo, mínimo y la frecuencia), medidas de tendencia central (media, mediana, moda), medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación).

3.3.2.3. Análisis estadístico multivariado para la caracterización morfológica y agronómica de los cultivares de café

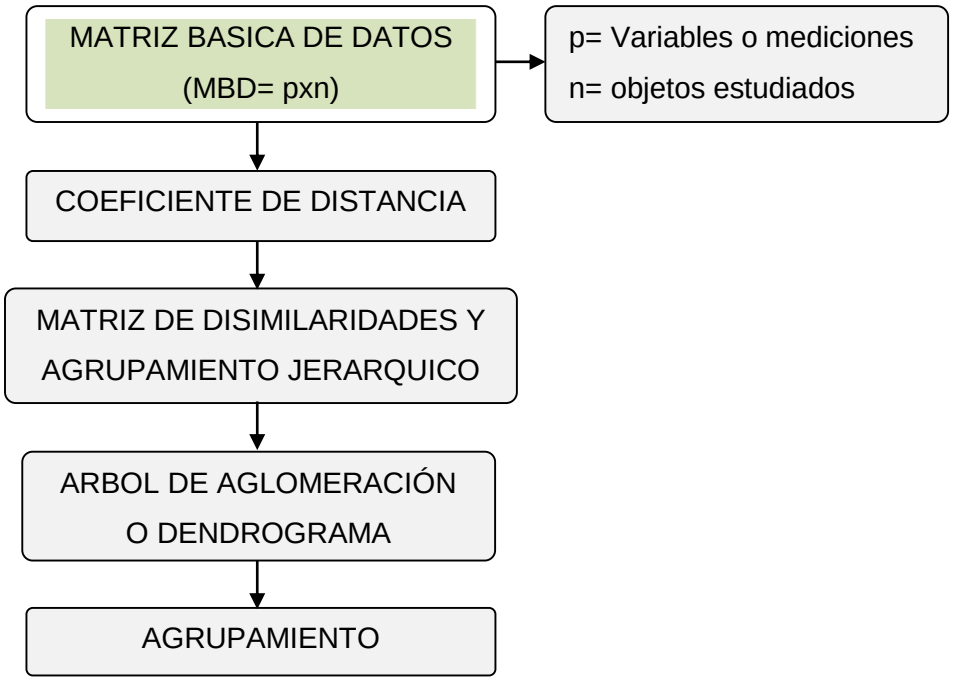
El análisis multivariado permite describir las cultivares tomando en cuenta simultáneamente varias características sin dejar de considerar la relación existente entre ellas.

La caracterización morfológica y agronómica fue analizada utilizando los programas InfoStat, R, R Commander y Mini Tab ver. 18.0. Se realizó un análisis exploratorio a través de los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación) para tener una visión general sobre la variabilidad de las características cuantitativas a nivel de los 16 cultivares de café en estudio. Posteriormente se realizó un

análisis de correlación entre las variables cuantitativas con la finalidad de detectar variables altamente correlacionadas ya sea en forma positiva o negativa; finalmente el análisis de conglomerados (distancia eúclidea y método de ward) para explorar la similitud entre cultivares de café en las variables observadas y componentes principales para estudiar simultáneamente la relación entre variables cuantitativas y la relación entre cultivares de café.

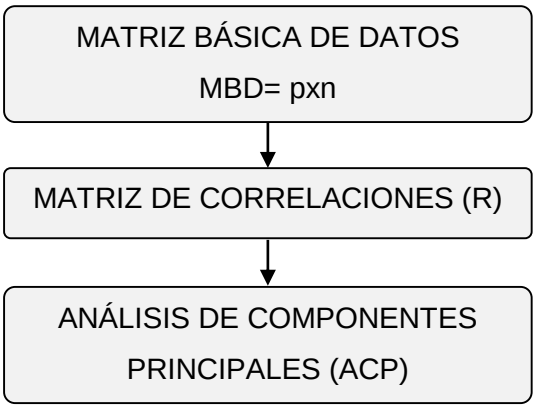
3.3.2.4. Formación de clúster

Para formación de clúster los pasos seguidos fueron los siguientes:



3.3.2.5. Formación de Análisis de Componentes Principales (ACP)

Para formación de análisis de componentes principales, los pasos seguidos fueron los siguientes:



3.3.2.6. Análisis de correlación

De acuerdo con Calzada (1982), el análisis de correlación permite estudiar el grado de asociación entre cada par de variable o característica el mismo que permite discriminar variables que no aporten con mayor porcentaje de información de la variable total.

Rojas (1998), considera como asociaciones lineales que representen a patrones naturales de variaciones a los coeficientes superiores a r=0.50 por tanto las variables que presentaron un alto coeficiente de correlación el cual se especifica a continuación.

3.3.2.7. Análisis de datos

Los datos de cada una de las variables de respuesta han sido analizados de manera individual para los factores cuantitativos, y agrupados para los análisis de componentes, análisis de Clúster y para la correlación, utilizando el paquete estadístico R, R Commander y Minitab ver.18.0.

3.3.3. Variables de estudio

3.3.3.1. Variables cualitativas

- **Intensidad de ramificación**

  De acuerdo a UPOV se realiza en la rama primaria plagiotropica la intensidad de ramificación de acuerdo a lo siguiente: muy débil, débil, media, fuerte y muy fuerte.

- **Forma de la hoja**

  La caracterización de la forma de la hoja se realizó mediante códigos del 1 – 4, donde (1) obovada, (2) ovada, (3) elíptica y (4) lanceolada (IPGRI 1996). El tipo de descriptor por planta quedó determinado por la moda de las cinco observaciones.

- **Color del fruto**

  El color del fruto se describió utilizando la tabla estándar para colores denominada Royal Horticultural Society Colour Chart, el color de los frutos se clasificó utilizando códigos del 1-10 donde (1) amarillo, (2) amarillo naranja, (3) naranja, (4) naranja rojizo, (5) rojo, (6) rojo púrpura, (7) púrpura, (8) púrpura violeta, (9) violeta y (10) negro (IPGR, 1996). El color del fruto por planta se determinó en función a la moda del total de los frutos evaluados.
- **Adherencia del fruto**

  Para esta característica se toma los frutos maduros para desprenderlos clasificándolo en suave, medio y duro.

3.3.3.2. Variables cuantitativas

- **Altura de planta (AP)**

  Se midió en metros, desde el nivel del suelo a la base del tallo hasta el punto apical del tallo dominante.
- **Número de ramas o bandolas (NB)**

  Se realizó el conteo de todas las ramas desarrolladas de la planta de café.
- **Número de nudos por bandolas (NNB)**

  Por selección al azar se realizó el conteo de nudos en 5 bandolas y se obtuvo el promedio de los mismos.
- **Largo de la hoja (LH)**

  Para la medición de la longitud de la hoja se utilizó un vernier digital y se midió en milímetros desde el peciolo hasta el ápice de la hoja. El descriptor por planta se expresó como el promedio de las cinco mediciones.
- **Ancho de la hoja (AH)**

  El procedimiento fue similar a la medida del largo de la hoja. Se midió en milímetros las cinco hojas en el punto más ancho, y luego el valor del ancho de la hoja por planta se expresó como el promedio de las cinco mediciones.
- **Número de flores por axila (NFA)**

  Por selección al azar en 10 axilas se contó el número de flores para obtener el promedio de los mismos.
- **Número de flores por fascículo (NFF)**

De la igual se seleccionó al azar en 10 fascículos para contar el número de flores y obtuvimos el promedio.

- **Número de fascículos por nudo (NFPN)**

  Siguiendo el mismo procedimiento se contó el número de fascículos en 10 nudos y obtener el promedio.

- **Número de frutos por nudo (NFN)**

  Se seleccionó 10 nudos al azar para realizar el conteo de los frutos por nudo y obtener el promedio.

- **Longitud de fruto (LF)**

  Se midió en milímetros en la parte más larga del fruto (IPGRI, 1996) luego el valor del descriptor por planta se expresó como la media de las tres mediciones.

- **Ancho del fruto (AF)**

  También fue medido en milímetros en la parte más ancha del fruto (IPGRI, 1996). Finalmente, el valor del descriptor por planta se consideró como la media de las tres mediciones.

- **Peso fresco del fruto por planta (PFFP)**

  Se cosechó 100 frutos maduros por planta y en una balanza electrónica se pesó el fruto fresco por planta.

- **Peso de fruto seco por planta (PFSP)**

  Se secó al 11% 100 granos de café seco por planta e igualmente se pesó en la balanza electrónica para obtener el respectivo peso seco.

- **Incidencia de la roya (%)**

  Para evaluar la incidencia de la roya primeramente se seleccionó la planta que presenta menor presencia de la enfermedad y se contó la cantidad de hojas con roya en diez ramas al azar y se obtuvo el promedio.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación de cultivares de café tolerantes a la roya de café *(Hemileia vastatrix)*

4.1.1. Cultivar de café CCP-COIPSA-01

Este cultivar con código CCP-COIPSA-01 se encuentra ubicado en el Lote Nº 1 de la Colonia San Pablo del Cantón San Pablo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Isaac Pablo Quispe Choque, repicado de una planta de 30 años de edad, con la georreferenciación de: Latitud 657035.189 E, Longitud 8254342 N, 19 L, a una altitud de 1.217 m.s.n.m.

Cuadro 5. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a la roya del fenotipo CSP-COIPSA-01.

Pasaporte		**CSP-COIPSA-01**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	San Pablo		
Altitud (msnm)	1217		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Ovada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Débil		
Longitud de la hoja (mm)	200		
Ancho de la hoja (mm)	99.6		
Longitud del peciolo foliar (mm)	13.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades (porcentaje de incidencia)**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	1.60%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde claro brillo		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	12
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	3
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	10
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	17.4
Ancho del fruto (mm)	15
Espesor del fruto (mm)	0.44

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	14
Ancho de la semilla (mm)	8.8
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Obovada
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	179
Apariencia general	Piramidal
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	52
Número de nudos por bandola	15.2
Número de frutos por nudo	22
Peso de 100 bayas por planta	192 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

En el Cuadro 5 podemos observar que el fenotipo CSP-COIPASA-01 tiene como característica sobresaliente en la longitud de hoja (LH) con 200 mm, ancho de hoja (AH) con 99,6 mm, número de flores por axila (NFA) con 12 flores y lo más importante la tolerancia a la roya que es del 1.60% que sería muy bueno para la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo.

4.1.2. Cultivar de café CLO-FAP-02

Este cultivar con código CLO-FAP-02 se encuentra ubicado en el Lote Nº 23 de la comunidad Los Andes del Cantón San Lorenzo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Franklin Aduviri Poma, la planta caracterizada tiene 30 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 662312.362 E, Longitud 8250681.597 N, 19 L, a una altitud de 1.082.62 m.s.n.m.

Cuadro 6. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades de fenotipo CLO-FAP-02.

Pasaporte		**CLO-FAP-02**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Los Andes		
Altitud (msnm)	1083		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Elíptica		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Muy fuerte		
Longitud de la hoja (mm)	148		
Ancho de la hoja (mm)	64		
Longitud del peciolo foliar (mm)	12.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	6.44%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.8		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	4
Número de flores por fascículo	2
Número de fascículos por nudo	2
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	8
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Duro
Longitud del fruto (mm)	14.7
Ancho del fruto (mm)	13.9
Espesor del fruto (mm)	0.44

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.5
Ancho de la semilla (mm)	8.7
Grosor de la semilla (mm)	5.22
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Redondeada
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	200
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Simpódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias y secundarias con algunas ramas terciarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Número de bandolas o ramas	54
Número de nudos por bandola	7.6
Número de frutos por nudo	7.8
Peso de 100 bayas por planta	185 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

De acuerdo al cuadro 6 se puede observar que el fenotipo CLO-FAP-02 tiene como característica sobresaliente en el número de bandolas o ramas (NB) con 52 bandolas, en cuanto a la tolerancia a la roya que es del 6.44% este fenotipo se puede utilizar en la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo y realizar estudios a diferentes altitudes.

4.1.3. Cultivar de café CCQ-03

El cultivar con código CCQ-03 se encuentra ubicado en el Lote Nº 13 de la colonia Quijarro del Cantón Uyunense de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad de la Sra. Florinda Soliz de Condori, la planta tiene 8 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 648426.234 E, Longitud 8240304.219 N, 19 L, a una altitud de 1.382 m.s.n.m.

