

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



TESIS

**“FUENTES Y NIVELES DE SILICIO EN EL RENDIMIENTO Y EN
LA INCIDENCIA DE OJO DE GALLO (*Stillbum flavidum* C.) EN LA
VARIEDAD DE CAFÉ CATIMOR”**

**Para optar el título profesional de
INGENIERO AGRÓNOMO**

**Elaborado por
JOSE DAVID HILARIO ESPINOZA**

Tingo María – Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios, por ser siempre mi guía y
Por haberme dado la sabiduría
para culminar mis estudios.

A mis queridos padres Hilario Alania,
Guillermo y Espinoza Nieves, Valeria
quienes depositaron toda su
confianza en mí y me apoyaron en
todo para poder cumplir no solo uno
de mis sueños, sino cumplir el de
ellos también.

A mis hermanas(os) Susana,
María, Ida, Benjamín, Juan y
Josué, quienes son un gran
ejemplo para mí y por haberme
incentivado a seguir adelante y a
tener presente que podemos lograr
todos nuestros objetivos poniendo
nuestro esfuerzo y sacrificio.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía que contribuyo con mi formación profesional.

A mi asesor M.Sc. Elvis Ottos Díaz, por su valiosa colaboración.

A los miembros de jurado de tesis. Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano, Dr. Hugo Huamani Yupanqui y al Ing. Jorge Cerón Chávez por su apoyo.

A todos los docentes de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por su apoyo en especial al Blgo. M.Sc. HUAUYA ROJAS, Miguel Ángel (Q.E.P.D) por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

A mi padre Guillermo Hilario Alania por facilitarme una parte de su cafetal para desarrollar el presente trabajo de tesis.

A la empresa FEEDCOR E.I.R.L. por brindarnos las enmiendas silícicas para la realización del presente trabajo.

A mis amigos Jean Carlos Ariza Mirabal, quien me brindó su apoyo para la ejecución del presente trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Origen e importancia del café.....	14
2.2. Cultivo de café.....	14
2.2.1. Variedad de café “Catimor”.....	15
2.3. Condiciones edafoclimáticas.....	15
2.3.1. Temperatura.....	15
2.3.2. Lluvia.....	16
2.3.3. Humedad Relativa.....	16
2.3.4. Luminosidad.....	16
2.3.5. Vientos.....	17
2.3.6. Altitud.....	17
2.3.7. Suelos adecuados para café.....	17
2.3.8. pH.....	18
2.4. Fertilización del cultivo de cafeto.....	18
2.4.1. Fases fenológicas de máxima absorción de nutrientes...	19
2.4.2. Época de aplicación de los fertilizantes.....	19
2.4.3. Dosis de fertilizantes a aplicar.....	19
2.4.4. Lugar y forma de aplicación de los fertilizantes.....	20
2.5. Elementos esenciales.....	20
2.5.1. Mecanismos de absorción de los elementos.....	21
2.5.2. Funciones generales de algunos elementos esenciales.	21
2.6. Ojo de Gallo (<i>Stillbum flavidum</i> C.).....	24

2.6.1. Sintomatología.....	25
2.6.2. Etiología, identificación y aspectos biológicos.....	26
2.7. Calidad del café.....	27
2.7.1. Calidad física de café.....	28
2.7.2. Calidad organoléptica de café.....	28
2.8. Silicio.....	29
2.8.1. Importancia del silicio.....	29
2.8.2. El silicio en solución suelo.....	32
2.8.3. Relación de silicio con aluminio y fosforo en el suelo.....	33
2.8.4. Movilidad y acción del silicio en la planta.....	35
2.8.5. El silicio en la protección de las plantas.....	36
2.8.6. El silicio en la producción agrícola.....	39
2.8.7. Fertilizantes a base de silicio.....	41
2.8.8. Proceso de solidificación en las plantas.....	41
2.8.9. Cantidad de silicio en las plantas.....	42
2.8.10. Relación del fósforo con el silicio.....	42
2.9. Efecto del silicio en el cultivo de café.....	43
2.9.1. Escoria siderúrgica – Silicato de Calcio.....	46
2.9.2. Silicato de potasio.....	47
III. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Ubicación.....	48
3.2. Datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones...	48
3.3. Componentes en estudio.....	49
3.3.1. Dispersión a base de ceniza de Cascarilla de Arroz.....	49
3.3.2. Fuentes a base de silicio.....	49

3.3.3. Niveles de aplicación.....	50
3.3.4. Testigos adicionales.....	50
3.3.5. Tratamiento en estudio.....	50
3.4. Diseño experimental.....	50
3.4.1. Modelo estadístico.....	51
3.5. Descripción del campo experimental.....	52
3.5.1. Dimensiones del campo experimental.....	52
3.5.2. Dimensiones de los bloques.....	52
3.5.3. Dimensión de las parcelas.....	54
3.6. Ejecución del experimento.....	55
3.6.1. Demarcación y distribución de los tratamientos.....	55
3.6.2. Muestreo de suelos.....	55
3.6.3. Muestreo foliar.....	56
3.6.4. Aplicación de fuentes y niveles de silicio.....	56
3.6.5. Control de malezas.....	57
3.6.6. Cosecha.....	57
3.7. Características evaluadas.....	57
3.7.1. Rendimiento de café pergamino seco.....	57
3.7.2. Calidad física de granos secos de café.....	58
3.7.3. Calidad organoléptica (taza).....	58
3.7.4. Incidencia de " ojo de gallo" (<i>Stillbum flavidum</i> C.).....	58
3.7.5. Efecto del silicio en la neutralización del aluminio y disponibilidad del fosforo en el suelo.....	59
3.7.6. Análisis de rentabilidad.....	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60

4.1. Rendimiento de café pergamino, calidad física y organoléptica del cultivo de café (<i>Coffea arábica</i> L.).....	60
4.1.1. Rendimiento de café pergamino kg/ha.....	60
4.1.2. Calidad física de los granos de café pergamino.....	64
4.1.3. Calidad organoléptica del café.....	66
4.2. La incidencia de “Ojo de Gallo” (<i>Stillbum flavidum</i> C.) en la variedad de café “Catimor”.....	71
4.2.1. Porcentaje de incidencia en hojas de café.....	71
4.2.2. Porcentaje de incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café.....	75
4.3. La disponibilidad del fosforo en el suelo.....	78
4.4. Correlación entre el silicio y la producción.....	82
4.5. Análisis de rentabilidad.....	83
V. CONCLUSIONES.....	87
VI. RECOMENDACIONES.....	.88
VII. RESUMEN.....	89
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS91
IX. ANEXO.....	101

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Composición química de la escoria siderúrgica – silicato de calcio. .	47
2. Parámetros meteorológicos durante el experimento.....	48
3. Composición química de dispersión a base de ceniza.....	49
4. Esquema del análisis de variancia.	51
5. Descripción de los tratamientos en estudio.	53
6. Análisis de variancia para rendimiento (kg/ha) de café pergamino....	60
7. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el rendimiento kg/ha de café pergamino	61
8. Análisis de variancia para calidad física de los granos de café pergamino	64
9. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para calidad física de los granos de café seco.	65
10. Análisis de variancia para calidad organoléptica de café.	67
11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para calidad organoléptica de café.....	68
12. Análisis de variancia para incidencia de “ojo de gallo” en hojas de variedad Catimor.....	71
13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para incidencia de ojo de gallo en hojas café, variedad Catimor.....	72
14. Análisis de variancia para incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café, variedad Catimor.....	75
15. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para incidencia del “ojo de gallo” en frutos de café variedad Catimor.....	76
16. Análisis de variancia para disponibilidad del fosforo en el suelo.	78

17.	Análisis de rentabilidad de los tratamientos.	85
18.	Datos originales para el rendimiento del café.	116
19.	Datos originales para la calidad física de café.	116
20.	Datos originales para la calidad de taza (puntos).	117
21.	Datos de incidencia en hojas causadas por <i>Stillbumflavidum</i> C.....	117
22.	Datos de incidencia en frutos causadas por <i>Stillbum flavidum</i> C.....	118
23.	Datos originales de fósforo disponible (ppm).	118
24.	Datos originales de silicio en el suelo.	198
25.	Datos originales de silicio en las hojas.	119
26.	Análisis de suelo del campo experimental.	120
27.	Detalle de la cantidad de fuentes utilizadas en el experimento.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Croquis del campo experimental.....	53
2. Croquis de una unidad experimental.....	54
3. Rendimiento (kg/ha) de café pergamino de la variedad catimor.....	63
4. Calidad física (%) de los granos de café.....	66
5. Calidad organoléptica de café.....	70
6. Incidencia de “ojo de gallo” en hojas de café variedad catimor.....	75
7. Incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café variedad catimor.....	78
8. Disponibilidad del fosforo en el suelo (A), Correlación del silicio aplicado y el fosforo disponible en el suelo (B).....	80
9. Curva polinómica para relación entre Silicio y el rendimiento.....	83
10. Análisis de rentabilidad.....	86
11. Calculo de peso efectivo para la aplicación de las fuentes y la cantidad por planta según los niveles a aplicarse.....	102
12. Calculo sobre la cantidad de las fuentes según la concentración de SiA.....	103
13. Calculo para dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, según las concentraciones a aplicar para cada tratamiento.....	104
14. Calculo para Escoria siderúrgica – Silicato de calcio según concentraciones a aplicar para cada tratamiento.....	104
15. Calculo para Silicato de potasio, según las concentraciones a aplicar para cada tratamiento.....	105
16. Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos.....	105

17.	Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos en las dos aplicaciones de Escoria siderúrgica – Silicato de calcio....	106
18.	Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos en las dos aplicaciones de Silicato de potasio.....	106
19.	Demarcación del área experimental (A), colocación de letreros de bloques y tratamientos (B).....	107
20.	Cantidad de Escoria siderúrgica – Silicato de calcio aplicado en el tratamiento 5.....	107
21.	Dilución de las fuentes de silicio para la aplicación.....	108
22.	Aplicación de las fuentes.....	108
23.	Evaluación de las enfermedades en hojas y frutos.....	109
24.	Calidad de los frutos con silicio + NPK (A), sin silicio y sin NPK (B)....	109
25.	La cosecha de los frutos maduros.	110
26.	Fermentado de los granos (A), lavado de los granos (B).....	110
27.	Secado de los granos de café.....	111
28.	Granos de café oro (A) con silicio + NPK, (B)Granos de café oro sin sin NPK	111
29.	Plantas sin la aplicación de silicio y sin NPK.....	112
30.	Plantas que recibieron la aplicación de silicio + NPK.....	112
31.	Análisis de caracterización del suelo antes de la aplicación	113
32.	Análisis de caracterización del suelo después de la aplicación	114
33.	Análisis de caracterización del suelo después de la aplicación	115

I. INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo de café en Nuevo Milenio es baja con 9 a 10 qq/ha en promedio, debido a que estos suelos residuales tienen problemas de sobre saturación de aluminio y bajo contenido de silicio disponible. Sin embargo, el silicio es muy abundante en la corteza terrestre, pero no en forma asimilable por las plantas, sin embargo, la disponibilidad del fósforo es limitado debido a la alta concentración del aluminio en el suelo. Según ZHANG *et al.* (2001) los suelos residuales tienen alta concentración de aluminio formando complejos insolubles con el fósforo que evitan su disponibilidad para la planta, asimismo ORTEGA (2002), menciona que el silicio aumenta en la disponibilidad de P en el suelo. Viendo este incidente es necesario tener una proporción de estos dos elementos en mayor cantidad en nuestros suelos para evitar tener plantas con deficiencias nutricionales y débiles al ataque de plagas y enfermedades.

En la actualidad por motivos de baja fertilidad de los suelos las enfermedades se han hecho más frecuentes y con mayor incidencia logrando reducir la producción hasta un 80%, tal es el caso el ataque de ojo de gallo en las plantaciones de café en la zona de Tingo María, está produce necrosamientos circulares en las hojas y negreamientos en frutos causando caídas repentinas antes de la maduración y muerte de la planta, si no hay un control puntual y focalizado, esta contagia rápido en toda la parcela, por ello la necesidad de aplicar silicio al suelo este produce un engrosamiento del tejido de la hoja, sirviendo como barrera ante la penetración de la hifa del hongo al germinar.

El silicio tiene efectos en la fertilidad de los suelos a través del tiempo, mejora la capacidad de intercambio catiónico y la absorción del calcio, magnesio, fósforo y otros. Según QUERO (2007), silicio es importante para la planta en la tolerancia a las enfermedades, en tal sentido se ha desarrollado el presente trabajo de investigación para conocer los efectos de tres fuentes y niveles de silicio en el cultivo de café en producción, en la localidad de Nuevo Milenio - Pumahuasi, Provincia de Leoncio Parado.