Cuadro 7. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCQ-03.

Pasaporte		**CCQ-03**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Quijarro		
Altitud (msnm)	1382		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Fuerte		
Longitud de la hoja (mm)	170		
Ancho de la hoja (mm)	72		
Longitud del peciolo foliar (mm)	18.6		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	10.40%
Longitud de arista, estípula (mm)	2.6		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	7
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	7
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	15.8
Ancho del fruto (mm)	13.7
Espesor del fruto (mm)	0.44

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	13.3
Ancho de la semilla (mm)	8.4
Grosor de la semilla (mm)	5.1
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Obovada
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	225
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias y secundarios y con algunas ramas terciarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Número de bandolas o ramas	88
Número de nudos por bandola	21
Número de frutos por nudo	16.8
Peso de 100 bayas por planta	197 g
Peso de 100 granos por planta	30 g

En el cuadro 7, las características del fenotipo CCQ-03 tiene como sobresaliente en el número de bandolas (NB) con 88 bandolas, número de nudos por bandola (NNB) con 21 nudos, número de frutos por nudo (NFN) con 16.8 frutos, siendo un fenotipo muy productivo,

su porcentaje de tolerancia a la roya es de 10.40%, aceptable para el cultivo de nuevas parcelas.

4.1.4. Cultivar de café CCQ-04

El cultivar con código CCQ-04 se encuentra ubicado en el Lote Nº 13 de la colonia Quijarro del Cantón Uyunense de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad de la Sra. Florinda Soliz de Condori, la planta tiene 8 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 648420.55 E, Longitud 8240304.422 N, 19 L, a una altitud de 1.377 m.s.n.m.

Cuadro 8. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCQ-04.

Pasaporte		**CCQ-04**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Quijarro		
Altitud (msnm)	1376		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Fuerte		
Longitud de la hoja (mm)	154		
Ancho de la hoja (mm)	68		
Longitud del peciolo foliar (mm)	14.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	9.50%
Longitud de arista, estípula (mm)	2.8		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	9
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	4
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	16.2
Ancho del fruto (mm)	13.8
Espesor del fruto (mm)	0.44

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.9
Ancho de la semilla (mm)	8.3
Grosor de la semilla (mm)	5.2
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Obovada
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	221
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias y con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	semierecto
Numero de bandolas o ramas	90
Número de nudos por bandola	23.2
Número de frutos por nudo	18
Peso de 100 bayas por planta	197 g
Peso de 100 granos por planta	29 g

En el cuadro 8, el fenotipo CCQ-04 tiene como característica sobresaliente en el número de bandolas (NB) con 90 bandolas, número de nudos por bandola (NNB) con 23 nudos, número de frutos por nudo (NFN) con 18 frutos, peso fresco del fruto por planta (PFFP) es

de 197 g, también es un fenotipo muy productivo, su porcentaje de tolerancia a la roya es de 9.50%, apto para la implementación de nuevas parcelas.

4.1.5. Cultivar de café CCU-06

Este cultivar con código CCU-06 se encuentra ubicado en el Lote Nº 24 de la comunidad Uchumachi del Cantón Carrasco La Reserva de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Andrés Uluri, la planta tiene 7 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 656814.029 E, Longitud 82677748.852 N, 19 L, a una altitud de 1.380 m.s.n.m.

Cuadro 9. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCU-06.

Pasaporte		**CCU-06**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Uchumachi		
Altitud (msnm)	1308		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Muy fuerte		
Longitud de la hoja (mm)	136		
Ancho de la hoja (mm)	122		
Longitud del peciolo foliar (mm)	11.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	8.33%
Longitud de arista, estípula (mm)	2.8		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde claro brilloso		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	12
Número de flores por fascículo	3
Número de fascículos por nudo	6
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	10
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	17
Ancho del fruto (mm)	14
Espesor del fruto (mm)	0.54

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.2
Ancho de la semilla (mm)	8.6
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	210
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias y secundarias con algunas ramas terciarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Semierecto
Numero de bandolas o ramas	95
Número de nudos por bandola	22
Número de frutos por nudo	18.4
Peso de 100 bayas por planta	184 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

En el cuadro 9 el fenotipo CCU-06 tiene como característica sobresaliente en número de flores por axila (NFA) con 12 flores, número de fascículo por nudo (NFN-1) con 6 fascículos,

número de bandolas (NB) con 92 bandolas, la tolerancia a la roya es del 8.33% ideal para la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo.

4.1.6. Cultivar de café CCH-08

El cultivar con código CCH-08 se encuentra ubicado en el Lote Nº 21 de la comunidad Chojñapampa del cantón Carrasco La Reserva de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Gregorio Chalco Mamani, la planta tiene 8 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 656208.567 E, Longitud 8268787.513 N, 19 L, a una altitud de 1.552 m.s.n.m.

Cuadro 10. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-08.

Pasaporte		**CCH-08**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Chojñapampa		
Altitud (msnm)	1552		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Media		
Longitud de la hoja (mm)	180.4		
Ancho de la hoja (mm)	90.4		
Longitud del peciolo foliar (mm)	14.4		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	3.18%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.6		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	8
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	5
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	16.4
Ancho del fruto (mm)	14.9
Espesor del fruto (mm)	0.62

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.2
Ancho de la semilla (mm)	8.1
Grosor de la semilla (mm)	4.7
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	260
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	127
Número de nudos por bandola	25.2
Número de frutos por nudo	15.8
Peso de 100 bayas por planta	223 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

En el cuadro 10 el fenotipo CCH-08 tiene como característica sobresaliente en largo de hoja (LH) con 181,4 mm, ancho de hoja (AH) con 90,4 mm, número de bandolas (NB), con 127 bandolas, número de nudos por bandola (NNB) con 25,2 nudos, la tolerancia a la roya es del 3.18% siendo el segundo fenotipo con buena tolerancia.

4.1.7. Cultivar de café CCH-09

El cultivar con código CCH-09 se encuentra ubicado en el Lote Nº 21 de la comunidad Chojñapampa del Cantón Carrasco La Reserva de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Gregorio Chalco Mamani, la planta tiene 7 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 656139.351 E, Longitud 8268916.91 N, 19 L, a una altitud de 1.487 m.s.n.m.

Cuadro 11. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-09.

Pasaporte	
País	Bolivia
Departamento	La Paz
Provincia	Caranavi
Municipio	Caranavi
Comunidad	Chojñapampa
Altitud (msnm)	1487
Características de la planta	
Forma de la hoja	Lanceolada
Forma del ápice	Apiculada
Longitud de entrenudos	Corta
Intensidad de la ramificación	Fuerte
Longitud de la hoja (mm)	163
Ancho de la hoja (mm)	76
Longitud del peciolo foliar (mm)	10.8
Color del peciolo foliar	Verde
Color de la hoja madura	Verde
Borde de la hoja	Lisa
Tipo de nervadura	Arqueado
Inserción de las hojas	Opuestas
Forma del domacio	Cripta
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja
Posición del domacio	Abaxial de las hojas
Forma de estípula	Oval
Longitud de arista, estípula (mm)	4
Color del brote (yemas)	Verde
Color de la hoja joven	Verduzca

CCH-09

Tolerancia a enfermedades	
Roya (*Hemileia vastatrix*)	7.30%

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	8
Número de flores por fascículo	3
Número de fascículos por nudo	7
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4
Longitud del tubo de la corola (mm)	8
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Amarillo
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	16.9
Ancho del fruto (mm)	15
Espesor del fruto (mm)	0.36

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	13
Ancho de la semilla (mm)	7.9
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	208
Apariencia general	Elongada cónica
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Semi erecto
Numero de bandolas o ramas	105
Número de nudos por bandola	18.6
Número de frutos por nudo	15.4
Peso de 100 bayas por planta	218 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

En el cuadro 11 el fenotipo CCH-09 tiene como característica sobresaliente en número de bandolas (NB) con 105 bandolas, número de nudos por bandola (NNB) con 18.6 nudos, número de fascículo por nudo (NFN-1) con 7 fascículos, en la tolerancia a la roya es del

7.30% apto para realizar nuevas investigaciones y en la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo.

4.1.8. Cultivar de café CCH-10

El cultivar con código CCH-10 se encuentra ubicado en el Lote Nº 21 de la comunidad Chojñapampa del Cantón Carrasco La Reserva de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Gregorio Chalco Mamani, la planta tiene 7 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 656155.722 E, Longitud 8268901.4 N, 19 L, a una altitud de 1.487 m.s.n.m.

Cuadro 12. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCH-10.

Pasaporte		**CCH-10**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Chojñapampa		
Altitud (msnm)	1487		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Media		
Intensidad de la ramificación	Media		
Longitud de la hoja (mm)	158.6		
Ancho de la hoja (mm)	65.4		
Longitud del peciolo foliar (mm)	13		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	5.30%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	4
Número de flores por fascículo	6
Número de fascículos por nudo	5
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	18.1
Ancho del fruto (mm)	15.2
Espesor del fruto (mm)	0.52

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.4
Ancho de la semilla (mm)	8.4
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	240
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Semi erecto
Numero de bandolas o ramas	58
Número de nudos por bandola	18.6
Número de frutos por nudo	20.2
Peso de 100 bayas por planta	226 g
Peso de 100 granos por planta	31 g

En el cuadro 12 el fenotipo CCH-10 tiene como característica sobresaliente en número de flores por axila (NFA) con 13 flores, número de flores por fascículos (NFF) con 4 flores por fascículos, número de nudos por bandola (NNB) con 18.6 nudos por bandola, número de

frutos por nudos (NFN) con 20.2 frutos por nudos, en la tolerancia a la roya es del 5.30% siendo el tercero en destacarse por su tolerancia, apto para realizar nuevos investigaciones y en la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo.

4.1.9. Cultivar de café CRM-11

El cultivar con código CRM-11 se encuentra ubicado en el Lote Nº 29 de la comunidad Río Mercedes del Cantón Caranavi Rural de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Gregorio Quispe, la planta tiene 5 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 670084.956 E, Longitud 8243151.437 N, 19 L, a una altitud de 1.382 m.s.n.m.

Cuadro 13. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CRM-11.

Pasaporte		**CRM-11**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Río Mercedes		
Altitud (msnm)	1382		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Media		
Intensidad de la ramificación	Media		
Longitud de la hoja (mm)	188.4		
Ancho de la hoja (mm)	91		
Longitud del peciolo foliar (mm)	13		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	9.40%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	8
Número de flores por fascículo	3
Número de fascículos por nudo	3
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	3
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	16.6
Ancho del fruto (mm)	14.7
Espesor del fruto (mm)	0.4

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.4
Ancho de la semilla (mm)	8.4
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Redonda
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	210
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	48
Número de nudos por bandola	17.4
Número de frutos por nudo	12.4
Peso de 100 bayas por planta	203 g
Peso de 100 granos por planta	28 g

En el cuadro 13 el fenotipo CRM-11 tiene como característica sobresaliente en el largo de hoja (LH) con 188.4 mm, ancho de hoja (AH) con 91 mm, número de flores por axila (NFA) con 8 flores por axila, número de flores por fascículos (NFF) con 3 flores por fascículos, número de nudos por bandola (NNB) con 17,4 nudos por bandola, en la tolerancia a la roya es del 9.40% apto para en la implementación de nuevas parcelas con este fenotipo.

4.1.10. Cultivar de café CRM-12

Este cultivar con código CRM-12 se encuentra ubicado en el Lote Nº 29 de la comunidad Río Mercedes del Cantón Caranavi Rural de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Gregorio Quispe, la planta tiene 5 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 669940.701 E, Longitud 8243161.61 N, 19 L, a una altitud de 1.366 m.s.n.m.

Cuadro 14. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CRM-12.

Pasaporte		**CRM-12**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Río Mercedes		
Altitud (msnm)	1366		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Ovada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Débil		
Longitud de la hoja (mm)	164.8		
Ancho de la hoja (mm)	81.6		
Longitud del peciolo foliar (mm)	12		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	14.48%
Longitud de arista, estípula (mm)	4.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	6
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	3
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	medio
Longitud del fruto (mm)	15
Ancho del fruto (mm)	14
Espesor del fruto (mm)	0.48

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	11.9
Ancho de la semilla (mm)	8.5
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	186
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias.
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	48
Número de nudos por bandola	13
Número de frutos por nudo	10.8
Peso de 100 bayas por planta	186 g
Peso de 100 granos por planta	29 g

En el cuadro 14 el fenotipo CRM-12 tiene como característica sobresaliente en el número de flores por axila (NFA) con 6 flores por axila, número de flores por fascículos (NFF) con 4 flores por fascículos, en la tolerancia a la roya es del 14.48% se debe realizar nuevos estudios para el uso o no de este fenotipo.

4.1.11. Cultivar de café COV-13

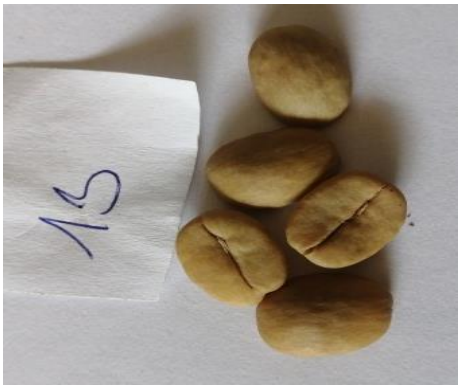
El cultivar con código COV-13 se encuentra ubicado en el Lote S/N de la comunidad Oro Verde del Cantón San Lorenzo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Ronald Achillo, la planta tiene 15 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 664618.07 E, Longitud 8250582.348 N, 19 L, a una altitud de 1.378 m.s.n.m.

Cuadro 15. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo COV-13.

Pasaporte		**COV-13**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Oro Verde		
Altitud (msnm)	1378		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Elíptica		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Media		
Longitud de la hoja (mm)	164		
Ancho de la hoja (mm)	77.4		
Longitud del peciolo foliar (mm)	12.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Marrón oscuro		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	13.92%
Longitud de arista, estípula (mm)	4.2		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	4
Número de flores por fascículo	3
Número de fascículos por nudo	2
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	3
Longitud del tubo de la corola (mm)	8
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Duro
Longitud del fruto (mm)	16
Ancho del fruto (mm)	15
Espesor del fruto (mm)	0.5

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	11.5
Ancho de la semilla (mm)	8.4
Grosor de la semilla (mm)	4.9
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Redonda
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	210
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muy pocas ramas primarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	96
Número de nudos por bandola	10
Número de frutos por nudo	7.8
Peso de 100 bayas por planta	206 g
Peso de 100 granos por planta	30 g



En el cuadro 15 el fenotipo COV-13 tiene como característica sobresaliente en el número de bandolas (NB) con 96 bandolas, número de nudos por bandola (NNB) con 10 nudos por bandola, peso fresco del fruto por planta (PFFP) con 206 g, en la tolerancia a la roya es del 13.92% se debe realizar nuevos estudios para el uso o no de este fenotipo.

4.1.12. Cultivar de café CCAS-14

Este cultivar con código CCAS-14 se encuentra ubicado en el Lote Nº 17 B de la cooperativa Alto Sajama del Cantón San Lorenzo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad de la Sra. Bernardina Huiza Ancasi, la planta tiene 6 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 666813.646 E, Longitud 8249899.504 N, 19 L, a una altitud de 1.522 m.s.n.m.

Cuadro 16. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-14.

Pasaporte		**CCAS-14**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Coop. Alto Sajama		
Altitud (msnm)	1522		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Débil		
Longitud de la hoja (mm)	140		
Ancho de la hoja (mm)	61.6		
Longitud del peciolo foliar (mm)	11		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	20.82%
Longitud de arista, estípula (mm)	4.2		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	4
Número de flores por fascículo	3
Número de fascículos por nudo	3
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	3
Longitud del tubo de la corola (mm)	6
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Amarillo naranja
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	15.8
Ancho del fruto (mm)	13.8
Espesor del fruto (mm)	0.56

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	11.7
Ancho de la semilla (mm)	7.6
Grosor de la semilla (mm)	5
Color de la semilla	Oblonga
Forma de la semilla	Amarillo
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	230
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	74
Número de nudos por bandola	26.6
Número de frutos por nudo	7.8
Peso de 100 bayas por planta	198 g
Peso de 100 granos por planta	25 g

En el cuadro 16 el fenotipo CCAS-14 no tiene características sobresalientes que lo puedan diferenciar de los demás fenotipos, en la tolerancia a la roya es del 20.82% por su susceptibilidad no es recomendable su cultivo.

4.1.13. Cultivar de café CCAS-15

Este cultivar con código CCAS-15 se encuentra ubicado en el Lote Nº 17 B de la cooperativa Alto Sajama del Cantón San Lorenzo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad de la Sra. Bernardina Huiza Ancasi, la planta tiene 6 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 666812.571 E, Longitud 8249813.811 N, 19 L, a una altitud de 1.545 m.s.n.m.

Cuadro 17. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-15.

Pasaporte		**CCAS-15**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Coop. Alto Sajama		
Altitud (msnm)	1545		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Lanceolada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Media		
Longitud de la hoja (mm)	170.8		
Ancho de la hoja (mm)	77.6		
Longitud del peciolo foliar (mm)	13.2		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	11.21%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	5
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	4
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	4
Longitud del tubo de la corola (mm)	6
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	15.8
Ancho del fruto (mm)	13.8
Espesor del fruto (mm)	0.56

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	13.2
Ancho de la semilla (mm)	8.36
Grosor de la semilla (mm)	5.04
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	250
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Colgante
Numero de bandolas o ramas	73
Número de nudos por bandola	19.6
Número de frutos por nudo	11.6
Peso de 100 bayas por planta	230 g
Peso de 100 granos por planta	37 g

En el cuadro 17 el fenotipo CCAS-15 tiene como característica sobresaliente en el número de flores por axila (NFA) con 5 flores por axila, número de flores por fascículos (NFF) con 4 flores por fascículos, número de nudos por bandola (NNB) con 19.6 nudos por bandola, en cuanto a la tolerancia a la roya es del 11.21 % se debe realizar nuevos estudios para el uso o no de este fenotipo.

4.1.14. Cultivar de café CCAS-16

Este cultivar con código CCAS-16 se encuentra ubicado en el Lote Nº 17 B de la cooperativa Alto Sajama del Cantón San Lorenzo de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad de la Sra. Bernardina Huiza Ancasi, la planta tiene 7 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 666812.611 E, Longitud 8249868.33 N, 19 L, a una altitud de 1.547 m.s.n.m.

Cuadro 18. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCAS-16.

Pasaporte		**CCAS-16**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Coop. Alto Sajama		
Altitud (msnm)	1547		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Obovada		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Muy débil		
Longitud de la hoja (mm)	154.4		
Ancho de la hoja (mm)	71.6		
Longitud del peciolo foliar (mm)	10.4		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	25.90%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.2		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verde claro brilloso		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	4
Número de flores por fascículo	2
Número de fascículos por nudo	4
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	3
Longitud del tubo de la corola (mm)	5
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Naranja rojiza
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Suave
Longitud del fruto (mm)	15.8
Ancho del fruto (mm)	14
Espesor del fruto (mm)	0.28

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.1
Ancho de la semilla (mm)	8.1
Grosor de la semilla (mm)	4.9
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	220
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	horizontal
Numero de bandolas o ramas	58
Número de nudos por bandola	15
Número de frutos por nudo	8.8
Peso de 100 bayas por planta	228 g
Peso de 100 granos por planta	36 g

En el cuadro 18 el fenotipo CCAS-16 no tiene características sobresalientes que lo puedan diferenciar de los demás fenotipos, en la tolerancia a la roya es del 25.90% por su susceptibilidad no es recomendable su cultivo.

4.1.15. Cultivar de café CCNJ-CFC-18

Este cultivar con código CCNJ-CFC-18 se encuentra ubicado en el Lote Nº 25 de la comunidad Niño Jesús del Cantón Caranavi Rural de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Carlos Fernández Camiño, la planta tiene 5 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 662552.427 E, Longitud 8245292.59 N, 19 L, a una altitud de 1.427 m.s.n.m.

Cuadro 19. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCNJ-CFC-18.

Pasaporte		**CCNJ-CFC-18**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Niño Jesús		
Altitud (msnm)	1427		
Características de la Planta			
Forma de la hoja	Elíptica		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Media		
Intensidad de la ramificación	Muy débil		
Longitud de la hoja (mm)	179.8		
Ancho de la hoja (mm)	81		
Longitud del peciolo foliar (mm)	17.8		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	6.28%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.8		
Color del brote (yemas)	Rojo morado		
Color de la hoja joven	Verde		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	7
Número de flores por fascículo	2
Número de fascículos por nudo	6
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	5
Longitud del tubo de la corola (mm)	9
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado, pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	16.6
Ancho del fruto (mm)	16
Espesor del fruto (mm)	0.5

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	12.6
Ancho de la semilla (mm)	8.5
Grosor de la semilla (mm)	5.1
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Oblonga
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	234
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias y secundarias con algunas ramas terciarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Colgante
Numero de bandolas o ramas	76
Número de nudos por bandola	13
Número de frutos por nudo	10.8
Peso de 100 bayas por planta	234 g
Peso de 100 granos por planta	33 g

En el cuadro 19 el fenotipo CCNJ-CFC-18 tiene como característica sobresaliente en el número de flores por axila (NFA) con 7 flores por axila, largo del fruto (LF) con 16.6 mm, ancho del fruto (AF) con 16 mm, que le da forma redonda, peso fresco del fruto por planta (PFFP) con 230 g, peso seco del fruto por planta (PSFP) con 33 g; en la tolerancia a la roya es del 6.28% apto para la implementación de nuevos cultivos con este fenotipo.

4.1.16. Cultivar de café CCNJ-HQB-19

El cultivar con código CCNJ-HQB-19 se encuentra ubicado en el Lote Nº 26 de la comunidad Niño Jesús del Cantón Caranavi Rural de la provincia Caranavi del departamento de La Paz, de propiedad del Sr. Hilarión Quispe Blanco, la planta tiene 6 años de edad, la georreferenciación es el siguiente. Latitud 662802.804 E, Longitud 8245360.176 N, 19 L, a una altitud de 1.450 m.s.n.m.

Cuadro 20. Características morfológicas de fenotipos de café tolerantes a principales enfermedades del fenotipo CCNJ-HQB-19

Pasaporte		**CCNJ-HQB-19**	
País	Bolivia		
Departamento	La Paz		
Provincia	Caranavi		
Municipio	Caranavi		
Comunidad	Niño Jesús		
Altitud (msnm)	1450		
Características de la planta			
Forma de la hoja	Elíptica		
Forma del ápice	Apiculada		
Longitud de entrenudos	Corta		
Intensidad de la ramificación	Débil		
Longitud de la hoja (mm)	157.2		
Ancho de la hoja (mm)	64.4		
Longitud del peciolo foliar (mm)	13.4		
Color del peciolo foliar	Verde		
Color de la hoja madura	Verde		
Borde de la hoja	Lisa		
Tipo de nervadura	Arqueado		
Inserción de las hojas	Opuestas		
Forma del domacio	Cripta		
Forma de apertura de domacio	Envés de la hoja		
Posición del domacio	Abaxial de las hojas	**Tolerancia a enfermedades**	
Forma de estípula	Oval	Roya (*Hemileia vastatrix*)	24.60%
Longitud de arista, estípula (mm)	3.4		
Color del brote (yemas)	Verde		
Color de la hoja joven	Verduzca		

Características de inflorescencia y floración	
Posición de la inflorescencia	Axilar
Número de flores por axila	5
Número de flores por fascículo	4
Número de fascículos por nudo	3
Longitud del tallo de la inflorescencia (mm)	3
Longitud del tubo de la corola (mm)	8
Número de pétalos por flor	5
Número de estambres por flor	5
Características del fruto	
Color del fruto	Rojo purpura
Forma del fruto	Redondeada
Forma de disco del fruto	Disco marcado pero no prominente
Adherencia del fruto	Medio
Longitud del fruto (mm)	14.4
Ancho del fruto (mm)	14.2
Espesor del fruto (mm)	0.35

Características de la semilla	
Longitud de la semilla (mm)	10.3
Ancho de la semilla (mm)	7.3
Grosor de la semilla (mm)	4.1
Color de la semilla	Amarillo
Forma de la semilla	Redonda
Características agronómicas	
Hábito de la planta	Arbusto
Altura de la planta (cm)	230
Apariencia general	Arbustiforme
Desarrollo vegetativo	Monopódico
Hábito de ramificación	Muchas ramas primarias con algunas ramas secundarias
Ángulo de inserción de ramas primarias	Horizontal
Numero de bandolas o ramas	66
Número de nudos por bandola	13
Número de frutos por nudo	8.2
Peso de 100 bayas por planta	172 g
Peso de 100 granos por planta	23 g

En el cuadro 20 el fenotipo CCNJ-19 tiene como característica sobresaliente en el número de flores por axila (NFA) con 5 flores por axila, número de flores por fascículos (NFF) con 4 flores por fascículos, largo del fruto (LF) con 14.4mm, ancho de fruto (AF) con 14.2 mm, teniendo forma redonda el fruto, en cuanto a la tolerancia a la roya es del 24.60% es el fenotipo más susceptible a la roya.