Objetivo general

1. Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el rendimiento del café y en la incidencia de "Ojo de Gallo" (*Stillbum flavidum* C.), en la variedad de café "Catimor".

Objetivos específicos

1. Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el incremento del rendimiento de la variedad de café "Catimor".
2. Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en la reducción de la incidencia de "Ojo de Gallo" (*Stillbum flavidum* Cooke.), en la variedad de café "Catimor".
3. Determinar el efecto del silicio en la disponibilidad del fósforo en el suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen e importancia del café

Según LEÓN (2000) “El árbol de café tiene su centro de origen en la lejana Abisinia (en la geografía actual Etiopía), en el Nororiente de África. En el mundo sobresalen por su importancia comercial, la especie de los cafés arábigos y los de los cafés robustos. La primera especie abarca casi las tres cuartas partes de la producción mundial y se cultiva principalmente en Centro y Sur de América”.

MINAG (2013) menciona que “el café es un producto cultivado en los países de clima tropical, de ahí que mayormente es producido por los países en desarrollo, constituyéndose en el principal rubro de exportación agrícola y primera fuente generadora de divisas después del petróleo, además de mostrar grandes perspectivas de desarrollo en el mercado internacional”.

2.2. Cultivo de café

“El cultivo de café es un sistema productivo que ha sido objeto de muchas investigaciones, y esta tendencia continúa en la búsqueda de mejores alternativas para una producción sostenible a largo plazo. El café bajo sombra es una práctica común principalmente en Centro América, Gran Colombia y México” (CARVAJAL, 1985).

FISCHERSWORRING y ROBKAMP (2001) “refiere que, para el buen desarrollo y producción del café, se requiere de un microclima fresco, en altitudes de 1200 a 2000 msnm, dependiendo de la latitud (trópico o subtropical) con semi sombra y suficiente humedad propiciada por especies arbóreas, de preferencia situados en suelos de buen drenaje, profundos, ricos en nutrientes, con textura franca, con el fin de obtener producciones de mejor calidad”.

Según LOPEZ *et al.* (1972) “en diferentes investigaciones ha encontrado que la temperatura óptima para el crecimiento del café está entre 19 y 21°C, con un límite inferior de 13°C y uno superior de 32°C. Por fuera de estos límites el crecimiento es casi nulo y la productividad muy baja”.

2.2.1. Variedad de café “Catimor”

“Esta variedad se originó con el cruzamiento del caturra roja por el híbrido Timor, el café Catimor se caracteriza por ser una planta de porte bajo, su tronco o tallo es grosor intermedio, su considerable número de ramas laterales que forman una copa mediante vigorosa y muy compacta, además de eso cabe resaltar su productividad que es realmente alta, y que llega a mostrar un comportamiento favorable con respecto a la enfermedad roya, por lo menos en razas de hongos “*Hemileia vastratix*” que proliferan en la caficultura andina” (QUINTERO, 2014).

2.3. Condiciones edafoclimáticas

2.3.1. Temperatura

Según CENICAFE (2000) en su manual técnico de buenas prácticas del cultivo de café se menciona que “El café se desarrolla y produce mejor cuando su ambiente tiene temperaturas promedio de 23°C durante el día y 17°C durante la noche. En climas calientes, el exceso de calor reduce la productividad porque perjudica las floraciones. Además, la planta es menos eficiente en la fotosíntesis y dificulta el traslado de las sustancias fabricadas por las hojas a otras partes de la planta”.

2.3.2. Lluvia

CENICAFE (2010) el café se cultiva en lugares con una “precipitación que varía desde los 750 mm anuales (7.500 m³/ha) hasta 3000 mm (30.000 m³/ha), si bien el mejor café se produce en aquellas áreas que se encuentran en altitudes de 1200 a 1700 metros, donde la precipitación pluvial anual es de 2000 a 3000 mm”. LADERACH *et al.* (2010) explica “si la precipitación cae fuerte puede botar del árbol las flores y las frutas, también puede producir floraciones erráticas”. Las floraciones erráticas y maduración no uniforme del café incrementan el número de cortes de café por temporada incrementando los costos de producción (GTZ, 2010).

2.3.3. Humedad relativa

Según FIGUEROA (1990) menciona que la “humedad relativa prevalece en los cafetos en el rango de 70 % al 95 %, resulta apropiada. Esta humedad baja durante la estación seca”.

2.3.4. Luminosidad

“El cafeto es una planta de días cortos (menor de 13 horas luz), teniéndose en las zonas cafetaleras días iluminados en verano y nublados en invierno” (RUIZ, 1979). “Un factor determinante de la productividad de los cafetales es la radiación solar dentro del cultivo; así mismo, existe una relación inversa entre el nivel de la sombra y la respuesta a la fertilización” (FARFÁN y MESTRE, 2004).

2.3.5. Vientos

Según FIGUEROA (1990) “el comportamiento de los cultivares de café, frente a la acción de los vientos presenta marcadas diferencias. Son los cafetos de porte bajo más resistentes a las corrientes de aire. Los daños, de acuerdo a la intensidad de estos vientos van desde rotura de ramas, defoliación, caída de frutos hasta tumbado de cafetos y árboles de sombra”.

2.3.6. Altitud

“El cafeto se siembra desde 1000 hasta 1600 msnm. La altura, por si no es determinante para la calidad de las cosechas” (DESCO, 2012). Tiene su centro de origen en Etiopía (Abisinia) en el Oriente de África en altitudes de 1,300 a 2,000 msnm, sin embargo, esta especie se adapta generalmente en las montañas tropicales entre 600 y 1500 msnm (WINTGENS, 2009). “Se considera que las alturas óptimas para el cultivo de café están entre 900 y 1,200 msnm, en las regiones tropicales a dichas alturas normalmente se presenta un rango de temperatura de 17°C a 23°C que es óptimo para el cultivo de café” (GUHARAY *et al.*, 2000).

2.3.7. Suelos adecuados para café

“En la Selva del Perú existen cinco órdenes de suelos, entre ellos predominan dos: Inceptisol y Alfisol, estos suelos son ideales para producir un café de excelente calidad. Los tipos de suelo adecuados para el cultivo de café son de textura franca, con buena fertilidad, drenaje y aireación; de pH ácido a ligeramente ácido, buena profundidad efectiva y adecuado contenido de materia orgánica” (DESCO, 2012).

CENICAFE (2010) en su manual de café menciona que “las mejores condiciones físicas se presentan en los suelos provenientes de cenizas volcánicas, los cuales poseen en general buena textura (francos) y estructura (granular), buena profundidad efectiva (40-60 cm), buen drenaje interno, buena capacidad de retención de humedad y mayor resistencia a la erosión en comparación con otros suelos de la zona cafetera, debido al predominio de minerales amorfos como la alófana”.

2.3.8. pH

Según GONZALES *et al.* (2003) “la acidez del suelo afecta el desarrollo de la planta por su influencia en la disponibilidad de ciertos elementos esenciales o tóxicos para la planta. En muchos suelos se presenta un pH inferior a 5,0, el cual puede conducir a problemas de toxicidad de aluminio o de manganeso y deficiencias de calcio, magnesio, potasio, azufre, boro, cobre o zinc. En algunos suelos de origen sedimentario se presenta un pH muy alto (básico) debido principalmente a los altos contenidos de calcio, y en estos casos es frecuente observar deficiencias de micronutrientes como manganeso, hierro, zinc, boro o cobre”.

2.4. Fertilización del cultivo de cafeto

“El cultivo de cafeto, para su crecimiento y producción se abastece de nutrientes a partir de las reservas que contenga el suelo. Por tanto, si un suelo no está bien abastecido en forma natural para cubrir los requerimientos nutricionales del cultivo, será necesario proporcionarlo mediante la fertilización, sea con abonos orgánicos, sintéticos o minerales” (RENGIFO, 1998).

2.4.1. Fases fenológicas de máxima absorción de nutrientes

CASTAÑEDA (1997) menciona que “la máxima absorción de los elementos minerales se produce en la fase de floración, en la subida de lluvias y en la etapa de llenado de grano en la bajada de lluvias. En la caficultura moderna, los elementos mayores y menores que la planta absorbe en orden de importancia son los elementos Mayores: K, N, Ca, Mg, S, P, (son aplicados directamente al suelo) y los elementos Menores: Cl, Fe, Zn, Mn, Mo, (se aplican por vía foliar)”.

2.4.2. Época de aplicación de los fertilizantes

CASTAÑEDA (1997) recomienda “realizarla tres veces por año, teniendo en cuenta el ciclo fenológico de planta. Los fertilizantes o abonos serán absorbidos con mayor eficiencia cuando la planta cuente con una buena formación de pelos absorbentes así: La primera aplicación se realiza en floración. Después del inicio de las lluvias, la segunda aplicación en la etapa de llenado de grano. Al inicio de la bajada de lluvias. La primera y segunda aplicación de fertilizantes debe contener: N, P, K, Mg, B y S”.

2.4.3. Dosis de fertilizantes a aplicar

“Las cantidades de nutrientes a utilizar en la formulación de fertilizantes está en relación con la fertilidad de suelo, clima, edad de las plantas, estado nutricional y precios del café, entre otros” (FIGUEROA, 1990).

2.4.4. Lugar y forma de aplicación de los fertilizantes

DESCO (2012) menciona que “en suelos planos: se aplica alrededor de la planta en una banda de 15 cm. (planta en producción) considerando el área foliar de la planta. Cuando la planta es pequeña abonar a una distancia de 5 cm del eje; y en suelos con pendiente: se aplica en forma de media luna en la parte superior”. Una vez aplicado el fertilizante se recomienda tapar con rastrojos para evitar la volatilización y lavado del mismo.

Para RENGIFO (1998) “La fertilización se realiza en forma de una banda circular de unos 20 cm de ancho. En caso de plantaciones ubicadas en pendientes, los fertilizantes se aplicarán en el semicírculo superior (media luna). El ancho de la banda se hace con rastrillo, los fertilizantes se aplican a una profundidad de 5 a 7 cm, luego se tapan con una capa de suelo y con resto de hojarasca del suelo”.

2.5. Elementos esenciales

De acuerdo con DOMINGUEZ (1989) “el criterio anteriormente citado, se ha ido demostrando por diferentes investigadores la esencialidad de los siguientes elementos químicos: Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Boro (B), Cloro (Cl). A estos dieciséis elementos que son esenciales para todas las plantas superiores podrían añadirse algunos otros, tales como el Sodio (Na), el Silicio (Si) y el cobalto (Co) que sólo parecen ser necesarios para algunas especies”.

2.5.1. Mecanismos de absorción de los elementos

Los nutrientes generalmente se aplican al suelo para ser absorbidos por la raíz, pero la planta también lo hace por la hoja lo que tiene ciertas ventajas: economía, para evitar algún factor edáfico, para tener una respuesta más rápida, Ej. Cuando la deficiencia del suelo en N o P es muy grande, no puede darse la cantidad total del elemento en aspersión foliar, pues resultaría una solución con excesiva presión osmótica y provocaría efectos nocivos; pero en concentraciones menores y adiciones parciales de N, P y K pueden darse. “Los elementos nutritivos son absorbidos por la planta, generalmente desde la solución del suelo y a través de la raíz por procesos y mecanismos que aún no están completamente aclarados. No obstante, la intensa investigación que se viene desarrollando en los últimos años al respecto, ha permitido aumentar muy significativamente el conocimiento de dichos mecanismos”. La entrada de los fertilizantes en aspersión foliar ocurre a través de las estomas y la cutícula. Un factor importante es el ángulo de contacto con la solución aplicada y la superficie mojada; en cambio, no juega papel importante la adición de emulsionantes o humectantes, a diferencia de lo que ocurre con la entrada de moléculas de pesticidas. En general, las hojas jóvenes absorben mejor que las viejas (DOMINGUEZ, 1989).

2.5.2. Funciones generales de algunos elementos esenciales

Según DOMINGUEZ (1989) “los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno y azufre son constituyentes de compuestos orgánicos básicos en el metabolismo de la planta”. A continuación, examinaremos brevemente las funciones específicas de los elementos nutritivos:

a. Nitrógeno (N)

BONO Y ALVARES (2007) “el nitrógeno (N) es uno de los elementos más ampliamente distribuidos en la naturaleza. El principal reservorio de N es la atmósfera. En el suelo se encuentra bajo tres formas y la Figura 1 muestra un esquema simplificado. Por sus funciones en la fisiología de las plantas, es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de los cultivos”. Los altos requerimientos de N de las plantas lo convierten en un factor limitante en todos los suelos del mundo. “Los suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana (RSSP) se caracterizan por su bajo contenido de N. Al avance de la agricultura y los procesos de degradación, originados por el excesivo laboreo del suelo acentúan esta deficiencia dado que los primeros centímetros son los más fértiles Importante para la producción de follaje y de las ramas laterales, como desarrollo de los frutos”.

“Su deficiencia se manifiesta con amarillamiento de las hojas más viejas que luego se generaliza en todo el follaje pudiendo llegar a defoliarse por completo. Los frutos se vuelven amarillos y pequeños se caen con facilidad. La mayor fuente de nitrógeno se encuentra en guano de isla, estiércol descompuesto, la gallinaza, harina de sangre el estiércol líquido, los orines y abonos verdes” (FIGUEROA, 1998).

b. Fósforo (P)

GARCÍA (2001) “El P es uno de los nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Junto con el N y el potasio (K) conforman el grupo de macronutrientes por las cantidades requeridas por los cultivos y por la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos”.

Según FIGUEROA (1998) el fósforo “se encarga de la formación del sistema de raíces y flores, así como el crecimiento y la maduración de los frutos. La deficiencia de fósforo se presenta generalmente en las hojas más viejas donde se observan manchas amarillas con coloraciones rojas, mientras que las hojas nuevas (las guías) muestran menor crecimiento. Las fuentes de fósforo son el guano de islas, el fosfato natural, las escorias básicas, los fosfatos minerales, harina de pescado y la harina de huesos”. En las plantas el P es necesario para la respiración, fotosíntesis, funcionamiento celular y en la transferencia y reproducción de genes (STAUFFER y SULEWSK, 2001).

c. Potasio (K)

NAVARRO y NAVARRO (2003) menciona que el “fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en concentración variable, según la parte del aparato vegetativo que se considere. Su valor medio, expresado en óxido de fósforo puede situarse entre los 0.5 y 1 % de materia seca. La mayor parte de este fósforo absorbido por la planta se da en forma ortofosfatos directamente como ácido fosfórico, y en una menor cantidad como iones fosfatos u óxido de fósforo. La absorción del primero es diez veces más rápida que la del segundo, teniendo en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo. Bajo la forma de fosfatos de potasio y magnesio, se le encuentra en pequeña proporción, ya que mayoritariamente se halla formando parte de una gran variedad de combinaciones orgánicas integradas en los grupos: fosfolípidos, fosfoprotéidos y fosfoglicidos”.

d. Magnesio (Mg)

El magnesio (Mg) interviene en varias funciones vitales para la planta. Los procesos metabólicos y reacciones en las cuales interviene el Mg son:”1) Fotofosforilación (formación de ATP en los cloroplastos), 2) fijación fotosintética del dióxido de carbono (CO₂), 3) síntesis de proteínas, 4) formación de clorofila, 5) recarga del floema, 6) partición y asimilación de los productos de la fotosíntesis, 7) generación de las formas reactivas de oxígeno y 8) fotooxidación de los tejidos de las hojas, 9). Los cafetales que presentan deficiencias de este elemento se caracterizan por el amarillamiento de las hojas” (FIGUEROA ,1998).

2.6. Ojo de Gallo (*Stillbum flavidum* C.)

CENICAFE (2011) el "Ojo de gallo", también llamado "gotera", debido al ocasional desprendimiento de la lesión, es producida por el hongo *Mycena citricolor*, el cual se desarrolla en cafetales con excesiva sombra, poca ventilación, y condiciones de mucha lluvia; su avance es lento y generalmente aparece en sitios aislados. La presencia del hongo suele manifestarse durante todo el año, si las condiciones le son favorables. El viento, la lluvia, el hombre, etc., son medios importantes para su diseminación (CENICAFE, 2011), esta enfermedad es conocida también como candelilla, viruela y ojo de pavo real, y es uno de los disturbios patológicos que ocasiona más daños en la planta de café, de preferencia en las hojas, especialmente en plantaciones con exceso de sombrero de especies forestales, alta humedad relativa, baja luminosidad, pocas horas de luz, bajas temperaturas, poca ventilación y regiones con alta precipitación y con deficientes sistemas de drenaje (CENICAFE, 2014). El principal daño que causa el “ojo de gallo” en las plantaciones de cafeto es la

defoliación. A pesar de que la planta no muere, disminuye notablemente el área fotosintética y causa un debilitamiento que favorece el desarrollo de otras enfermedades. Además, el cafeto utiliza sus reservas en la producción de nuevo follaje y el fruto también se puede ver afectado (OROZCO, 2010; GONZÁLEZ, 2003).

2.6.1. Sintomatología

Una vez infectada la planta, se empiezan a formar pequeñas manchas circulares u ovaladas en el haz de las hojas, las cuales se forman a partir de puntos café oscuros de borde indefinido, conforme se va desarrollando la lesión, el borde se torna definido con poca o ninguna clorosis alrededor. Las lesiones se pueden observar de color café claro, grisáceo o café rojizo (WANG y AVELINO 1999). El número de lesiones por hoja puede variar entre 10 y 50, aunque es posible que se presenten hasta 100 lesiones. Cuando las lesiones se forman a lo largo de una vena principal, toman una forma alargada en el sentido de la vena y provocan epinastia en las hojas jóvenes. Sobre las lesiones se desarrollan las cabecitas, que pueden encontrarse tanto en el haz como en el envés de las hojas y son las causantes de la diseminación del hongo en el campo y las que permiten diferenciar esta enfermedad de otras que producen manchas similares. WANG y AVELINO (1999), mencionan que la defoliación no depende tanto de la cantidad de lesiones por hoja sino de su posición en las hojas ya que las lesiones que se ubican cerca de la base ocasionan caída prematura en hojas adultas y epinastia en hojas jóvenes. Además, La enfermedad también puede dañar el tallo de las bandolas cuando éste es verde y tierno, la lesión se desarrolla a lo largo del tallo y en algunas ocasiones invade todo su grosor, provocando la muerte de la parte terminal (GONZÁLEZ, 2003). ECHEVERRI y

ZAMORA (1997) mencionan que se han registrado ataques que han causado una defoliación tan severa que se ha perdido más del 50% de la cosecha.

2.6.2. Etiología, identificación y aspectos biológicos

CASTAÑO (1951) “el agente causal de esta enfermedad es el hongo *Mycena citricolor* (Berk y Curt) Sacc. (*Stillbum flavidum* Cooke), pertenece a la clase Basidiomyceto. En periodos lluviosos y en horas de la mañana sobre las lesiones, se observan pequeñas estructuras que corresponden a los “coremios” o “sinemas” del estado imperfecto del hongo. Estas estructuras reproductivas son muy abundantes ya que en una sola mancha se puede producir hasta 100 sinemas”.

VARGAS et al. (1990) menciona que “el hongo produce dos tipos de cuerpos fructíferos: las gemas o cabecitas (estado asexual o anamórfico) y el basidiocarpo (estado sexual o teleomórfico). El micelio del hongo en medio de cultivo es de color blanco, sus hifas son septadas, binucleadas y forman fíbulas, este se desarrolla a una temperatura entre 5° y 30° C; siendo la temperatura óptima 24°C”.

En general, el ciclo de vida de un hongo basidiomycete inicia con la germinación de las basidiosporas (esporas de los basidiomycetes), al germinar se da la formación de un micelio monocariótico haploide. En esta etapa todos los núcleos presentan el mismo material genético. Posteriormente, se da plasmogamia (fusión de dos protoplastos) entre dos micelios haploides con lo que se forma un micelio dicarionte. Este micelio crece de forma más acelerada que los micelios haploides de los progenitores, colonizando rápidamente el

medio. Según las condiciones ambientales que se presenten (cambios de temperatura, lluvia, humedad), se induce la formación de masas compactas a partir de los micelios dicariontes; estas masas se transforman en los basidiocarpos. Los basidiocarpos están compuestos por laminillas, en las cuales se encuentran células dicariontes conocidas como basidios. Los basidios pueden ser septados (heterobasidio) o sin septas (holobasidio), en estas estructuras es donde se producen las esporas de esta clase de hongos. Para la producción de las esporas, los basidios sufren un proceso conocido como cariogamia (fusión de dos núcleos) el cual produce núcleos diploides, posteriormente, estos núcleos se dividen por meiosis formando cuatro núcleos haploides.

Cada basidio forma cuatro apéndices y en cada uno de ellos penetra un núcleo haploide formando las basidiosporas. Cuando están maduras, las basidiosporas son liberadas para ser dispersadas por el viento y empezar de nuevo su ciclo de vida (CAMPBELL y REECE, 2007).

2.7. Calidad del café

Según FARJADO Y SANZ (2003) y GRIFFIN (2001) “la calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) es el resultado de los atributos sensoriales que dependen de factores como genotipo, variedad, tipo de suelo, condiciones agroecológicas, prácticas agronómicas, de cosecha y poscosecha, torrefacción, características propias del cultivo, y procesamiento”, así como de las características de suelo (COFENAC, 2003). AVELINO *et al.* (2002) menciona que “demostraron los efectos de múltiples factores, entre los cuales se incluyen

altitud, precipitación, acidez del suelo, sombra, productividad y los parámetros granulométricos del café tostado y molido”.

FISCHERSWORRING y ROBKAMP (2001) explican que “la calidad del café, también se refiere a las características intrínsecas del grano es decir las características físicas y organolépticas que inciden principalmente en el precio de venta del café. Sobre la calidad del grano de café influye a su vez en forma determinante la composición química del grano, condicionada por la constitución genética de la especie, *C. arábica* o *C. canephora*”.

2.7.1. Calidad física de café

Según GEEL *et al.* (2005) “las características físicas de mayor relevancia se encuentran; el tamaño, aspecto y color del grano en oro, tueste, aspecto externo y abertura de la hendidura del grano”. BANEGAS (2009) describe “el tamaño de grano se determina usando tamices de diferentes diámetros, se expresa en porcentaje de grano de oro por clase de tamiz. Además, MARIN *et al.* (2003) explica que “se consideran granos con defectos aquellos que presenten al menos una de las siguientes condiciones: negros, decolorados, malformados, aplastados, inmaduros (verdes), mordidos, picados por insectos, fermentados, manchados, entre otros. Los defectos pueden expresarse tanto en porcentaje o en cantidad”.

2.7.2. Calidad organoléptica de café

IICA (2003) describe que “las variedades de café de la especie *C. arábica* presentan mejores cualidades organolépticas, bebida suave con buenas características de aroma y acidez, cuerpo mediano y exquisito sabor y obtienen

los mejores precios en mercado internacional en comparación con los C. canephora que presentan una bebida más amarga, con menor acidez y aroma”.

GEEL *et al.* (2005) refiere que “los sentidos del olfato y del gusto son importantes son el proceso de definición de la calidad de un café en particular; dentro de las características organolépticas importantes se encuentran: fragancia, aroma, sabor cuerpo, acidez y pos gusto y balance”.

FIGUEIREDO (2007), reporta un efecto significativo de las aplicaciones foliares de silicio en características organolépticas de la bebida, mejorando significativamente la acidez, balance y cuerpo del café en la variedad Mundo Novo.

2.8. Silicio

Según AGUIRRE y RAYA (2005) “el silicio está presente en las plantas superiores en cantidades equivalentes a los macro nutrientes como el Ca, Mg y P. especialmente en las gramíneas el Si se acumula en cantidades mayores que cualquier otro elemento inorgánico salvo en algunas especies de algas”.

“A pesar de todo esto el silicio no es considerado como un elemento esencial para las plantas, lo que ha hecho que este elemento no sea incluido en las formulaciones de uso rutinario, además de no estar incluido en muchas investigaciones de fisiología vegetal. A pesar de todo esto existen ya evidencias de que las plantas en las que existe carencia de silicio frecuentemente son más débiles y su crecimiento, desarrollo, viabilidad y reproducción es anormal, son más susceptibles al estrés abióticos, como toxicidad por metales, fácilmente invadidos por microorganismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos

herbívoros, todo esto se puede ver en plantas que crecen en suelos deficientes en silicio como lo afirman algunos autores” (CESAR, 2008).