4.2. Análisis descriptivo de variables cualitativas y cuantitativas

4.2.1. Variables cualitativas

Cuadro 21. Presentación de las variables cualitativas de los 16 cultivares de café.

Intensidad de ramificación	fi	(%)
Muy débil	2	12.50%
Débil	4	25.00%
Media	5	31.25%
Fuerte	3	18.75%
Muy fuerte	2	12.50%
Forma de la hoja	**fi**	**(%)**
Obovada	1	6.25%
Ovada	2	12.50%
Elíptica	4	25.00%
Lanceolada	9	56.25%
Color de fruto	**fi**	**(%)**
Amarillo	1	6.25%
Amarillo naranja	1	6.25%
Naranja rojiza	1	6.25%
Rojo	3	18.75%
Rojo púrpura	7	43.75%
Púrpura	3	18.75%
Adherencia del fruto	**fi**	**(%)**
Suave	7	43.75%
Medio	7	43.75%
Duro	2	12.50%

De acuerdo con el cuadro 21, en la intensidad de ramificación, se observa la predominancia de media con 31.25% y débil con 25.00% respectivamente y en menor proporción muy débil y muy fuerte. En la variable forma de hoja predomina la forma lanceolada con 56.25% que representa a más de la mitad y en menor proporción la forma ovada con 12.50% y Obovada 6.25%.

En la variable color de fruto, se observa la predominancia del color rojo purpura con 43.75% y en menor proporción los tonos amarillo a naranja rojiza con 6.25%.

En la variable adherencia de fruto predomina el suave y medio con 43.75% y en menor proporción el duro con 12.50%, se debe mencionar que la adherencia suave facilita al productor el fácil desprendimiento del fruto del cafeto al momento de la cosecha.

4.2.2. Variables cuantitativas

Cuadro 22. Resumen y medidas de tendencia central de variables cuantitativas

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	CV
AP	16	231,31	40,72	179,00	360,00	17,60
NB	16	75,31	22,83	48,00	127,00	30,32
NNB	16	17,74	5,28	7,60	26,60	29,75
LH	16	164,45	17,11	136,00	200,00	10,41
AH	16	79,16	15,59	61,60	122,00	19,69
NFA	16	7,25	3,02	4,00	13,00	41,68
NFF	16	3,31	0,79	2,00	4,00	23,95
NFN	16	13,34	4,76	7,80	22,00	35,66
NFN-1	16	4,25	1,69	2,00	7,00	39,84
LF	16	16,17	0,96	14,40	18,10	5,96
AF	16	14,45	0,68	13,70	16,00	4,72
PFFP	16	203,94	20,40	172,00	234,00	10,00
PSFP	16	29,31	3,26	23,00	37,00	11,12

Según el cuadro 22, las características de mayor variabilidad son NFA, NFN-1, NFN, NB, NNB y NFF, esto significa que hay bastante variación morfológica que puede atribuirse a efectos genéticos y sumados al componente ambiental. Las características con menor variabilidad fueron AH, AP, PSFP, PFFP, LH, LF y AF lo que indica cierta homogeneidad entre individuos.

4.3. Tolerancia a la incidencia de la roya del café en los cultivados identificados

4.3.1. Análisis de Componentes Principales (similitudes) en base a los descriptores morfológicos de los cultivares.

De acuerdo a la Figura 6, presentado sobre el Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables seleccionadas, en base a las similitudes de los cultivares, mostrada en 4 cuadrantes y en dos dimensiones, en donde se logra observar de los 16 cultivares de café, agrupadas en 7 grupos de acuerdo a las similitudes entre los cultivares en relación a la tolerancia a la enfermedad de la Roya, como se presenta a continuación:

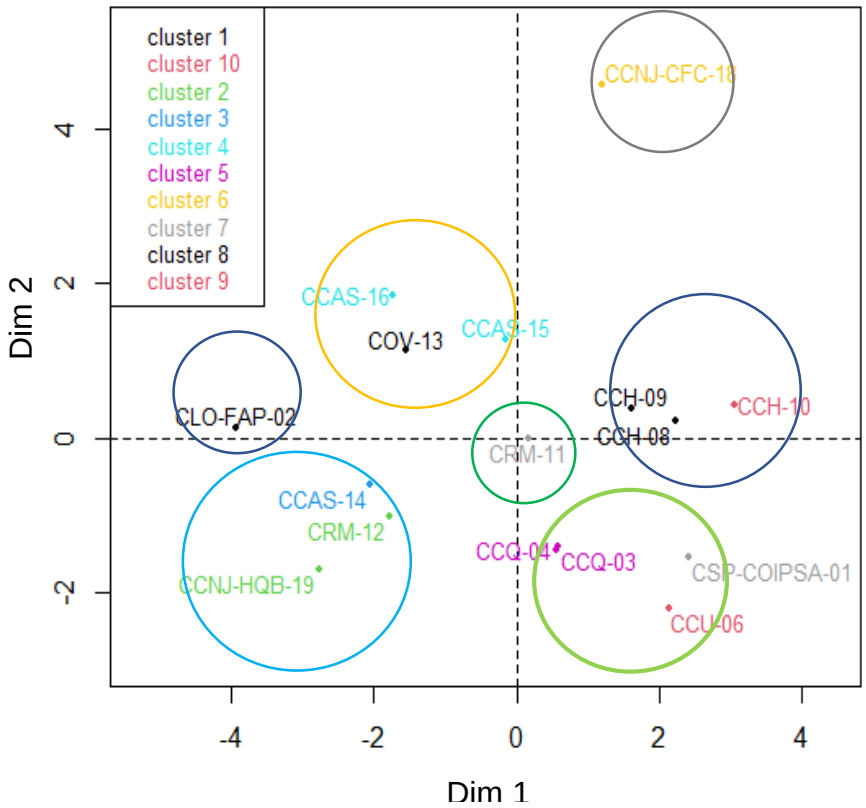


Figura 6. Plano principal presentado en cuadro cuadrantes mediante las similitudes de los cultivares de café por grupos.

Continuando con la Figura 6, el análisis de componentes principales (ACP), muestra una la información usada aproximadamente de 52,29% en la relación de variables y los cultivares. De acuerdo a la similitud de los cultivares en dos dimensiones, sin embargo, se muestra también una pérdida de información de 47.71%, de los cuales, la dimensión 1 aporta con 31.43% y la dimensión 2 con 20.86%.

Es así que Di Rienzo (2008), hace referencia que el análisis de componentes principales, permite analizar la interdependencia de variables y observaciones y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos de una tabla de observaciones. El análisis de componentes principales (ACP) trata de encontrar, con pérdida mínima de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de variación en las filas de la tabla de datos.

4.3.2. Análisis de Componentes Principales (ACP), análisis Clúster de los cultivares de café sobre las dimensiones de ACP.

De acuerdo al análisis Clúster presentado en la Figura 7, se puede observar que los cultivares de café se han dividido en tres grupos de manera específica compuesto por grupo 1 (CRM-11, CSP-COIPSA-01, CCU-06, CCH-10, CCQ-04, CCQ-03, CCH-08, CCH-09), grupo 2 (CLO-FAP-02, COV-13, CCAS-14, CCNJ-HQB-19 y CRM-12) y finalmente en grupo 3 (CCNJ-CFC-18, CCAS-16 y CCAS-15). Las alturas de cada rama de cada grupo y de cada cultivar, se han observado de acuerdo a la altura de cada individuo, en base a eso se clasifico en grupos de afinidad o similitud formando tres Clústers en el dendrograma.

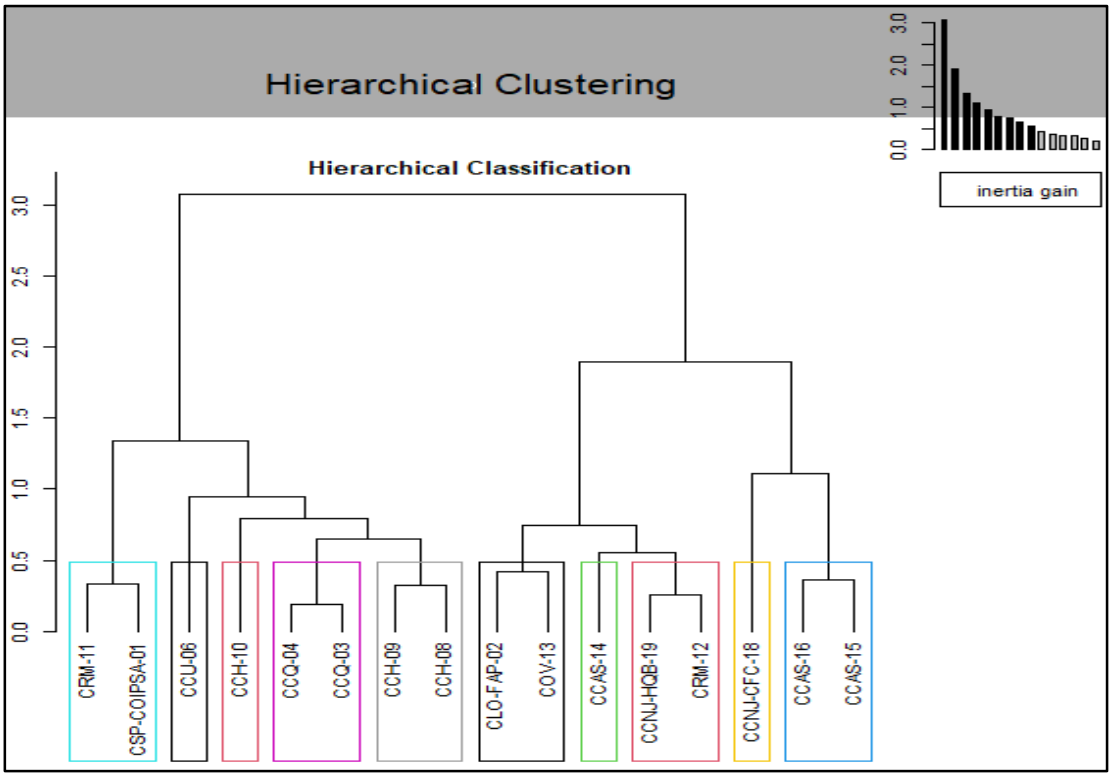


Figura 7. Dendrograma de agrupamiento jerárquico (distancia Euclides y método de Ward) de los cultivares de café con tolerancia a la Roya.

De acuerdo a la Figura 7, presentado, se puede atribuir a que las variaciones de los cultivares en cuanto a la tolerancia a la Roya, fueron probablemente incididos por el factor genético, de la misma forma a las condiciones climáticas que presenta los lotes, en donde se han realizado los muestreos, las condiciones de suelo, condiciones topográficas, altitud que presenta cada lote, por la información preliminar que se tiene es bastante variable, en donde, en la mayoría del terrenos se ubican en pendientes accidentados, aparte sufren constantes precipitaciones, los cuales, favorecen lavados de los materiales orgánicas y minerales del suelo, por lo tanto, no hay una buena fertilidad de los suelos. Por otro lado, influye el factor sombra o la presencia de luz, sabiendo que no se dispone de un buen manejo agronómico en los cultivos de café, lo cual favorece la incidencia de las diferentes enfermedades en los cultivos y como resultado bajos rendimientos.