2.8.1. Importancia del silicio

Según THANGAVELU y RAO (2002) “el Silicio protege la actividad fotosintética, preservando los tejidos verdes foliares contra la acción de agentes deshidratantes, suprime la actividad de la amilasa, previniendo la acumulación del almidón y subsiguiente competición por las reservas de fosfato orgánico, e inhibe la actividad invertasa, evitando la inversión excesiva de la sacarosa en las etapas de pre y poscosecha”.

“Es uno de los elementos más abundantes en las plantas superiores, sin embargo, está incluido en un número limitado de publicaciones agrícolas, esto se debe a que, en los años 80, desarrolladores de técnicas de cultivo concluyeron que el silicio no necesita ser incluido en las formulaciones de nutrientes por no tener influencia determinante en el crecimiento vegetal. Contrastando con esas conclusiones existen grupos de botánicos, agrónomos, horticultores y patólogos vegetales que han realizado profundas investigaciones en fisiología vegetal, ellas muestran que el silicio mejora la retención de agua en los tejidos, reduce el daño oxidativo a las membranas causado por exceso de iones, entre otras efectos benéficos que hacen que este elemento tome cada vez más importancia dentro del campo agrícola vegetal, además promueve la rigidez y elasticidad de la pared celular al ser un elemento estructural en las células y

tejidos vegetales, que es donde generalmente es acumulado para mejorar el crecimiento y fertilidad” (QUERO, 2007).

“Agentes abióticos como temperatura, agua, o CO₂ disuelto en el agua como ácido Carbónico, actúan sobre los materiales arcillosos del suelo liberando ácido Silícico al mismo tiempo que son liberados minerales arcillosos que se asocian al silicio y forman silicatos de calcio, magnesio, potasio, zinc, hierro, aumentando en gran medida la capacidad de intercambio catiónico del suelo, contribuyendo esto a que el pH se torne básico 7.5 a 8.5, dando las condiciones para que el suelo sea altamente productivo” (CESAR, 2008).

QUERO (2008) “el silicio en el suelo es directamente afectado por el uso intensivo del mismo, la explotación intensiva de los suelos reduce en gran medida los niveles de silicio de los mismos, la extracción de silicio de los suelos por cada cosecha está en un promedio de 40 a 300 kg/Ha, esto causa el aumento del aluminio y por ende un suelo más ácido”.

“Existen cinco posibles mecanismos para la reducción de la toxicidad del aluminio por compuestos ricos en silicio; como la formación de ácidos silícicos, orto y meta, coloides, polímeros de silicio y complejos aluminio-silicatos. El encalado tiene un solo mecanismo, desafortunadamente la aplicación de encalado y de dolomita, fijan al fósforo y transforman al fósforo-disponible en no asimilable para la planta. Empleando materiales ricos en silicio para la reducción de la toxicidad del aluminio y optimización del pH, mejoran también la nutrición con fósforo, hierro, potasio y zinc, ya que el silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes” QUERO (2008). El silicio

se combina con el aluminio, magnesio, calcio, potasio o hierro, formando silicatos. Lo encontramos en las aguas naturales en forma de compuestos y en las plantas formando tejidos de resistencia y esqueléticos (AGUIRRE y RAYA, 2005).

2.8.2. El silicio en solución suelo

AZABACHE (2003) El ácido silícico (H_4SiO_4) es el principal grupo en forma hidratada. A concentraciones altas de este elemento en solución, el H_4SiO_4 polimeriza para formar precipitaciones de sílice amorfo SiO_2 . Se ha reportado niveles de 3 a 37 mg/l de Si en solución en un amplio rango de suelos normales.

“De 40 a 300 kg de Silicio por hectárea de suelo cultivado, son extraídos anualmente por las cosechas. La falta de ácido monosilícico y la disminución de silicio amorfo conducen a la destrucción de los complejos órgano-minerales, se aceleran la degradación de la materia orgánica del suelo y se empeora la composición mineral. La aplicación de fertilizantes minerales con silicio es obligatoria para una agricultura sustentable y altamente efectiva en cualquier tipo de suelo. La fertilización con minerales ricos en silicio Aumenta la disponibilidad del fósforo en un 40 a 60% y promueve la transformación del fósforo no disponible para la planta en formas asimilables y previene la transformación de fertilizantes ricos en fósforo en compuestos inmóviles” (QUERO, 2008).

2.8.3. Relación de silicio con aluminio y fósforo en el suelo

Dependiendo de la capacidad de intercambio catiónico que posean, los suelos pueden adsorber los nutrientes en las cargas eléctricas de los coloides, unos con mayor o menor fuerza de adsorción, dificultando en algunos casos su absorción por las plantas. Para lograr que los nutrientes entren a la solución del suelo, el silicio se intercambia con estos, quedando el silicio adherido a los coloides, liberándolos y permitiendo de esta manera que queden disponibles para las plantas. El Silicio como mejorador del suelo puede reducir la lixiviación de los nutrientes en los suelos arenosos, especialmente N y K, guardándolos en una forma disponible para la planta (QUERO, 2007).

Al aplicarse fertilizantes como fuentes de fósforo, una gran cantidad de este no alcanza a ser tomado por las plantas, presentándose en el suelo de fijación de fósforo, siendo las siguientes las más comunes:

1. Precipitación mediante iones de Fe, Al y Mn solubles (suelos ácidos), e iones de Ca (suelos menos ácidos) la cual es una reacción bastante rápida así:
$$\text{Al}^{+3} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} = 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4(\text{OH})_2\text{Al (insoluble)}$$
2. Fijación mediante óxidos hidratados al reaccionar el ion fosfato con óxidos hidratados insolubles como la limonita y goethita así: $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ (soluble) = $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4(\text{insoluble}) + \text{OH}^-$
3. Adsorción directa del ion fosfato al complejo coloidal: $\text{Suelo}] - 2\text{OH} + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ = $\text{Suelo}] - 2\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{OH}^-$
4. En esta situación el anión de P es extremadamente susceptible de precipitar posteriormente con algún catión (Al, Fe, Ca) presente en la solución de suelo.

5. Adsorción a través de un “puente” con un catión de intercambio: $\text{Suelo]Ca} + \text{H}_2\text{PO}_4^- = \text{Suelo]Ca-H}_2\text{PO}_4$

Esta opción es muy fácil y fácilmente puede derivar en una precipitación posterior, en este caso fosfato de calcio. “Al aplicar fuentes de silicio como Viosil (bioestimulante a base de silicio), que contiene en su formulación silicio activado como SiO_2 , el cual al hidrolizarse se forma el ácido monosilícico (H_4SiO_4), forma en que es absorbido el silicio por las plantas, como se muestra en la siguiente reacción: $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4$. Este ácido monosilícico (H_4SiO_4) reacciona con los fosfatos insolubles de Al, Fe, Mn y Ca, formándose silicato de cada uno de ellos liberando el ion ortofosfato para ser absorbido por las plantas de la siguiente manera: $2\text{FePO}_4 + \text{H}_4\text{SiO}_4 = \text{Fe}_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$ ” (AGROPERFECT S.A., 2011).

El silicio líquido incrementa la cantidad de enzimas, silicasas y silicateinas que estimulan el crecimiento de raíces en un 50 a 200% más, aumenta la nutrición de P en las plantas de un 40 a 60% sin la aplicación de fuentes fosfatadas e incrementa la eficiencia de la aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%, previniendo la transformación de P en compuestos inmóviles (AGROPERFECT, 2011).

“El silicio neutraliza mejor la toxicidad del Al en suelos ácidos, desafortunadamente la aplicación de cal fija el P y transforma el P-disponible en no disponible para la planta, siendo la aplicación del Silicio además de la anterior función, liberadora del P. El silicio aumenta la nutrición de P en las plantas de un 40 a 60% sin la aplicación de fuentes fosfatadas e incrementa la eficiencia de la

aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%, previniendo la transformación del P en compuestos inmóviles” (QUERO, 2007).

2.8.4. Movilidad y acción del silicio en la planta

Los productos que contienen en su formulación el silicio activado, al ser aplicado al suelo reaccionan con el agua transformándose en ácido monosilícico, siendo esta la forma de silicio como es absorbido por las plantas, moviéndose rápidamente dentro de ella a través del xilema. Cuando la planta transpira pierde el agua absorbida por el silicio en el suelo y se inmoviliza en cristales de silicio, formando una barrera protectora presentando una “resistencia mecánica” al ataque de enfermedades. En arroz y en maíz se ha comprobado que el silicio promueve una excelente resistencia contra enfermedades como *Rizoctonia*, *Pyricularia*, *Helmintosporium* (AGROMIL, 2011).

El silicio hace que de los tallos baje oxígeno a la raíz llegando al parénquima oxidando de esta manera la rizósfora (zona aledaña a la raíz) logrando que el Fe y Mn reducido (forma en que lo toma la planta) se oxidada siendo esta forma poca absorbida por las plantas, lo que evita una excesiva toma de estos elementos que, aunque son necesarios para la planta, su abundancia puede volverlos tóxicos. Además el silicio refuerza en la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos por el crecimiento. El silicio tiene acción sinérgica con el calcio y magnesio mejorando la vida mediana de las cosechas percederas, incrementando la eficiencia de las prácticas de pos-cosecha (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

La interacción del silicio y el nitrógeno a nivel molecular dentro de la planta provoca un mayor crecimiento y endurecimiento de las paredes interiores de la misma, como consecuencia hay crecimiento significativo del sistema radicular, fortaleciéndola contra las plagas y aumentando la producción (AGROPERFECT, 2011).

“El silicio constituye entre el 0.1 y el 10 % del peso seco de las plantas superiores, en comparación con el calcio que está en valores que van desde el 0.1 al 0.6% y el azufre de 0.1 a 1.5 %. La planta de arroz acumula hasta el 10 % y en general las monocotiledóneas acumulan más silicio que las dicotiledóneas aunque pueden darse diferencias incluso a nivel de variedad. Los fisiólogos vegetales no consideraban al silicio como un elemento esencial pero los reportes dan muestra de que la presencia de este beneficia a los cultivos, por inducción de resistencia y protección contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos” (QUERO, 2007).

2.8.5. El silicio en la protección de las plantas

“El silicio tiene una acción dinámica en la relación suelo-agua-planta, este elemento es removido del suelo en grandes cantidades, este se encuentra presente en forma soluble y sólida dentro de los tejidos de las plantas, especialmente en las células que forman el tejido tegumentario. El tejido tegumentario comprende el tejido epidérmico y suberoso. El tejido epidérmico recubre todos los órganos de la planta (hojas, tallos, raíz y frutos), a excepción de meristemas apicales y el extremo de la raíz, es el encargado de regular la transpiración y el intercambio de gases, almacena agua, productos del metabolismo y protege de las acciones mecánicas exteriores, esto es gracias a

la secreción de celulosa, calcio y silicio. El silicio forma agregados insolubles (fitolitos) y solubles (polímeros del ácido ortosilísico), entrelazados con la celulosa y componentes de la pared celular, haciéndolas resistentes y flexibles, el tejido epidérmico está recubierto de la cutina o cutícula que es una capa externa impermeable, traslúcida y que la que protege a la planta de las acciones del agua, del aire y de microorganismos” (QUERO, 2007).

“El silicio se acumula en la epidermis y se asocia con la pectina e iones de calcio, endureciendo el tejido y protegiendo así el ingreso de patógenos a la planta. Otra parte del tejido epidérmico son las estomas los cuales están formados por células llamada célula guarda u oclusivas. Las estomas son los encargados del intercambio de gases del interior de la planta y el exterior, regulando la respiración y la fotosíntesis, y sirven también para eliminar el exceso de agua y minerales (glutación), estas estomas se encuentran generalmente debajo de la hoja” (AGUIRRE y RAYA, 2005).

Según QUERO (2007) “también en la epidermis se forman los tricomas o pelos en las hojas, tallos, flores, frutos y raíces. Los tricomas radiculares absorben agua y nutrientes del suelo. La densidad de estomas y tricomas en la planta está directamente ligada a las condiciones del medio ambiente y la disponibilidad de nutrientes, especialmente de silicio, calcio, potasio y magnesio. El tejido suberoso aparece en reemplazo del tejido epidérmico cuando los órganos empiezan a crecer en grosor, este tejido también se conoce con el nombre de corcho, también forman parte de la protección de los tejidos contra la pérdida de agua y ataque biótico. El grupo de células de la epidermis que participa activamente en la protección de los tejidos de la planta contra agentes abióticos y bióticos son los tricomas, sus características

morfológicas y mecánicas (densidad, tamaño, textura superficial, forma, orientación) pueden influir la respuesta fisiología y ecológica de las plantas, estos son de gran importancia en la protección de la planta, su densidad y tamaño está influenciado por la disponibilidad de silicio en el medio en el que se desarrolla. Los tricomas glandulares a través de la liberación de compuestos fitoquímicos permiten la resistencia y tolerancia de las plantas al ataque de agentes bióticos, esto permite el control biológico de plagas y enfermedades, ya que la acción de las sustancias liberadas, actúan como repelentes, insecticidas, fungicidas, aleloquímicos, así como también participan en la percepción de estímulos, que mejoran la protección y adaptación de los vegetales”.

Los tricomas glandulares, están constituidos por silicio entre 1 y 30%, y dependiendo de la densidad participan en el contenido total de silicio en la hoja con un 50 a 80% (CESAR, 2008).

CESAR (2008) menciona que “la densidad y actividad de los tricomas, de follaje y raíz, en los cultivos agrícolas, es una importante herramienta para el control y combate de diversas plagas, como: áfidos o pulgones, ácaros, mosca blanca, gusanos de hoja y fruto, chinches, chicharritas, que se presentan en cultivos de papa, frijol, jitomate, chile, arroz, maíz, alfalfa, avena, caña de azúcar, calabacitas, entre otros. Por lo anterior la nutrición con silicio es vital y puede ser limitante para el manejo sustentable con calidad y sanidad de cultivos agrícolas y sus cosechas”.

La acumulación de silicio en los tejidos de la epidermis en forma polimérica, orgánica y cristalina, permite proteger y fortalecer mecánica y bioquímicamente a los tejidos de la planta. El silicio se ha empleado eficazmente para controlar numerosas enfermedades causadas por hongos y ataques de

insectos, tanto como, los pesticidas y fungicidas, pero sin efectos negativos para el medio ambiente. La cantidad de tricomas se estimula de un 20 a un 80%. El silicio tiene acción sinérgica con el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). Los seis elementos presentan una acción sinérgica, optimizando el desarrollo del cultivo y producción de cosecha, también se mejora la vida media de las cosechas percederas (QUERO, 2008).

HODSON y SANGSTER (1998), consideran que el efecto del silicio en el aumento de la resistencia de las plantas a las enfermedades es debido o una acumulación del silicio absorbido en el tejido epidérmico y al incremento de las respuestas de defensa. El ácido monosilícico acumulado se polimeriza en el ácido polisilícico y después se transforma en sílice amorfa, que forma una membrana más gruesa y resistente de Silicio-Celulosa. Por este medio, una capa cuticular doble protege y consolida mecánicamente las plantas.

De acuerdo con VALENZUELA (2007) y QUERO (2007) “el rol de silicio en las paredes celulares parece ser análogos a la lignina como un elemento de resistencia y mayor rigidez para la sustitución del agua entre las microfibrillas y otros componentes de carbohidratos en las paredes de las células no lignificadas. Se considera que el efecto de silicio en la resistencia de la planta a las enfermedades es debido a la acumulación del silicio absorbido en el tejido epidérmico o expresión de patogénesis - inducido en la respuesta de defensa del hospedero”.

En los casos de aumento de resistencia al ataque de patógenos e insectos, es atribuido a la acumulación de silicio en las paredes celulares de la epidermis, lo cual se convierte en una barrera mecánica que no permite la fácil

alimentación de las plagas, cuando el insecto devora las hojas de maíz en un suelo remineralizado, es decir, donde se aplicaron minerales ricos en silicio (MPASi), sus mandíbulas se deterioran, dificultando su alimentación ya que prácticamente comen “vidrio”. Esto permite su control y realizar mejoras en las condiciones de desarrollo del cultivo, lo cual se refleja en un incremento de rendimientos (QUERO, 2007).

2.8.6. El silicio en la producción agrícola

Desde el año 1848, numerosos reportes de investigación y la producción comercial en campo han demostrado los beneficios al obtener cosechas superiores, mediante la fertilización con silicio, tal como en la producción de arroz (15-100 %), maíz (15-35 %), trigo (10-30 %), cebada (10-40 %), caña de azúcar (55-150 %), diversos frutales como el aguacate, mango, (40-70 %), zarzamora, guayaba, hortalizas, Jitomate, Chile (50-150 %) y otros, como el frijón, Pastos forrajeros, agave, también se promueven beneficios al suelo para mantener una agricultura sustentable (QUERO, 2008).

La fertilización mineral con Silicio tiene un doble efecto en el sistema suelo-planta. La nutrición con Silicio al cultivo refuerza en la planta su capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción de cosecha, la autoprotección contra enfermedades causadas por hongos y bacterias, el ataque de insectos y ácaros y de las condiciones desfavorables de clima, al estimular el desarrollo y actividad de estructuras poliméricas en la cutícula, los tricomas y fitolitos en la superficie de las hojas (QUERO, 2008).

2.8.7. Fertilizantes a base de silicio

“Los fertilizantes de silicio tienen doble función en el sistema suelo planta, esta mejora e incrementa la resistencia de la planta al estrés abiótico (alta y baja temperatura, viento, alta concentración de sales y metales pesados, hidrocarburos, Aluminio (Al), etc.) y biótico (insectos, hongos, enfermedades), controla el desarrollo del sistema radicular, la asimilación y distribución de nutrientes minerales” (QUERO, 2007).

2.8.8. Proceso de solidificación en las plantas

AGROPERFECT (2011) el silicio en la solución suelo está presente en forma de una molécula no cargada manométrica, ácido silícico a pH menor de 9. A pH superior a 9, el ácido silícico se disocia a ion silicato. La solubilidad del ácido silícico en agua es 2 mM a 25 °C y la polimerización de este silica gel, esto ocurre cuando la concentración de este excede en 2 mM. La forma de silicio absorbido por la raíz es ácido monosilícico, el cual se transporta de la raíz hacia los nuevos brotes.

El silicio es el único elemento que no causa problemas en cantidades excesivas. Este elemento se deposita como una capa gruesa de 2.5 micras de espesor en el espacio inmediatamente debajo de la cubierta cuticular, formando una doble capa de cutícula – silicio. Esta formación se cree intervenga en el rol del silicio en aliviar los stress bióticos y abióticos. Es este uno de los mecanismos que se argumenta promueve la resistencia de las plantas a ser afectadas por enfermedades e insectos, dañan el aparato bucal. En el caso del banano se ha encontrado un efecto positivo en reducir la velocidad de desarrollo de sigatoka negra en las hojas (AEBE, 2008).

2.8.9. Cantidad de silicio en las plantas

El aumento del déficit de silicio causa un número de consecuencias negativas para el suelo y la planta. El silicio es un elemento constitutivo del suelo, su carencia conduce a la degradación de la fertilidad de suelo. Para EPSTEIN (1999), el silicio está presente en las plantas en cantidades equivalentes a aquellos elementos macronutrientes tales como Ca, Mg y P, el café requiere como mínimo 100 ppm de SiA y con frecuencia en los pastos en niveles más altos que cualquier otro constituyente inorgánico. HORNA (2007), manifiesta que el silicio refuerza en la planta su capacidad de distribución de carbohidratos requeridos para el crecimiento y producción. Además el silicio mejora la absorción de otros nutrientes por la planta y genera un efecto antagónico con los metales pesados evitando su absorción por las plantas (SINGH *et al.*, 2011; TRIPATHI *et al.*, 2012a, b).

2.8.10. Relación del fósforo con el silicio

Según GARCIA (2012) “la gran mayoría de nuestros suelos tienen gran poder de fijación del fósforo; lo que los hace grandes competidores con las plantas por el fósforo suministrado por el fertilizante. Cada vez que se suministran fertilizantes fosfatados en el suelo, se tienen pérdidas por fijación. Entre otros factores, esta pérdida se incrementa cuando mayor haya sido la intemperización sufrida por el suelo, y cuando más arcillosa sea su textura. Algunos autores citan pérdidas de hasta un 70% del fósforo aplicado en suelos del Brasil”. “Algunas prácticas disminuyen el problema y mejoran la asimilación del fósforo, tales como: el encalado, la siembra directa, la aplicación localizada

de fuentes de fósforo soluble y el uso de fuentes de fósforo con solubilidad gradual” (CHUEIRI, 2004).

“Se ha demostrado también una notable correlación silicio y fósforo. El suministro al suelo de fertilizantes ricos en silicio solubles incrementa la asimilación del fósforo, esto es posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos. En suelos con características ácidas y pobres en silicio resulta muy apropiado adicionar escorias básicas de defosforilación, las cuales junto al aporte de cantidades variables de calcio, magnesio, manganeso y silicio sirven para una mejora del pH del suelo y para favorecer la asimilación del fósforo” (NAVARRO y NAVARRO, 2000).

2.9. Efecto del silicio en el cultivo de café

CAICEDO y CHAVARRIAGA (2008) mencionan que “en Colombia, evaluaron el efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café. Estos afirman que los resultados obtenidos permitieron ratificar la influencia del silicio en complemento con abonos orgánicos, en el mayor desarrollo y crecimiento de brotes, al igual que el mayor número de hojas, lo que influencia necesariamente en el peso seco total”. En almácigos de café de las variedades Catuai y Mondo Novo, sembrados en una mezcla de estiércol bovino y material de subsuelo en relación 4:1, que la aplicación de 1 g de CaSiO_3 por kilogramo de sustrato, redujo el número de hojas infectadas y de lesiones causadas por mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* L.) (POZZA *et al.*, 2004).

Al evaluar la aplicación de cuatro dosis de SiO₂ (0; 0.32; 0.63 y 1.26 g.kg⁻¹ de sustrato) a partir de silicatos de calcio y sodio, sobre la incidencia y severidad de mancha de hierro en almácigos de café, aseguran que el contenido de lignina en las plantas aumentó hasta una dosis de 0.52 g.kg⁻¹ de SiO₂ (tendencia cuadrática), y que al incrementar las dosis se redujo linealmente el número de plantas enfermas en un 10.8 %, con la mayor dosis ocurrió la menor área bajo la curva de progreso del número de plantas enfermas (POZZA *et al.*, 2004).

Al aumentar la concentración de silicato de K en plantas de café disminuyó linealmente hasta en un 66% el número de lesiones causadas por roya (*Hemileia vastratix*), indicando que éstas son razones suficientes para sugerir el uso del Si como una alternativa ecológica para el manejo de enfermedades en café (SALAMANCA y ADEGHIAN, 2006).

El efecto de la aplicación de silicio sobre el crecimiento de almácigos de café, empleando suelos provenientes de seis unidades de suelos de la zona cafetera colombiana contrastantes en sus características físicas y químicas, además del contenido de Silicio disponible. A nivel general, aunque el efecto del silicio fue más significativo cuando las plantas crecieron en suelo solo, en la mayoría de combinaciones la aplicación de 3.36 g de silicio por planta favoreció la obtención de plantas más vigorosas, debido principalmente a su efecto directo sobre los contenidos de fósforo en el suelo (SALAMANCA Y ADEGHIAN, 2006).

Para condiciones de Brasil, la aplicación de Silicato de calcio en plantas de almácigo, redujo la incidencia de mancha de hierro y se confirmó la presencia

del Silicio en el tejido foliar mediante las técnicas de Microscopía de barrido electrónico y Microanálisis de Rayos X (POZZA *et al.*, 2004). Asimismo investigaciones realizadas por MAZZINGHY *et al.*, (2010), encontraron importante información sobre los genes de resistencia en el genoma del café, que son probablemente los mecanismos de defensa de la planta, estos mecanismos se expande a la comprensión de que este mecanismo es en respuesta a los agentes patógenos.

Este valor es en peso seco de la ceniza de arroz, mas no en la dispersión base de ceniza de arroz; y es el valor inicial soluble de silicio al momento de aplicación. En un kilo de Dispersión Base de Ceniza de Arroz hay 550 g. de SiO₂. De los cuales 25.2 g. (42 000 mg/kg x 60% = 25 200 mg/kg), corresponden a silicio asimilable en la partida de la aplicación. Y la diferencia (524.8 g) es el silicio que comienza a ser solubilizado por la acción de los ácidos orgánicos del microorganismo del suelo, convirtiéndolo en ácido ortosilícico (que es como la planta absorbe el silicio = H₄SiO₄), en mucho menor tiempo, dado el tratamiento de activación efectuado a la ceniza de arroz (SALAMANCA Y ADEGHIAN, 2006).

➤ **Formulación base:** Enmienda en forma de dispersión en agua con un 60% de sólido y aditivos para asegurar su dispersabilidad, densidad 1,2 g/cc; pH 7, de color gris crema. La hemos denominado formulación base ya que a solicitud del cliente se le pueden agregar nutrientes líquidos y/o sólidos para su aplicación edáfica. También es posible formular un producto para aplicación foliar.