4.3.3. Presentación del círculo de correlación y las similitudes de las variables de café.

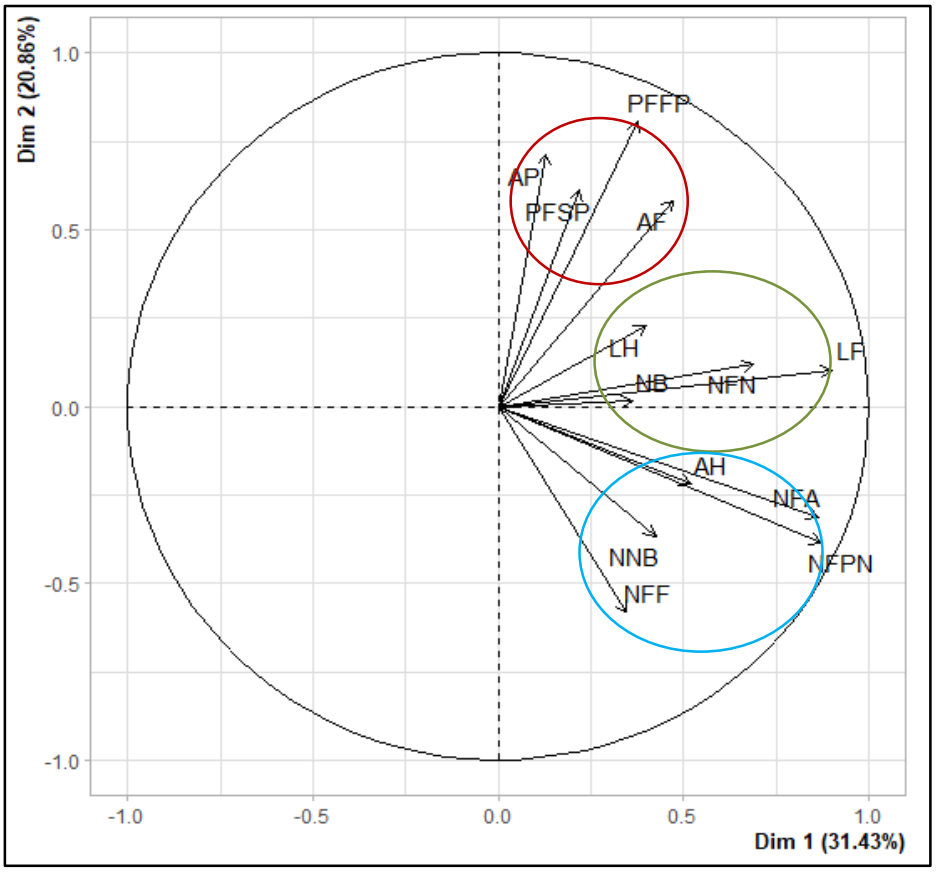


Figura 8. Presentación del círculo de correlación de las variables cuantitativas de café.

Este análisis se realizó utilizando las características cuantitativas de la hoja, rama, flores, fruto de los cultivares en estudio, en base a los cantones en donde fueron muestreadas y evaluadas. Las variables utilizadas para la formación de los conglomerados fueron la altura de planta (AP),número de ramas o bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB), número de frutos por nudo (NFN), longitud de la hoja (LH), ancho de la hoja (AH), número de flores por axila (NFA), número de flores por fascículo (NFF), números de fascículos por nudo (NFN_1), longitud de fruto (LF), ancho del fruto (AF), peso fresco por planta (PFFP), peso seco por planta (PFSP) ya que estos descriptores se midieron en la misma escala.

De los cuales también se observó el nivel de agrupamiento de los componentes, en donde, claramente se pudo evidenciar en grupos y en diferentes distancias, el primer conformado por altura de planta (AP), peso fresco por planta (PFFP), peso seco por planta (PFSP), ancho de la hoja (AH) y ancho del fruto (AF), sin embargo, el segundo grupo se conformó por: número de ramas o bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB) y número de flores por fascículo (NFF), y finalmente el tercer grupo presentó los siguientes componentes: número de frutos por nudo (NFN), número de flores por axila (NFA), longitud de fruto (LF), longitud de hoja (LH) y número fascículos por nudo (NFN_1).

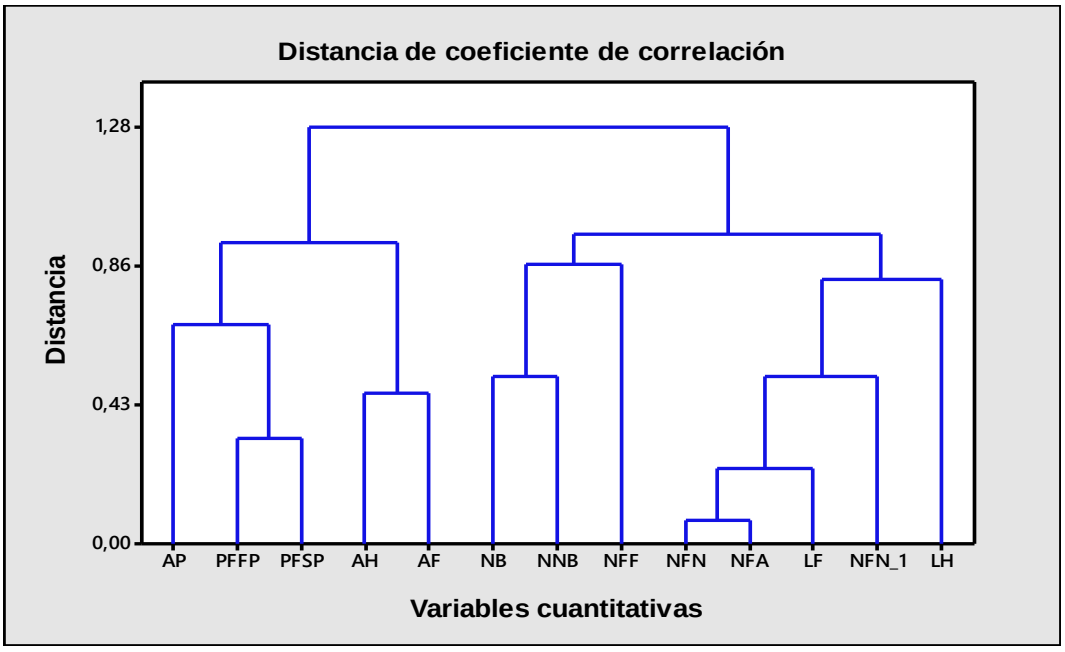


Figura 9. Análisis de componentes principales en base a las variables cuantitativas.

Se identificaron 3 grupos de cultivares (figura 7) a una distancia de 12 unidades, utilizando el método del análisis de clúster jerárquico y la distancia euclidiana. Las muestras del

conglomerado 1 se caracterizaron por presentar valores bajos en promedio de NFN y NFA con respecto al total de muestras.

Cuadro 23. Variables conglomeradas según la medida de similitud; coeficiente de relación linea.

Número de conglomerados	Nivel de semejanza	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados
12	96,39	0,07	4
11	88,31	0,23	4
10	83,64	0,32	12
9	76,8	0,46	5
8	74,14	0,51	2
7	74,1	0,51	4
6	66,18	0,67	1
5	59,08	0,81	4
4	56,89	0,86	2
3	53,42	0,93	1
2	52,37	0,95	2
1	35,83	1,28	1

4.3.4. Análisis de correlación

Cuadro 26. Matriz de datos de correlación

	AP	PFFP	PFSP	AH	AF	NB	NNB	NFF	NFN	NFA	LF	NFPN	LH
AP	1												
PFFP	0,5494812	1											
PFSP	0,3236459	0,6729838	1										
AH	-0,168985	-0,083697	-0,005263	1									
AF	0,4192437	0,5191912	0,0928088	0,1740172	1								
NB	0,1965245	0,2093281	-0,032746	0,1653383	0,1182877	1							
NNB	0,1462598	0,0456767	-0,177065	0,0983605	-0,283293	0,4828535	1						
NFF	-0,267446	-0,24594	-0,117619	0,0473742	-0,197586	0,1378131	0,4605625	1					
NFN	0,3333915	0,2996901	0,238527	0,1817195	0,2196183	0,4634752	0,4153004	0,0868711	1				
NFA	-0,154001	0,0208183	-0,028756	0,5418595	0,3299901	0,0528976	0,2895283	0,3823965	0,4820668	1			
LF	0,0527152	0,4547624	0,2302684	0,4160162	0,5562158	0,1610112	0,2633759	0,1129122	0,5195803	0,8197191	1		
NFPN	-0,225993	0,007241	0,0520742	0,4508272	0,165125	0,1828879	0,4069214	0,5179746	0,5352028	0,927817	0,7663068	1	
LH	0,0683975	0,2509764	0,1985112	0,2486513	0,5361419	-0,08671	-0,160993	0,2570799	-0,007362	0,224011	0,2949544	0,2877588	1

De acuerdo con el Cuadro 26 y la Figura 10, se puede observar que la relación entre las variables cuantitativas, se muestra una correlación de forma positiva, en algunos casos presenta correlación negativa de acuerdo los valores observados, se evidencia una alta

correlación positiva entre el número de fascículos por nudo (NFPN) con el número de flores por axila (NFA) con r = 0.92, seguida de la longitud de fruto (LF) y el número de flores por axila (NFA) con solamente r = 0.82, seguida del número de fascículos por nudo (NFPN) con la longitud de fruto (LF) con r = 0.77. Sin embargo, no se ha observado una correlación altamente negativa con los variables presentados, por otro lado, se pudo evidenciar también con algunas variables que se mostraron muy poca afinidad o relación entre ellos con rangos por debajo del 50%, lo cual, significa que hubo una relación entre algunas variables.

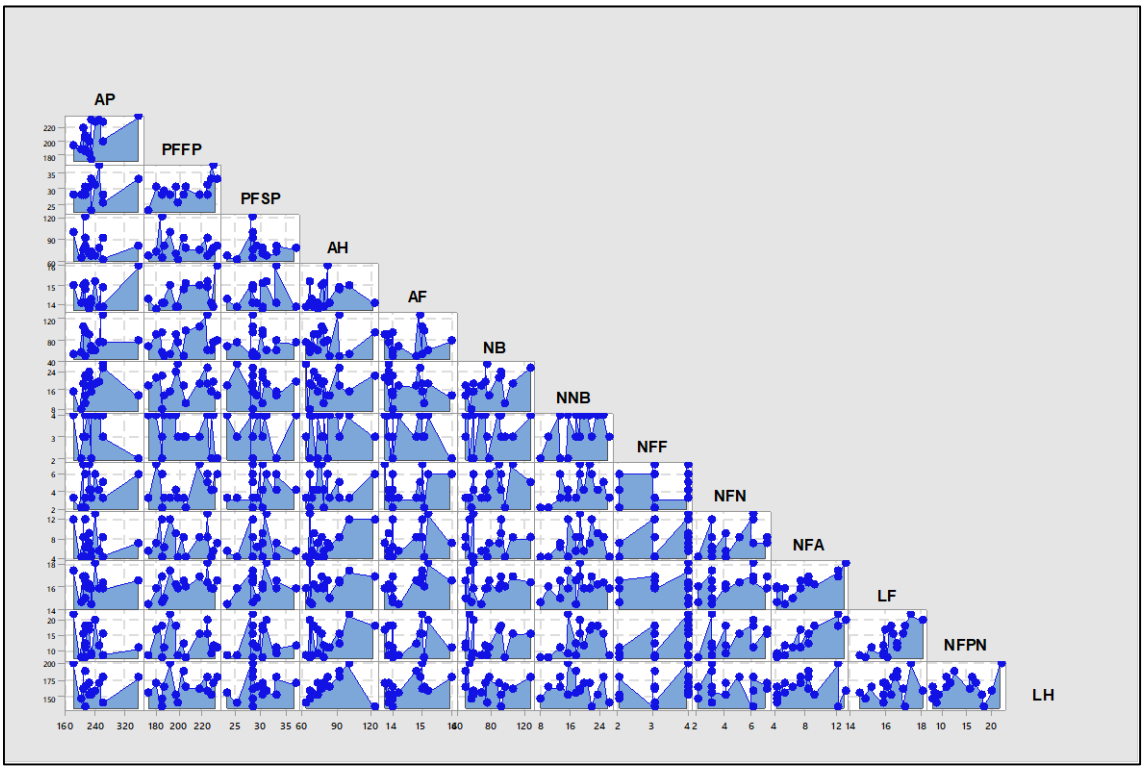


Figura 10. Análisis de correlación de las variables cuantitativas en forma de diagonal inferior.

4.3.5. Incidencia de la roya

El análisis descriptivo para la variable incidencia de la roya en los cultivares de café, se reportó que el comportamiento de los 16 fenotipos evaluados en los 9 cantones o colonias en el municipio de Caranavi, muestran que presenta la variación obtenida a través de los parámetros estadísticos de tendencia central, medidas de dispersión y medidas de posición en función a un conteo de datos a 16 fenotipos en total. Entre las características agro-morfológicas se observa 11,17% en promedio de incidencia, con una variación de 7,19 con

respecto a la media, la mitad de los fenotipos lograron 9,45, y no se observaron valores fenotípicos de manera más frecuente, y los valores máximos alcanzados por los fenotipos fue del 25,90% y el valor mínimo de 1,65 de incidencia, y por tanto la diferencia entre el valor máximo y mínimo fue del 24,30% con respecto al valor máximo y mínimo.

Cuadro 24. Estadística descriptiva de la variable agro morfológica cuantitativa, incidencia de la roya, evaluadas en 16 fenotipos de café (*Coffea arabica*)

Incidencia de la roya en el café (%)	Variable de estudio
	Cultivares de café
Conteo total	16
Media	11,17
Mediana	9,45
Moda	*
Rango	24,30
Desviación estándar	7,19
Varianza	0,52
Coeficiente de variación	64,36
Máximo	25,90
Mínimo	1,60

De acuerdo al Cuadro 24 presentado, los promedios de la incidencia (%) de la roya (*Hemileia vastatrix*), en los cultivares en los 9 cantones en el municipio de Caranavi, los resultados reportan que el fenotipo CSP-COIPSA-01 muestra una incidencia de 1,6% de roya, seguido del fenotipo CCH-10, con una incidencia de 3,18% de roya, por otro lado el fenotipo CCNJ-CFC-18 reportó 6,28% de incidencia de roya, seguido del fenotipo CLO-FAP-02 con una incidencia de 6,44%, el fenotipo CCH-05 con una incidencia de 7,30%, el fenotipo CCU-06 muestra una incidencia de 8,33% de roya, continúa el fenotipo CRM-11 con una incidencia de 9,40%, sin embargo, el fenotipo CCQ-04 reportó una incidencia de 9,50% de la enfermedad, seguido del fenotipo CCQ-03 con 10,4% de roya, también cabe destacar que con el fenotipo CCAS-15 con una incidencia de la enfermedad de 11,21%, el fenotipo COU-13 mostró un presencia de la enfermedad de 13,92% de roya, consecuentemente con el fenotipo CRM-12 se observó 14,48% de incidencia, y con los fenotipos CCNJ-HQB-19 y CCAS-16 mostraron una incidencia de 24,60% y 25,90%.

Por lo tanto, cabe destacar que los mejores fenotipos y más tolerantes a la incidencia de la roya, fueron los fenotipos CCNJ-CFC-18, CCAS-15, CRM-11, CRM-12, COV-13, CLO-FAP-02, CCQ-04, CCU-06, CCQ-03, CCH-09, CCH-10, en donde reportaron una incidencia de la enfermedad menor al 15%.

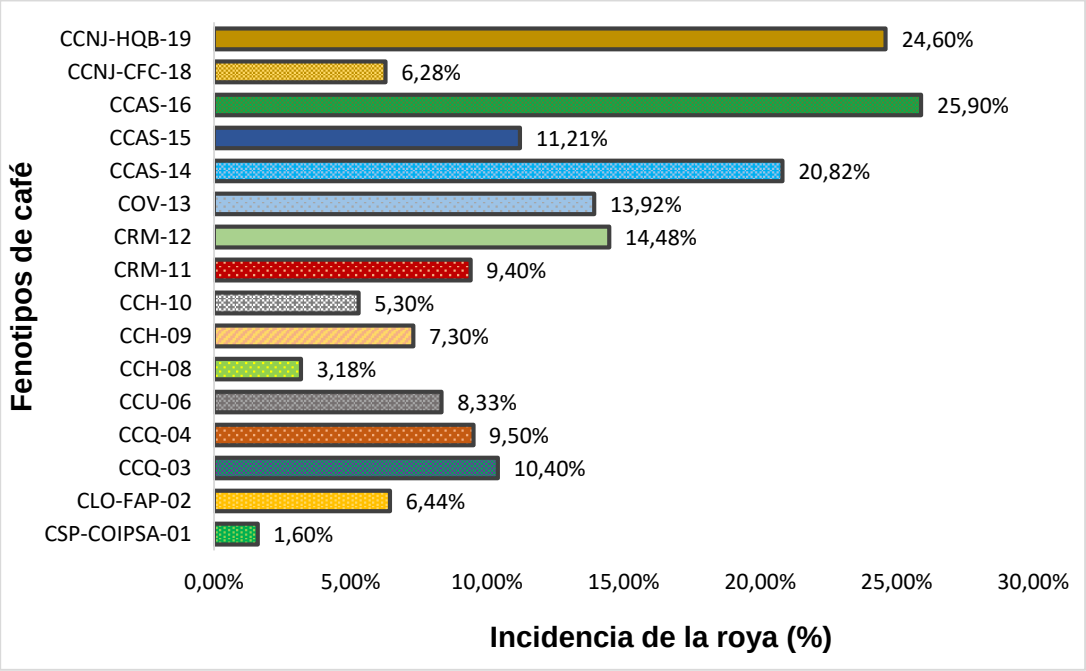


Figura 10. Comparación de las medias de los 16 fenotipos con respecto a la incidencia de la roya en los cultivares de café.

Los fenotipos que mostraron mayor tolerancia a la incidencia al ataque de la roya de café fueron los siguientes cultivares: CSP-COIPSA-01, CCH-08, CCH-10 con 1.6%, 3.18% y 5.3%respectivamente. Sin embargo, Los cultivares de café que reflejaron menor tolerancia al ataque de la roya de café mostrando mayor incidencia fueron los siguientes cultivares CCAS-14, CCNJ-HQB-19 y CCAS-16 con 20.82%, 24.6% y 25.9% respectivamente. Todas las plantas madre de café en los 9 cantones no superaron el 5% de afectación por lo que fueron clasificadas en grado 1 de severidad. Esto está asociado a que los suelos de los cantones en evaluación se encuentran en rangos de pH ligeramente ácidos cercanos a la neutralidad, los cuales se consideran aptos para el desarrollo cafetalero y disminuyen la susceptibilidad del cultivo a la roya del café (Gamarra *et al.* 2015).

La diferencia de incidencia de roya encontrada a nivel cantonal podría estar asociada a la sombra utilizada en cada localidad ya que se ha demostrado que esta podría tener efectos antagónicos sobre la roya del café (López-Bravo *et al.* 2012). Además, también influyen

variables climáticas como la temperatura, que es un factor determinante para las fases de germinación y penetración del hongo, la precipitación, que contribuye a las condiciones de dispersión y lavado de las uredosporas, y la humedad relativa (Lasso *et al*. 2020).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:

La descripción de las características morfológicas de café de los 16 cultivares bajo la incidencia de la Roya, realizados mediante los descriptores morfológicos, fueron reflejados de mayor importancia con el cultivar CSP-COIPSA-0, en cuanto a la longitud de hoja (LH), número de flores por axila (NFA), no obstante, con el cultivar CLO-FAP-02, también reflejó mayor relevancia en cuanto al número de bandolas (NB), por otro lado, el cultivar CCQ-03, también presentó a las variables número de bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB) y número de nudos por fruto (NNF), mientras tanto, el cultivar CCQ-04, mostró a través de número de bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB), número de frutos por nudo (NNF) que reflejaron su importancia.

Por otro lado, los cultivares a través de sus variables, también reflejaron mayor importancia con respecto a la incidencia de Roya, con los cultivares CCU-06, a través del número de flores por axila (NFA), número de fascículos por axila (NFN), número de bandolas (NB), no obstante, de la misma forma el cultivar CCH-08, presentó mayor relevancia, mediante las variables de largo de la hoja (LH), ancho de hoja (AH), números de bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB), así como el cultivar CCH-09 con el número de bandolas (NB), número de nudos por bandola (NNB), número de fascículos por nudo (NFN), el cultivar CCH-10 mediante sus variables de número de flores por axila (NFA), número de flores por fascículo (NFF), número de nudos por bandola (NNB), no obstante el cultivar CRM-11, presentó largo de la hoja, ancho de la hoja, número de flores por fascículo, número de flores por bandola, sin embargo, el cultivar CRM-12 a través del número de flores por axila, número de flores por fascículo, y finalmente con el cultivar CCAS-15, fueron observados a través del número de flores por axila, número de flores por fascículo y número de flores por bandola.

Los cultivares que mostraron mayor tolerancia a la incidencia de la roya de café, a través de los 16 cultivares de café, fueron los siguientes: CSP-COIPSA-01 con 1.6% de tolerancia, CCH-08 con 3.18%, CCH-10 con 5.3% de tolerancia, los cuales, han sido los cultivares con mayor tolerancia frente a la enfermedad de Roya. Sin embargo, el resto de los cultivares de café mostraron el nivel de tolerancia por debajo de los valores mencionados, los cuales pueden considerarse a tomar en cuenta como una alternativa de uso, pero algunos cultivares como: CCAS-16, CCN-HQB-19 y CCAS-14 con 25.90%, 24.60% y 20.82% respectivamente, mostraron menor tolerancia a la incidencia de la roya de café.

6. RECOMENDACIONES

Con base a la caracterización morfológica realizada se recomienda realizar estudios para determinar si el cultivar identificado pertenece a una variedad de café existente o es una nueva que se ha adaptado por medio de la selección natural.

Con fines de mejoramiento genético se recomienda definir variables específicas según objetivos que pueden ser rendimiento, calidad de taza, tolerancias a diferentes enfermedades y plagas.

Para posteriores trabajos de investigación a realizar con respecto al tema en cuestión, se podría considerar como una recomendación que los genotipos con mayor relevancia en cuanto a las características morfológicas y tolerancia a la roya de café, se podría evaluar en condiciones de ensayo de campo con repeticiones, para tener más precisión en la toma de datos y observar el potencial genético.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, M. y Rojas, G. 2007. El cultivo y beneficio del café. Costa Rica. Segunda reimpresión. 184 p.

ANACAFE, (Asociación Nacional del Café) 2013. Manual de caficultura. Guatemala.

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 caficultora en Centroamérica. San José, CR, IICA. 369-406 p.

APS. 2011. The American Phytopatho-logical Society. Coffee rust (Hemileia vastatrix). En líne: http://www.apsnet. org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx. Fecha de consulta: 25 de enero de 2013

Arcila, P., J., Farfán, V., Moreno, B., Salazar, G. & Hincapié, G. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Cap. 2 Crecimiento y desarrollo de la planta de café. Cenicafé, Chinchina, Colombia. Blanecolor Ltda.

Arcila, P.J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Wicke, H. 2001. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café (Coffea arabica L.), Cenicafé, Boletín Técnico, No. 23, 32 p.

Arvy, M. P.; Gallouin, F.; Ubillos, M. Á. M. y Montalbán, J. M. 2007. Especias, aromatizantes y condimentos. Mundi-Prensa, 77 p.

Astorga, C.; De Melo, Elías 2015. Prevención y control de la roya del café. Manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores. Editorial Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) 17 p.

Asociación Nacional del Café (ANACAFE). 1.985. Manual de Caficultura. En: Revista N° 250. ANACAFE. Guatemala. pp: 5-13

Avelino, J., Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto http://hal.archives-ouvertes.fr/hal01071036, 47 p.

Barragán O. 2008. Aporte y Descomposición de Biomasa Aérea en Asociaciones Agroforestales y su Influencia en los Cultivos de cacao y café. Tesis de Grado.

Ecuador; Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales. 76 p.

Barrientos, R. 2000. El cultivo de café en la región de los Yungas Ed. Producciones CIMA La Paz Bolivia. 190 p.

Barrientos, R. 2000. El cultivo de Café en la región de los Yungas. Edit. CIMA. Bolivia. 44 p.

Barrientos, R. 2011. Café – Manual para las escuelas de campo. 1 ed. Liliana Ríos Vargas. La paz, Bolivia. 70 p.

Barrientos, Z. 2000. El cultivo de café en la región de los Yungas, Producciones CIMA. La Paz, Bolivia, 185 p..

Bautista, E. 2008. Principales enfermedades del cafeto. Curso de técnicas modernas de manejo de cafetales. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. PROMECAFE. Santa Tecla, El Salvador, 10 p.

Bridson, D., Verdcourt, B., Coffea. 1988. In Flora of Tropical East Africa - Rubiaceae (Part 2). Ed. RM Polhill. A.A. Balkema, Rotterdam. 703-727 p..