➤ **Principales características:** Dispersión silícea recomendada para el tratamiento de suelos deficitarios en silicio activo (H_4SiO_4). El silicio activo tiene una influencia positiva en el desarrollo y crecimiento de las plantas y específicamente modifican las características físicas y químicas del suelo en términos que mejora su estructura. Por otra parte, al formar parte integral de la planta proporciona funciones de protección a niveles mecánicos, fisiológicos, químicos y bioquímicos que se traduce en bajar los niveles de usos de los pesticidas.

➤ **Procedimiento de aplicación:** La dispersión para ser usado en fertiriego y si el cultivo no es con fertiriego, mediante mochila aplicada alrededor de la rizósfera, procurando que las boquillas sean de un rango amplio.

➤ **Compatibilidad:** Compatible con todos los fertilizantes.

2.9.1. Escoria siderúrgica – Silicato de calcio

La escoria blanca también llamada escoria horno cuchara, es una mezcla no metálica formada por silicatos de calcio, óxidos metálicos y ferritas. Se genera en la etapa de afino de la fabricación del acero en Hornos de Arco Eléctrico, etapa que tiene por finalidad bajar el contenido de oxígeno del acero y la mayor parte del azufre. Ello se logra manteniendo la atmosfera reductora de la escoria que cubre el metal fundido con carbón en polvo. Esta escoria está compuesta de la cal, espato fluor, coke o grafito. En esta etapa de afino se logra la composición química específica de cada acero que se desea fabricar, a través de la adición de ferroaleaciones y carburantes. El color blanquecino se debe al alto contenido de cal.

- **Estado físico del material:** Sólido, color blanquecino, pulverulenta que se disgrega al tocarla, pero que con el tiempo se hidrata y se estabiliza.
- **Aplicaciones:** En agricultura como fertilizante y/o corrector de la acidez de suelos (encalado).

Cuadro 1. Composición química de la escoria siderúrgica – silicato de calcio.

Formula química	% Peso
SiO ₂	27.12%
Al ₂ O ₃	3.83%
CaO	45.16%
MgO	8.93%
FeO	0.93%
MnO	0.52%

Fuente: (FEEDCOR E.I.R.L. 2017)

2.9.2. Silicato de potasio

Silicato de potasio liquido de uso foliar y edáfica, cuya composición es de 26 % de SiO₂ y 13 % de K₂O y tiene un SiA promedio de 140.000 ppm.

Puesto que este producto es más conocido por su aplicación foliar, se investigó la aplicación edáfica y el resultado consiste en el empleo de la técnica Drench diluyendo el silicato en un volumen de agua o solución de un nutriente 10 a 20 veces más e incluso en un mayor volumen de agua esparciéndolo en el suelo y partes de la planta.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en el caserío de Nuevo Milenio, distrito de Daniel Alomía Robles – Pumahuasi, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. A 38 Km de la ciudad de Tingo María, según la clasificación de HOLDRIDGE (1967), corresponde a un clima de Bosque Muy Húmedo Tropical (bmt-t), con una temperatura media de 18 °C. Cuyas coordenadas UTM son 18L. 404859 m Este, 8992918 m Norte y Altitud 1312 m.s.n.m.

3.2. Datos de la estación meteorológica José Abelardo Quiñones

Cuadro 2. Parámetros meteorológicos durante el experimento.

Meses	temperatura (°C)			H.R (%)	P.P. (mm)	Horas Sol
	Max	Min	Med			
Oct-16	31.20	20.30	25.70	82.00	165.10	170.00
Nov-16	32.10	21.20	26.60	81.00	340.30	185.40
Dic-16	30.20	20.80	25.50	84.00	421.60	127.80
Ene-17	28.90	20.50	24.70	87.00	391.00	100.50
Feb-17	29.70	21.00	25.30	86.00	475.80	94.70
Mar-17	29.70	20.80	25.20	86.00	432.70	104.40
Abr-17	30.90	21.20	26.00	85.00	204.20	152.50
May-17	31.00	21.20	26.10	84.00	326.10	181.90
Jun-17	30.60	20.80	25.70	82.00	158.60	174.20
Jul-17	30.30	19.60	24.90	85.00	126.90	186.90
Ago-17	31.50	19.80	25.60	83.00	142.40	204.70
Promedio	30.55	20.65	25.57	84.09	289.52	153.00

Fuente: Estación meteorológica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva

3.3. Componentes en estudio

3.3.1. Dispersión a base de ceniza de cascarilla de Arroz

Se trata de una dispersión de silicio activo al 60% de sólido procedente de la ceniza de arroz cuyo contenido de sílice amorfa es activada mediante un tratamiento químico y micronización al rango entre 1 – 5 micra (μ). Esta es una dispersión que la hemos denominado Formulación Base.

Cuadro 3. Composición química de dispersión a base de ceniza.

Formula química	P/P %
SiO ₂	55.60
SO ₄	1.43
K ₂ O	0.90
Na ₂ O	0.64
CaO	0.33
MgO	0.32
SO ₄	0.89
H ₂ O	39.89
Total	100

Fuente: (FEEDCOR E.I.R.L. 2017)

- Silicio asimilable (SiA): H₄SiO₄
- Concentración (ppm): 42.000

3.3.2. Fuentes a base de silicio

- Dispersión a base de Ceniza de Cascarilla de Arroz
- Escoria siderúrgica – Silicato de Calcio
- Silicato de Potasio

3.3.3. Niveles de aplicación

- a. 100 ppm
- b. 200 ppm
- c. 400 ppm

3.3.4. Testigos adicionales

- a. NPK
- b. Testigo (control) sin silicio, sin NPK

3.3.5. Tratamientos en estudio

Se programó estudiar tres fuentes de silicio con tres dosis cada uno (100, 200, 400 ppm de silicio) más dos testigos adicionales [NPK (100-25-120) y control], para observar el efecto en el rendimiento y la incidencia de ojo de gallo en café. Los tratamientos se presentan en el Cuadro 04.

3.4. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con 11 tratamientos (incluyendo 2 testigos), y cuatro repeticiones por tratamiento. Las características a evaluar en el experimento fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA) y a la prueba de significación estadística de Duncan al nivel de $\alpha = 0.05$. Los componentes de este análisis estadístico se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 4. Esquema del análisis de variancia.

Fuente de variación	Formula	Grados de libertad
Bloques	$(r-1)$	3
Tratamientos	$(t- 1)$	10
Error experimental	$((t-1) * (r-1))$	30
Total	$(t * r) -1$	43

3.4.1. Modelo estadístico

CASANOVES (2010) menciona que para utilizar el modelo aditivo lineal en el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) se aplica la siguiente formula:

$$Y_{ij} = u + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la respuesta obtenida en el j-ésimo bloque sujeta a la aplicación del i-ésimo fuentes y niveles de silicio.

u = Es el efecto de la media general.

T_i = Es el efecto del i-ésimo fuentes y niveles de silicio

β_j = Es el efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = Es el efecto aleatorio del error experimental correspondiente al j-ésimo bloque al cual se aplicó la asociada a dicha observación i-ésimo fuentes y niveles de silicio

Para:

$i = 1, 2, 3, \dots, 11$ fuentes y niveles de silicio.

$j = 1, 2, 3, 4$ bloques.

3.5. Descripción del campo experimental

3.5.1. Dimensiones del campo experimental

a. Largo	88.0	m
b. Ancho	24.0	m
c. Área total del experimento	2112.0	m ²

3.5.2. Dimensiones de los bloques

a. Numero de bloques	4.00	
b. Largo del bloque	88.0	m
c. Ancho del bloque	6.00	m
d. Área década bloque	528.0	m ²

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos en estudio.

Clave	Descripción	SiA (ppm)	Fuentes de silicio (Kg/ha)	Fuentes de silicio (g/planta)
T ₁	Dispersión a base de Ceniza de Cascarilla de Arroz + NPK	100	253	76
T ₂	Dispersión a base de Ceniza de Cascarilla de Arroz + NPK	200	510	153
T ₃	Dispersión a base de Ceniza de Cascarilla de Arroz + NPK	400	1017	305
T ₄	Escoria Siderúrgica - Silicato de Calcio + NPK	100	397	119
T ₅	Escoria Siderúrgica - Silicato de Calcio + NPK	200	790	237
T ₆	Escoria Siderúrgica - Silicato de Calcio + NPK	400	1583	475
T ₇	Silicato de Potasio + NPK	100	77	23
T ₈	Silicato de Potasio + NPK	200	153	46
T ₉	Silicato de Potasio + NPK	400	307	92
T ₁₀	Testigo (NPK 120-60-180 kg/ha) sin silicio	0	433	130
T ₁₁	Testigo sin Silicio y sin NPK	0	0	0

NPK (433 gramos por planta a todos los tratamientos excepto al T₁₁)

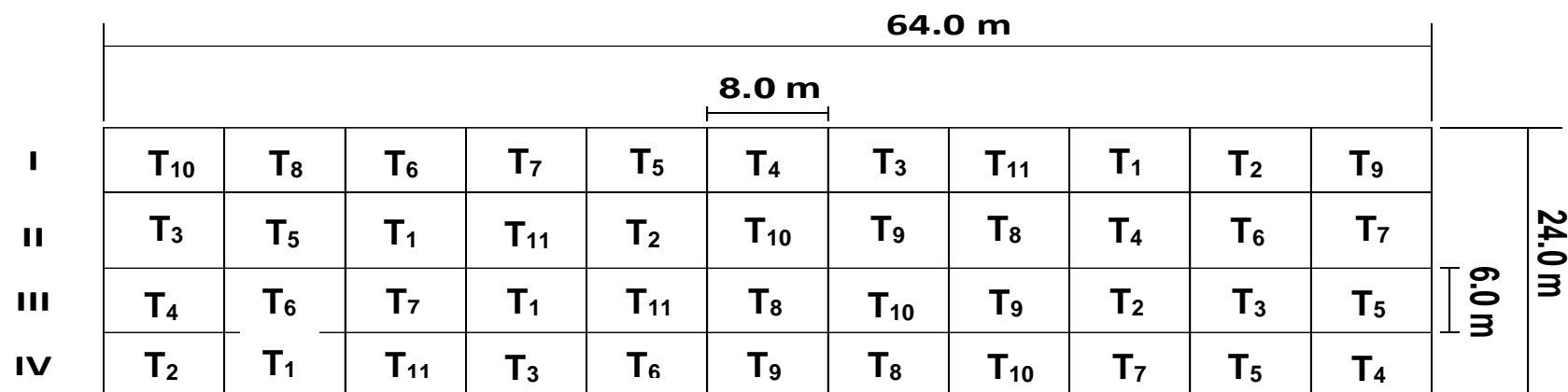


Figura 1. Croquis del campo experimental.

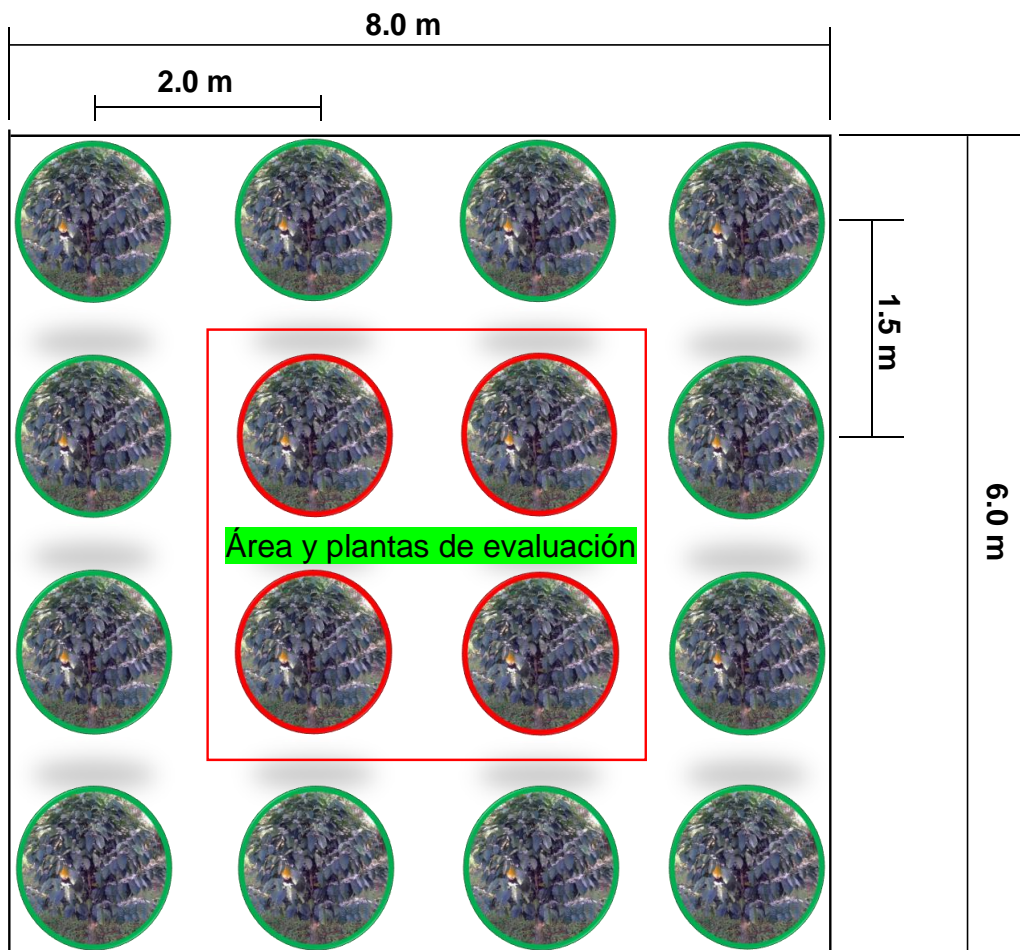


Figura 2. Croquis de una unidad experimental.