Bustillo, P., Cárdenas, M., Villalba G., Benavidez, M., Orozco H., Posada F. 1998. Manejo integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, CENICAFE, 134 p.

Calani, 2002, Manual de cultivo de café con tecnologías nuevas para incrementar la productividad. Ed. Printed in bolivia125 p.

Canjura, E. 2000. Reproducción masiva de Verticillium sp. Hiperparasito de Roya del café. Hemileia vastatrix. Editorial CATIE. Terrialba, Costa Rica. 48 p.

Cárdenas, Severo Ignacio. 2007. “Caracterización Morfológica y Agronómica de La Colección Núcleo de Café (Coffea Arabica L.) Del CATIE.” CATIE.

Carvalho, C.H.S. (2008). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 334p.: il. http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/15135/1/2013_AnaCatarinadeJesusPeres.pdf

Castañeda, E. 2000. El ABC del Café. Barcelona - España. 11 p.

Castañeda, E. 2000. El ABC del café: cultivando calidad. Edición Tecnatrop S.R.L. San Borja, Perú. 176 p.

Castro, F.R.; Charles, E.H.; Barreto, R.W. 2009. Confirmation of the ocurrence of telispores of Hemileia vastatrix in Brazil with observations on their mode ofr germination Tropical Plant Pathology. 34. 108 – 113 p.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café). 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto de café y su relación con la broca.2 p.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café) 1988. Tecnología del Cultivo de Café, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia 2. Ed. Colombia 268 p.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigaciones de Café). 2016. La acidez, una limitante común para la producción de café. Avances Técnicos 466. CENICAFE, Colombia. 12 p.

Chambi, F. 2021. Variedades del Café y su adaptación en Bolivia. Disponible en: https://coloniadelosyungas.bo/variedades-del-cafe-y-su-adaptacion-en-bolivia/ 2 p.

Chaignon, V., Sanchez-Neira, I., Herrmann, P., Jaillard, B., & Hinsinger, P. (2003). Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. Environmental pollution, 123(2), 229-238.

Chain-Guadarrama, A., Martínez-Rodríguez, M. R., Cárdenas, J. M., Vílchez-Mendoza, S., & Harvey, C. A. (2019). Uso de prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas por pequeños cafetaleros en Centroamérica. Agronomía Mesoamericana, 30(1), 1-18 p.

CICAFE, (Centro de Investigación en Café). 2011. Guía técnica para el cultivo del café. Obtenido de Instituto del Café de Costa Rica, Centro de investigaciones en Café: http://www.icafe.go.cr/icafe/anuncios/documentos/GUIA%20TECNICA%20V10.pdf.

CICAFE, (Centro de Investigación en Café). 2015. Guía Técnica para el cultivo del café. Instituto del Café de Costa Rica. Barba – Heredia – Costa Rica. 14 de agosto de 2015, del sitio: http://www.icafe.go.cr/icafe/anuncios/documentos/GUIA%20TECNICA%20V10.pdf.

Cristancho, M.A., Rozo, Y., Escobar, C., Rivillas, C.A., y Gaitán, A.L., 2012. Outbreak of coffee leaf rust (Hemileia vastatrix) in Colombia. New Disease Reports. 25(19): doi:10.5197/j.20440588.2012.025.019.

INC, (Código Internacional de Nomenclatura) 2017. Código Internacional de Nomenclatura para algas, hongos y plantas. Congreso Internacional de Botánica. Shenzhen, China. 37 p.

Colonia, l. 2012. Manejo integrado de plagas en el cultivo de café. Ayacucho: Agrobanco.

Coste, R. 1998. Técnicas Agrícolas y Producciones tropicales de café. Editorial. Blume Milanesado. Barcelona, España, 11 - 23 p.

Cuba C. N. 2006. Manual para el cultivo de café en Yungas. La universidad católica boliviana UACS. La Paz, Bolivia. 158 p.

Cuba, C. 2007. Manual para el cultivo del café en Yungas. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Ingeniería Agronómica. La Paz, Bolivia. 158 p.

Cuba, N., 2006. Manual para el cultivo del café en Yungas. Editor: Unidades Académicas Campesinas. Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. La Paz, Bolivia. 158 p.

Cressey, D., 2013. Coffee rust regains foothold. Researchers marshal technology in bid to thwart fungal outbreak in Central America. Nature. 493: 587 p.

Davis, A.P., Govaerts, R., Bridson, D.M., Stoffelen, P. 2006. An annotated taxonomic conspectus of the genus Coffea (Rubiaceae). Bot Jour Linnean Society 152: 465-512.

De La Cruz R, Buendía, M., Rojas, E. y Poma V. 2020. Caracterización morfológica de cinco variedades de café (Coffea arabica L.) y su resistencia a la roya (Hemileia vastatrix), en el Valle del Alto Huallaga, Tingo María. Artículo científico. 12 p.

De la Cruz, X. 2015. “Aplicación de bioestimulantes en plantas de café (Coffea arabica L.) En vivero, en la zona del Cantón Mocache”. Tesis. Universidad técnica estatal de Quevedo unidad de estudios a distancia modalidad semipresencial carrera de ingeniería agropecuaria. Quevedo - los ríos. 54 p.

Desarrollo Alternativo Integral. 2006. La Excelencia del Café Boliviano. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, Programa de Desarrollo Alternativo Regional, UISAID. La Paz, Bolivia. 12 p.

Duran, F. 2010. Cultivo del Café. Colombia: Grupo Latino Editores S.A.S.

Espinoza, A. L., Vásquez, G. H., Tapia, C. S., & Duicela, L. A. (2021). Crecimiento, desarrollo y concentración de macronutrientes en genotipos de café (Coffea robusta

P.) con diferentes dosis de abono orgánico. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 5, 1-17 p.

Fageria, NK. 1992. Maximizing crops yield. New York., Marcel Dekker. 47 p.

Fernández, J. 1988. Cultivo del cafeto. La Habana, Cuba. 240 p.

Figueroa, R. 1996. Caficultura Ecológica. GTZ. Lima-Perú.

Figueroa, R. 1996. La Caficultura en Perú. 2da edición. Editorial. FIESSA. Lima Perú. 323 p.

Figueroa, R. 2006. Guía para la caficultura ecológica. Lima Perú. 69 p.

Figueroa, R. 1996. La Caficultura en Perú. 2da. Editorial. FIESSA. Lima Perú. 209 - 323 p.

Fischersworring H, B; Robkamp R, R. 2001. Guía para la caficultura ecológica. 3. ed. Popayán, GTZ. 152 p

Fischersworring, 2001, Guía para la caficultora Ecológica. Editorial López, tercera Ed, 21 – 60 pp.

Fischersworring, B., & Robkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. 3 ed. Editorial López. Obtenido de http://www.gtz.de/organic-agriculture.

Flores, CH. 2009. Evaluación de patogenicidad de cepas promisorias del hongo entomopatógeno Beauveria bassiana (Balsamo) Vuill. Sobre la broca del café 57 Hypothenemus hampei (Ferrari) en laboratorio. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Tesis de Grado. La Paz – Bolivia. 62 p.

Fomento al desarrollo urbano y rural. 2010. Propuesta Técnica. Recuperación y Fomento de Cafetales en los Yungas de La Paz. Viceministerio de la Coca y Desarrollo Integral. 17 p.

FUNICA, (Fundación para el desarrollo tecnológico agropecuario y forestal de Nicaragua). 2010. Guía de identificación y manejo de antracnosis en café, recuperado de: https://funica.org.ni/index/biblioteca/resultados-de-investigacion/category/87-Cafe.html?download=445.

Gil, V. 2001. Descripción de daños ocasionados por Colletotrichum sp. En flores y frutos de café en Colombia. Avances Técnicos Cenicafé. No 288. 4 p.

Gómez, G. C. y Bustamante, A. B. 2006. Las enfermedades del café: logros y desafíos para la caficultura colombiana del siglo XXI. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. Costa Rica. 77, 89-93.

Gómez, O. 2010. Guía para la innovación para la caficultura de lo convencional a lo arganico. San Salvador - El Salvador: Impresiones.

Gonzáles, R.; Cuesta, A.: Vercher, R. 2014. Diversidad y abundancia de la entomofauna auxiliar en la parcela ecológica del campo de experiencias de ANECOOP, S.Coop. en la Masía del doctor de Museros. Valencia, España. 47 p.

Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D., Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. (Serie Técnica. Manual Técnico Nº 44). 265 p.

Herrera, J. y Cortina, H. 2013. Taxonomía y clasificación del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura Vol. 1. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_07. 117–121 p.

IBCE (Instituto Boliviano de comercio exterior), 2007. Comercio mundial de productos orgánicos. Asociación de cafés Especiales de Bolivia (ACEB).

INE (Instituto Nacional de Estadística) 2017. Caranavi, capital cafetalera de Bolivia. Editorial INE. La Paz, Bolivia. Disponible en: https://www.ine.gob.bo/index.php/caranavi-capital-cafetalera-de-bolivia/ 2 p.

ICAFE, (instituto colombiano agropecuario). 2011. Resultados de vigilancia fitosanitaria escama verde, pasador del fruto y barrenadores, en Antioquia. Consultado el 3 de octubre de 2015. Disponible en: http://www.ica.gov.co >áreas >departamentales.

ICAFE-MAG, (Instituto del café de Costa rica). 1989. Manual de recomendaciones para el cultivo del cafe. Ged. ICAFE.Programa cooperativo. Costa Rica. 122 p.

IICA, 1989. Progresos en la técnica de la producción del cafeto. IICA. San José de Costa Rica. 204 p.

IICA, 1989. Revista interamericana de Ciencias Agrícolas. Turrialba. San José, Costa Rica 5 p.

IICA/PROMECAFE.1997. Memoria XVIII Simposio Latino americano de Caficultura. San José. Costa Rica. 542 p.

INIA, (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2011. Manejo integrado de la broca del café. Obtenido de www.minag.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/dia-cafe/manejocafe.pdf. 43 p.

Jara, D. 2017. Efecto de dos fuentes de materia orgánica en la producción de plantones de café (coffea arabica) en el caserío nuevo amazonas, distrito Yamón, provincia utcubamba – amazonas. Tesis. Universidad nacional “Toribio rodríguez de Mendoza de amazonas”. Facultad de ingeniería y ciencias agrarias escuela profesional de ingeniería agrónoma. Chachapoyas – Perú. 90 p.

Jaramillo, R, A.; Valencia, A.G. 2010. Los elementos climáticos y el desarrollo de Coffea arabica L. en Chinchiná, Colombia, Cenicafé, Chinchiná, 31, 127 p.

Jatun sach’a. 2009. Recomendaciones para el cultivo del café en los yungas de La Paz. Edición, Javier Ramallo. La Paz, Bolivia. 28 p.

Javed, Z. 1987. Epidemiología y control de la roya del cafeto en Centroamérica. Plagas y enfermedades de carácter epidémico en cultivos frutales de la región centroamericana. CATIE. 17-26 p.

Jiménez, ER. 2014. Café I. Revista Reduca. Disponible en: http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/download/1757/1770. 32 p.

Kushalapa, A. C. and Eskes, A. R. 1989. Advances in coffee rust research. Annual Review of Phytopathology. 27: 503-531.

León, J. 1999. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. aum. y rev. San José, CR, IICA. 350-364 p.

León, Jorge. 2000. Botánica de Los Cultivos Tropicales - Jorge León - Google Books.

Leppik, EE. 1970. Genes centers of plants as sources of disease resistnace. Ann. Rev. Phytopathol. 323-344 p.

López A, A. 2001. Caracterización molecular y morfológica de aislamientos del hongo Mycena citricolor colectados en diferentes zonas cafetaleras de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE. 68 p.

López, B. 2003. Evaluación de la patogenicidad de aislamientos del hongo Metarhizium anisopliae (Metchnikoff) sobre la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en condiciones de Laboratorio. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. Tesis: Ingeniero Agrónomo. 87 p.

Mamani, R. 2013. Evaluación de dos variedades de café (Coffea arabica L.) bajo tres formas de producción en vivero en la estación Experimental de Sapecho. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 4p.

Masefield, G. B.; Wallis, M.; Harrison, S.G.; y Nicholson, B.E. 1980. Guía de las plantas comestibles. Ediciones Omega. 110.

Matiello, JB; Santinato, R; Garcia, AWR; Almeida, SR; Fernández, DR. 2010. Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações. MAPA/PROCAFE. Rio de Janeiro. Editora Bom Pastor. 438 p.