3.5.3. Dimensiones de las parcelas

a. Número total de parcelas	44.0
b. Numero de parcelas por bloque	11.0
c. Largo de parcela	8.0 m
d. Ancho de la parcela	6.0 m
e. Área de la parcela	48.0 m ²
f. Área neta a evaluar	12.0 m ²

3.6. Ejecución del experimento

3.6.1. Demarcación y la distribución de los tratamientos

El experimento se realizó en una plantación de café con la variedad “Catimor” de cuatro años de edad. Se seleccionó el área experimental, tratando de que esta sea representativa con plantas homogéneas libres de plagas y enfermedades; luego se demarco los cuatro bloques cada bloque con 176 plantas, posteriormente cada bloque se dividió en 11 unidades experimentales con 16 plantas de café cada unidad. Esta demarcación se realizó con rafia y estacas de madera.

La distribución de los tratamientos se realizó al azar en los cuatro bloques, estos claves se realizaron en tableros de madera y luego se colocó en cada unidad experimental, los tratamientos y bloques.

3.6.2. Muestreo de suelo

La toma de muestreo del suelo se realizó al inicio y final del trabajo de investigación en forma sistemático de cada unidad experimental en los cuatro bloques de la siguiente manera: cada unidad experimenta consta de 16 plantas de los cuales se escogió los 4 plantas del centro para realizar el muestreo sistemático en los 4 puntos cardinales de cada planta elegida, para lo cual se usó el tubo muestreador para extraer la tierra a una profundidad de 30 cm; posteriormente se mesclo de manera uniforme la tierra extraída de 4 plantas por cada unidad experimental y se secó bajo sombra y luego las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.6.3. Muestreo foliar

El muestreo foliar para análisis de silicio se realizó al inicio y final del trabajo de investigación, para lo cual se eligió cuatro plantas de café por cada unidad experimental, de las cuales las muestras fueron tomadas de la tercera parte de la planta y fueron ramas productivas, de estas ramas se tomaron 5 hojas de la tercera parte de las ramas, posteriormente estas muestras fueron enviados al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina para su análisis.

3.6.4. Aplicación de fuentes y niveles de silicio

La aplicación de las fuentes de silicio se realizó antes de la floración, para lo cual los cálculos se realizaron de acuerdo a los niveles propuestos y tomando en cuenta la concentración de silicio (riqueza) de cada fuente de silicio (Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, Escoria siderúrgica-silicato de calcio y silicato de potasio) los niveles son: 100, 200 y 400 ppm. Los cálculos para la aplicación se muestran en el Cuadro 26 del Anexo en kilogramos por planta y por tratamiento se realizaron en base a los siguientes datos:

- a. Textura del suelo.
- b. Densidad aparente del suelo
- c. Profundidad efectiva
- d. Volumen del suelo.
- e. Peso del suelo.
- f. Área efectiva de la aplicación.
- g. Volumen efectivo
- h. Peso del área efectiva
- i. Pureza de cada fuente

3.6.5. Control de malezas

Para el control de malezas se utilizó el método físico, lo cual consiste en el secamiento manual de las hierbas utilizando la herramienta machete para reducir la infestación a un determinado nivel, esta labor se realizó en tres oportunidades cada tres meses.

3.6.6. Cosecha

Se realizó la cosecha selectiva de los cerezos maduros evitando que vayan hojas, ramas y frutos verdes ya esto afectaría la calidad en tasa y el rendimiento físico del café. Esta labor se realizó desde el inicio de maduración hasta finalizar realizando un total de 5 cosechas, las cosechas se realizaron por cada unidad experimental (es decir por separado de las 44 unidades desde cosecha, despulpado, fermentado, lavado, secado y almacenado).

3.7. Características evaluadas

3.7.1. Rendimiento de café pergamino seco

Para este parámetro en cada unidad experimental fueron marcadas 4 plantas que están ubicadas al centro de cada unidad experimental, a estas plantas se realizó la cosecha de cerezos maduros desde el inicio de la cosecha, posteriormente el despulpado, fermentado, lavado, secado y almacenado. Esta labor se realizó por separado en cada una de las unidades experimentales hasta finalizar la cosecha. Una vez secado el grano se pesó y fue almacenado, los datos se anotaron en una ficha y por último estos datos se sumaron al finalizar la cosecha y así se obtuvo el rendimiento de café pergamino seco.

3.7.2. Calidad física de granos secos de café

SCAA (2013) menciona que la calidad física del café pergamino se trabajó bajo las normas del SCAA, Se tomaron muestras de café pergamino seco por cada tratamiento y se realizó el pesado de 300g, trillado, escogido según los defectos y por último se realizó el cálculo respectivo en porcentaje.

3.7.3. Calidad organoléptica (taza)

Se tomó una muestra de café oro por cada tratamiento y se envió para su análisis de calidad en taza a la Cooperativa Agraria la Divisoria esta labor lo realizo un especialista (Catador) acreditado de la Cooperativa.

3.7.4. Incidencia de “ojo de gallo” (*Stillbum flavidum* C.)

OSCAR (2013), para evaluar la incidencia de Ojo de Gallo se marcó una planta al azar en cada unidad experimental, a esta planta se tomó al azar tres ramas productivas a la cual se marcó una cinta de diferentes colores a cada rama y a estas ramas se evaluaron en número total de hojas de cada rama, hojas sanas y enfermas y estos datos se anotaron en una ficha y lo mismo se realizó para la incidencia en frutos en la misma planta y ramas, posteriormente la incidencia de Ojo de Gallo se calculó mediante la fórmula:

Incidencia para hojas

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Hojas enfermas}}{\text{Total de hojas (sanas + enfermas)}} \times 100$$

Incidencia para frutos

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Frutos enfermas}}{\text{Total de Frutos (sanas + enfermas)}} \times 100$$

3.7.5. Efecto del silicio en la neutralización del aluminio y la disponibilidad del fósforo en el suelo

El efecto del silicio en la concentración de aluminio y fósforo se realizó según el ANOVA (Diseño experimental) y pruebas de comparación de Duncan. También se realizaron análisis de correlación. Sin embargo, también se realizó el análisis de suelo al inicio y final, a partir de este análisis se procedió a calcular la saturación del aluminio y se hizo la comparación entre el inicio y final para ver en cuál de los tratamientos se redujo la saturación del aluminio.

3.7.6. Análisis de rentabilidad

La relación Beneficio/Costo (B/C) en cada tratamiento se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Relación B/C} = \frac{\text{Ingreso bruto}}{\text{Costos de producción}}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de café pergamino, calidad física y organoléptica del cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

4.1.1. Rendimiento de café pergamino kg/ha

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para la variable rendimiento de café pergamino seco, no se encontró diferencia estadística entre los bloques, pero si existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos (Cuadro 6). El coeficiente de variabilidad es de 24.35 %, indica una regular homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 6. Análisis de variancia para rendimiento (kg/ha) de café pergamino.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	0.18	0.059	NS
Tratamientos	10	1.95	0.195	AS
Error experimental	30	1.92	0.064	
Total	43	4.05		

CV = 24.35 %

NS: No existe significancia

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 7, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) nos muestra que el mayor rendimiento (kg/ha) de café pergamino seco, corresponde al tratamiento T₅ (escoria siderúrgica - silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK), pero no se diferenció estadísticamente del tratamiento T₈, T₇, T₃, T₆, T₄, T₂ y T₉, pero sí de los tratamientos T₁, T₁₀ y T₁₁ quienes obtuvieron rendimientos menores.

Cuadro 7. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para el rendimiento kg/ha de café pergamino.

Clave	Tratamientos	Café pergamino seco (kg/ha)	Significancia	Incremento de producción en base al testigo (%)
T ₅	ES - SiCa 200 ppm + NPK	4472	a	45.4
T ₈	Silicato de Potasio 200 ppm + NPK	3940	a b	38.1
T ₇	Silicato de Potasio 100 ppm + NPK	3923	a b	37.8
T ₃	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 400 ppm + NPK	3839	a b	36.4
T ₆	ES - SiCa 400 ppm + NPK	3818	a b	36.1
T ₄	ES - SiCa 100 ppm + NPK	3810	a b	36.0
T ₂	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 200 ppm + NPK	3710	a b c	34.2
T ₉	Silicato de Potasio 400 ppm + NPK	3331	a b c d	26.7
T ₁	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 100 ppm + NPK	2661	b c d	8.3
T ₁₀	Testigo 1(N,P,K)	2440	c d	13.3
T ₁₁	Testigo 2 (sin silicio y sin NPK)	2115	d	--

Tratamientos unida por la misma letra en una columna, no existe significación estadística

Leyenda:

Disp. : Dispersion
 Cz : Ceniza
 Cas : Cascarilla
 ES-SiCa : Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio
 NPK : Nitrógeno, Fosforo y Potasio

El tratamiento (escoria siderúrgica - silicato de calcio 200 ppm) logro una mayor producción siendo este en un 45% más respecto al testigo que tubo fertilización, pero no recibió fuente alguna de silicio. Esta diferencia se le puede atribuir al silicio que optimiza la eficiencia de los fertilizantes, al respecto QUERO (2006), menciona que Silicio como mejorador del suelo puede reducir la lixiviación de los nutrientes en los suelos arenosos, especialmente N y K, guardándolos en una forma disponible para la planta. Según MEENA *et al.* (2014) el silicio hace que los nutrientes estén más disponibles para las plantas. escoria siderúrgica-silicato de calcio, además de ser una fuente de silicio también actúa en el suelo como una enmienda silícica o cálcica, mejora la capacidad de intercambio catiónico del suelo y demás incrementa la absorción de fósforo en las plantas (MATICHENKOV y BOCHARNIKOVA, 2001), aumenta la absorción de micro y macronutrientes, es decir, Ca, Mg, P, K, Zn, Fe y Mn (RIZWAN *et al.*, 2012; KELLER *et al.*, 2015; TRIPATHI *et al.*, 2015).

NAVARRO y NAVARRO (2000), menciona en suelos ácidos pobres en sílice resulta muy apropiado adicionar escorias básicas las cuales aportan cantidades variables de Ca, Mg, Mn y Si. En el presente trabajo se tuvo mayores rendimientos a la aplicación “escoria siderúrgica - silicato de calcio”, y podría atribuirse al silicio, sin embargo, las fuentes aplicadas también contienen calcio y magnesio en concentraciones relativamente alta, a diferencia de los demás.

En el Cuadro 7 y Figura 3 muestra el rendimiento promedio (kg/ha) de cada tratamiento, donde el T₅ (Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha) alcanzo 4472 kg/ha (74 qq/ha) obteniendo un mayor rendimiento en comparación a todos los tratamientos. El tratamiento con el rendimiento más bajo es el testigo T₁₁ con 2115 kg/ha (35 qq/ha). Asumimos 60 kilogramos para un quintal de café pergamino seco. La Figura 3 muestra que la producción alcanza su nivel máximo a una dosis de aplicación (200 ppm de escoria siderúrgica – silicato de calcio) y (100 ppm de silicato de potasio) a partir de esta según se incrementan las concentraciones de silicio la producción disminuye. Según se aumenta la concentración de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, se observa una tendencia al incremento de la producción.