McCook, S., 2009. La roya del Café en Costa Rica: epidemias, innovación y medio ambiente, 19501995. Revista de Historia. 59-60: 99-117.

MDRAyMA. 2008. Experiencias del Cultivo de Café en Bolivia. Ministerio de desarrollo Rural Agropecuario y medio Ambiente edición de unidad de producción agropecuaria, Agroforestal y pesca. 1,32 p.

MDRyT, (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras). 2011. Política Nacional del café. La Paz, Bolivia.

MDRyT (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) 2016. Café en Bolivia. La Paz, Bolivia. Instituto de Cámara de Comercio – ICC. Disponible en: www.ico.org/documents/cy201213/presentations/icc-bolivia.pdf

Mejía Mario. 2001. Agricultura Ecológica, de Enciclopedia Agropecuaria Terranova, Colombia séptima Edición.

Mena, O. 1987. Fitotecnia del café. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 118 p.

Mendoza, A. y Ponce, F. 2009. La comercialización del café orgánico y su incidencia en la dinamización del mercado manabita, durante el período 2008-2009. Tesis. Universidad Técnica de Manabí. Ingeniero comercial.

Montalvo, J y Villalva M. 2017. “International Coffee Organization - Historia Del Café.” 23 mayo 3. Retrieved January 20, 2019 (http://www.ico.org/ ES/coffee_storyc.asp).

Mora-Aguilera, G. 2019. Roya del cafeto. Hemileia vastatrix. Verkeley & Brome. Ficha Técnica Nº 40. SADER – SENASICA. México. 4 p.

Orozco, M, Figueroa, E, Pacheco, P y Calderón, G. 2011. Manejo Integrado de la Roya del Cafeto. El cafetal. Folleto técnico, Guatemala.

Pérez, C.; Ramiréz, J.F.; Figueroa, D.; Pérez, D. 2017. Comportamiento de las poblaciones del roya del café (Hemileia vastatrix Berkeley y Broome) en parcelas de Amatepc. México. 67 p.

Poveda, Y. 2020. Descripción de la fertilización edáfica en el cultivo de café (Coffea arábica) en la hacienda Chojampe en el Cantón Ventanas. Universidad Técnica de Babahoyo, Babahoyo.

PTDI (Plan Territorial de Desarrollo Integral). 2016-2020. (Plan Territorial de Desarrollo Integral). SUCCESO Asesores & Consultores S.R.L. GAM CARANAVI. 575 p.

Rayner, R. W. 1961. Germination and penetration studies on caffee rust (Hemileia vastatrix B. & Br.) Annals of Applied Biology 49, 497-505.

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 (Cenicafe) chinina, Cladas, Colombia. 53 pp.

Rolz, A.; De León, L.R.; Paniagua, O. 2013. Evidencia de una antagonismo in vitro de especies de Trichoderma contra Hemilleta vastatrix (roya del café) Revista 25. 65 p.

Rodríguez, C.; Munro, D.: Hugo, D. 2009. Paquete Tecnológico para el cultivo del café orgánico en el estado de Colima. Colima. Cefcafé. 58 p.

Rodríguez, A. 1990. El café. Disponible en: http://cafecooludec.blogspot.com/2012/10/Taxonomía-del-cafe.html. Consultado el 12/11/2014.

Rodríguez, A. 2015. Manual de control biológico de plagas y enfermedades en cultivos de café y banabo. Bogotá, Colombia.

Rogg, H. 2000. Manual de Entomología Agrícola de Bolivia. Quito, Ecuador. Ed. ABYA – YALA. 706 p.

Romero. 2003. Diagnóstico de la Cadena del Café en Bolivia, FECAFEB, OFIAGRO-SNV, CAN. La Paz. Bolivia. 2-4-9 p.

Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). ISNN: 0120- 0178. 12 p

Samson, Nalapalli, Michael G. Bausher, Seung-bum Lee, and Robert K. Jansen. 2007. “The Complete Nucleotide Sequence of the Coffee (Coffea Arabica L.) Chloroplast

Genome: Organization and Implications for Biotechnology and Phylogenetic Relationships amongst Angiosperms.” NIH 5(2):339–53.

Saccas, A.M.; Charpentier, J. 1971. La rouille des caféiers due á Hemileia vastatrix. France, Bulletin. IFFC. 123 p.

Sayago, M. 1999. Control fitosanitario en el cultivo de café. Obtenido de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd62/cafe.html.

SENASICA. 2019. Roya del cafeto (Hemileia vastatrix Berkeley & Broome). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Ciudad de México. Última actualización: mayo de 2019. Ficha Técnica No. 40. 16 p.

Silva, R. 2021. Efecto de caldo bordelés en el control de la roya (Hemileia vastatrix) en cultivo de café (Coffea arabica L.) en poda de rehabilitación con tres frecuencias de diferentes diluciones en el cantón Taipiplaya – provincia Caranavi. Tesis de grado. Universidad mayor de san Andrés facultad de agronomía. Carrera de ingeniería en producción y comercialización agropecuaria.. La Paz – Bolivia. 110 p.

Silveira, G., Dionei, G. 2008. Manejo Integrado de Plagas. Universidad Federal de Pelotas – UFPEL, Brasil/ Centro Internacional de Semillas – PROSEMILLAS, Bolivia. Santa Cruz, Bolivia. 56 p.

Small, E. 2009. Top 100 Food Plants. NRC Research Press, 187-197.

Soliebe, 2005, Guía del técnico productor Café Mojsa, programa de desarrollo y reactivación Económica en los yungas de la paz, Bolivia. PUBLIXPRESS. 50 p.

Stoffelen, P. 1998. Coffea and Psilanthus in Tropical Africa: A systematic and palynological study, including a revision of the west and Central African species. PhD diss., Katholieke Universiteit Leuven, p.187-209.

Subero, L. 2005. La roya del café. Obtenido de https://docplayer.es/21003924-5-2- la-roya-del-cafeto.html.

Superficie de los principales municipios productores de café, INE censo agropecuario, 2013.

Téllez, O., Ferrer, G. 1987. Fitotecnia del café. Habana, CU. Editorial Pueblo. 56 p.

Torres, N. E, Melchor-Martínez, E. M., Sierra, J. S. O., Ramirez-Mendoza, R. A., Parra-Saldívar, R., & Iqbal, H. M. (2020). Impact of climate change and early development of coffee rust–An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. Science of the Total Environment, 738 p.

Velásquez, R. 2019. Guía de variedades de café. Guatemala. Editorial Anacafé. 3 p.

Wang, A., Avelino, J. 1999. El ojo de gallo del cafeto (Mycena citricolor). In: Bertrand Benoit (ed.), Rapidel Bruno (ed.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José: IICA, 243-260 p.

Wellman, FL. 1952. Peligro de introducción de la Hemileia del café a las Américas. Turrialba. 47 – 50 p.

Zambrano, J. (1984). Curso sobre el Cultivo de Café. Quevedo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. 69 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Tablas de datos de las variables cuantitativas.

Identificación	AP	PFFP	PFSP	AH	AF	NB	NNB	NFF	NFN	NFA	LF	NFPN	LH
CSP-COIPSA-01	179,00	192,00	28,00	99,60	15,00	52,00	15,20	4,00	3,00	12,00	17,40	22,00	200,00
CLO-FAP-02	200,00	185,00	28,00	64,40	13,96	54,00	7,60	2,00	2,00	4,00	14,70	7,80	148,40
CCQ-03	225,00	179,00	30,00	72,40	13,70	88,00	21,00	4,00	7,00	7,00	15,86	16,80	170,20
CCQ-04	221,00	197,00	30,00	68,20	13,80	90,00	23,20	4,00	4,00	9,00	16,20	18,00	154,20
CCU-06	210,00	184,00	28,00	122,00	14,00	92,00	22,00	3,00	6,00	12,00	17,00	18,40	136,00
CCH-08	260,00	225,00	28,00	90,40	14,90	127,00	25,20	4,00	5,00	8,00	16,40	15,80	181,40
CCH-09	208,00	218,00	28,00	76,00	15,00	105,00	18,60	3,00	7,00	8,00	16,90	15,40	163,00
CCH-10	240,00	226,00	31,00	65,40	15,20	58,00	18,60	4,00	6,00	13,00	18,10	20,20	158,60
CRM-11	210,00	203,00	28,00	91,00	14,76	48,00	17,40	3,00	3,00	8,00	16,60	12,40	188,40
CRM-12	210,00	186,00	29,00	81,60	14,00	48,00	13,00	4,00	3,00	6,00	15,06	10,80	164,80
COV-13	210,00	206,00	30,00	77,40	15,06	96,00	10,00	3,00	2,00	4,00	16,02	7,80	164,00
CCAS-14	260,00	198,00	25,00	61,60	13,80	74,00	26,60	3,00	3,00	4,00	15,80	8,60	140,00
CCAS-15	250,00	230,00	37,00	77,60	13,80	73,00	19,60	4,00	4,00	5,00	15,80	11,60	170,80
CCAS-16	228,00	228,00	33,00	71,60	14,00	58,00	15,00	2,00	4,00	4,00	15,80	8,80	154,40
CCNJ-CFC-18	360,00	234,00	33,00	81,00	16,00	76,00	13,20	2,00	6,00	7,00	16,60	10,80	179,80
CCNJ-HQB-19	230,00	172,00	23,00	66,40	14,20	66,00	17,60	4,00	3,00	5,00	14,40	8,20	157,20

Anexo 2. Tabla de datos del porcentaje de incidencia de roya de los 16 cultivares de café

Cultivares de café	Incidencia (%)
CSP-COIPSA-01	1,60%
CLO-FAP-02	6,44%
CCQ-03	10,40%
CCQ-04	9,50%
CCU-06	8,33%
CCH-08	3,18%
CCH-09	7,30%
CCH-10	5,30%
CRM-11	9,40%
CRM-12	14,48%
COV-13	13,92%
CCAS-14	20,82%
CCAS-15	11,21%
CCAS-16	25,90%
CCNJ-CFC-18	6,28%
CCNJ-HQB-19	24,60%

Anexo 3. Visita de socialización con los productores de café.

Anexo 4. Identificación de fenotipos tolerantes a la roya con el docente investigador y tesista.

Docente investigador junto al propietario Isaac Quispe – San Pablo

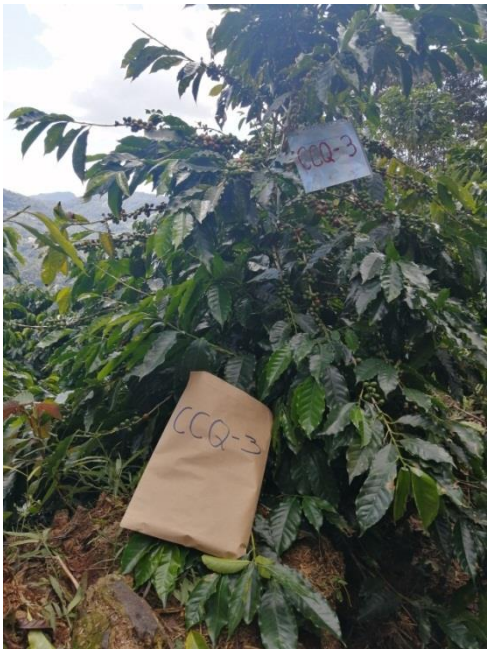
Docente investigador junto al fenotipo tolerante a la roya

Tesista junto al fenotipo CCU-6
Ubicado en la Com. Uchumachi

Tesista identificando al fenotipo CCH-9
ubicado en Com. Chojñapampa

Anexo 5. Colocado de marbetes en los diferentes fenotipos estudiados.

Fenotipo CSP-COIPSA-01



Fenotipo CCQ-3

Fenotipo COV-13

Fenotipo CCNJ-HQB-19

Anexo 6. Caracterización de los fenotipos identificados

Conteo de inflorescencia en el fenotipo CCQ-3

Largo, ancho de la hoja del fenotipo CRM-11

Color de hoja joven

Nº de frutos por bandola, por nudo y color del fruto

Anexo 7. Fotos de las hojas con roya en los diferentes fenotipos identificados

CSP-COIPSA-01 CLO-FAP-02 CCQ-03 CCQ-04

CU-6 CCH-08 CCH-09 CCH-10

CRM-11

CRM-12

COV-13

CCAS-14

CCAS-15

CCAS-16

CCNJ-CFC-18

CCNJ-HQB-19