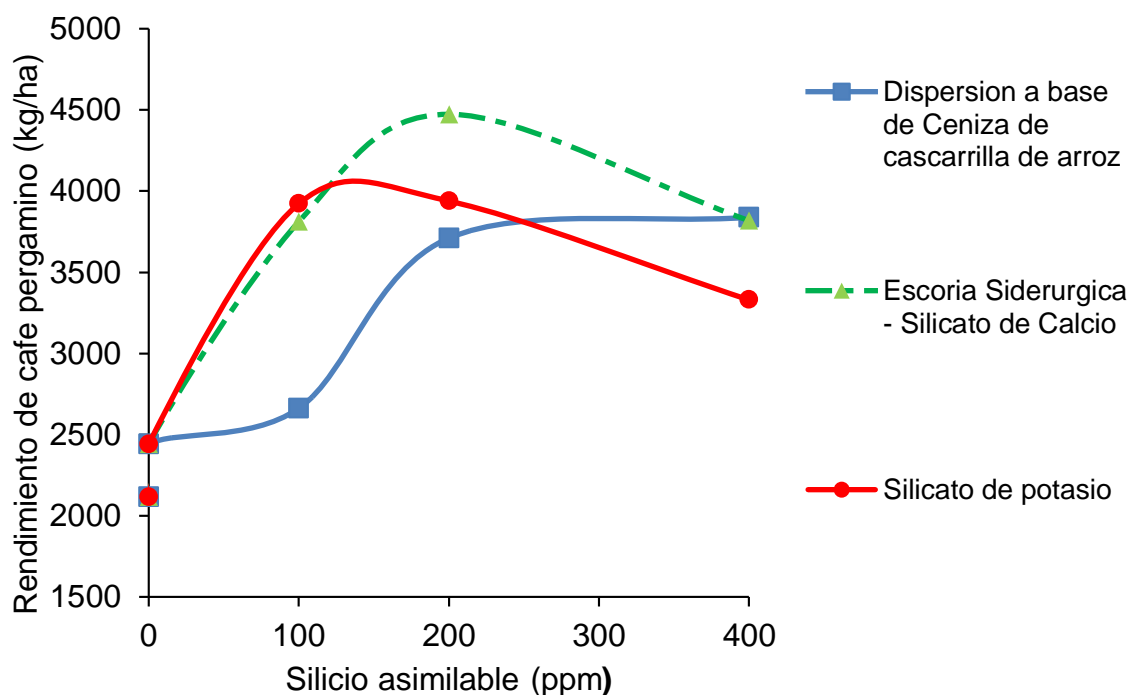


Figura 3. Rendimiento (kg/ha) de café pergamino de la variedad Catimor.

4.1.2. Calidad física de los granos de café pergamino

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para la variable calidad física de los granos secos de café, no se encontró diferencia estadística entre los bloques, pero si existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos (Cuadro 8). El coeficiente de variabilidad es de 9.59 % indica muy buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 8. Análisis de variancia para calidad física de los granos de café pergamino.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	1.27	0.424	NS
Tratamientos	10	267.64	26.764	AS
Error experimental	30	20.73	0.691	
Total	43	289.64		

CV = 9.59 %

NS: No existe significancia

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 9, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) nos muestra que la mayor calidad física de los granos de café, corresponde al tratamiento T₅ (Escoria siderúrgica - silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK), además existe una diferencia estadística de los tratamientos T₈, T₇, T₉, T₆, T₂, T₁, T₄, T₃, T₁₀ y T₁₁ quienes obtuvieron menor calidad física de los granos de café. El tratamiento T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha), obtuvo la mayor calidad física (80 %) del grano seco de café, esto posiblemente debido a la gran cantidad de nutrientes disponibles en el suelo efecto por la aplicación de la escoria siderúrgica – silicato de calcio.

STOLLER (2007) menciona cuanto más nutriente tenga la planta de café, mayor será el desarrollo de los frutillos (llenado de granos) y podemos decir que es por ello tuvo un desarrollo uniforme de los granos de café y se muestran al momento de realizar el análisis respectivo en el tamiz número 14 quedando un 80% de café oro.

Cuadro 9. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para calidad física de los granos de café seco.

Clave	Tratamientos	Calidad física (%)	Significancia
T ₅	ES - SiCa 200 ppm + NPK	80	a
T ₈	Silicato de Potasio 200 ppm + NPK	78	b
T ₇	Silicato de Potasio 100 ppm + NPK	77	b c
T ₉	Silicato de Potasio 400 ppm + NPK	76	c d
T ₆	ES - SiCa 400 ppm + NPK	75	d e
T ₂	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 200 ppm + NPK	75	d e
T ₁	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 100 ppm + NPK	74	e
T ₄	ES - SiCa + NPK	74	e
T ₃	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 400 ppm + NPK	74	e
T ₁₀	Testigo 1 (N,P,K)	72	f
T ₁₁	Testigo 2 sin silicio y sin NPK	71	f

Tratamientos unidas por las misma letra en una columna, no existe significación estadística

Leyenda:

Disp. : Dispersion
 Cz : Ceniza
 Cas : Cascarilla
 ES-SiCa : Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio
 NPK : Nitrógeno, Fosforo y Potasio

El Cuadro 9 y Figura 4, muestra el porcentaje de calidad física de los granos de café, donde el T₅ (escoria – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha) alcanzo 80%, siendo el mayor rendimiento en comparación a todos los tratamientos. El tratamiento con el rendimiento más bajo es el testigo T₁₁ con 71%. La Figura 4, muestra la calidad física de los granos se incrementa hasta una dosis de aplicación (200 ppm) de escoria siderúrgica – silicato de calcio, silicato de potasio y dispersion a base de ceniza de cascarilla de arroz, a partir de esta, según se incrementan las concentraciones de silicio la calidad física de los granos disminuye.

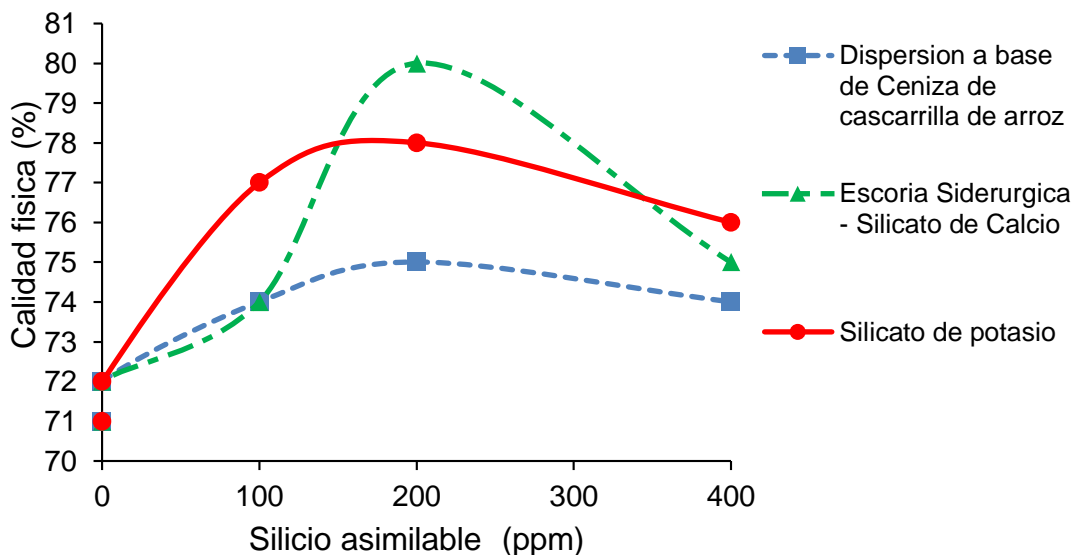


Figura 4. Calidad física (%) de los granos de café.

4.1.3. Calidad organoléptica del café

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para la variable calidad organoléptica (taza) de café, no se encontró diferencia estadística entre los bloques, pero si existe diferencia estadística entre los tratamientos (Cuadro 10). El coeficiente de variabilidad es de 10.70% indica muy buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 10. Análisis de variancia para calidad organoléptica de café.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	0.36	0.121	NS
Tratamientos	10	90.91	9.091	AS
Error experimental	30	27.64	0.921	
Total	43	118.91		

CV = 10.70 %

NS: No existe significancia

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 11, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) nos muestra mayor calidad organoléptica (taza) de café, corresponde al tratamiento T₅ (Escoria Siderúrgica - Silicato de Calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK), pero no se diferenció estadísticamente del tratamiento T₇ y T₈, pero sí de los tratamientos T₉, T₆, T₂, T₃, T₄, T₁, T₁₀ y T₁₁ quienes obtuvieron calidad organoléptica menor.

La escoria-silicato de calcio a dosis 200 ppm logro mejor calidad organoléptica con 83 puntos en taza respecto al demás tratamiento. Según FARJADO y SANZ, (2003) la calidad en taza de café es el resultado de los atributos sensoriales que dependen de muchos factores. FISCHERSWORRING y ROBKAMP (2001) indican que la calidad del café, también se refiere a las características intrínsecas del grano es decir las características físicas y organolépticas, según GEEL *et al.* (2005) la calidad organoléptica se define por las características aceptables principalmente de: fragancia, aroma, sabor cuerpo, acidez, pos gusto y balance. La acción de percibir cada uno de los atributos y defectos del café es la catación.

Cuadro 11. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para calidad organoléptica de café.

Claves	Tratamientos	Puntos taza	Significancia
T ₅	ES - SiCa 200 ppm + NPK	83	a
T ₇	Silicato de Potasio 100 ppm + NPK	82	a b
T ₈	Silicato de Potasio 200 ppm + NPK	82	a b
T ₉	Silicato de Potasio 400 ppm + NPK	81	b c
T ₆	ES - SiCa 400 ppm + NPK	81	b c
T ₂	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 200 ppm + NPK	80	c d
T ₃	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 400 ppm + NPK	80	c d
T ₄	ES - SiCa 100 ppm + NPK	80	c d
T ₁	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 100 ppm + NPK	79	d e
T ₁₀	Testigo 1 (N,P,K)	79	d e
T ₁₁	Testigo 2 sin silicio y sin NPK	78	e

Tratamientos unidas por las misma letra en una columna, no existe significación estadística

Leyenda:

Disp. : Dispersion
 Cz : Ceniza
 Cas : Cascarilla
 ES-SiCa : Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio
 NPK : Nitrógeno, Fosforo y Potasio

Según DIAZ (2007) menciona que la catación es un método convencional que es usada en el mercado para evaluar la calidad del café y se califica en una escala de 0 a 10 puntos (6 a 9 en la práctica), siendo 9.5 extraordinario, 8.5 excelente, 7.5 muy bueno y 6.5 bueno. Los cafés con más de 84 puntos se les considera cafés especiales, y más de 94 puntos son

excepcionales. Por otro lado, en el presente trabajo se alcanzó un puntaje de 83 obteniendo un calificativo de muy bueno, según FAIRTRADE (2010), menciona que para acceder al mercado sostenible como café especial se necesita un puntaje de 80 a 90 puntos, por tanto, los resultados obtenidos cumplen con este criterio. Además, todos los tratamientos se caracterizan por presentar sabores a caramelos frutas, miel, malta, caña, etc. Según PROMECAFE, (2010) estos sabores son buenos para la mayoría de mercados internacionales.

CATAST (2012) menciona que la acidez es una cualidad positiva en el café, es la expresión de su viveza, sin ella un café aparece plano y con poca personalidad. En el presente trabajo este atributo tuvo una puntuación de 7.5 (para la totalidad de los tratamientos) con una descripción a cítrico mandarina, mostrando una buena acidez. También menciona que la acidez varía en función a la altitud en la que han crecido los cafés (a mayor altitud, hay niveles más altos de acidez) y también influye el proceso de secado (los que utilizan el método húmedo son más altos en acidez), y el tostado (el grano llevado a un color más oscuro, más tostado, pierde acidez), lo que nos llevaría a mencionar que son muchos factores que influyen en este atributo, pero se aprecia la diferencia con respecto a los testigos aunque sea mínimo los efectos por la aplicación de enmiendas silícicas.

CAPAJAÑA (2011) evaluó la mezcla de variedades de café Caturra y Typica en tres pisos altitudinales, y observó que las altitudes mayores a 1200 m.s.n.m presentan mejores condiciones de clima para la producción de café de excelente calidad, corroborando así la teoría de que la altitud es un parámetro que ayuda a la calidad de taza del café.

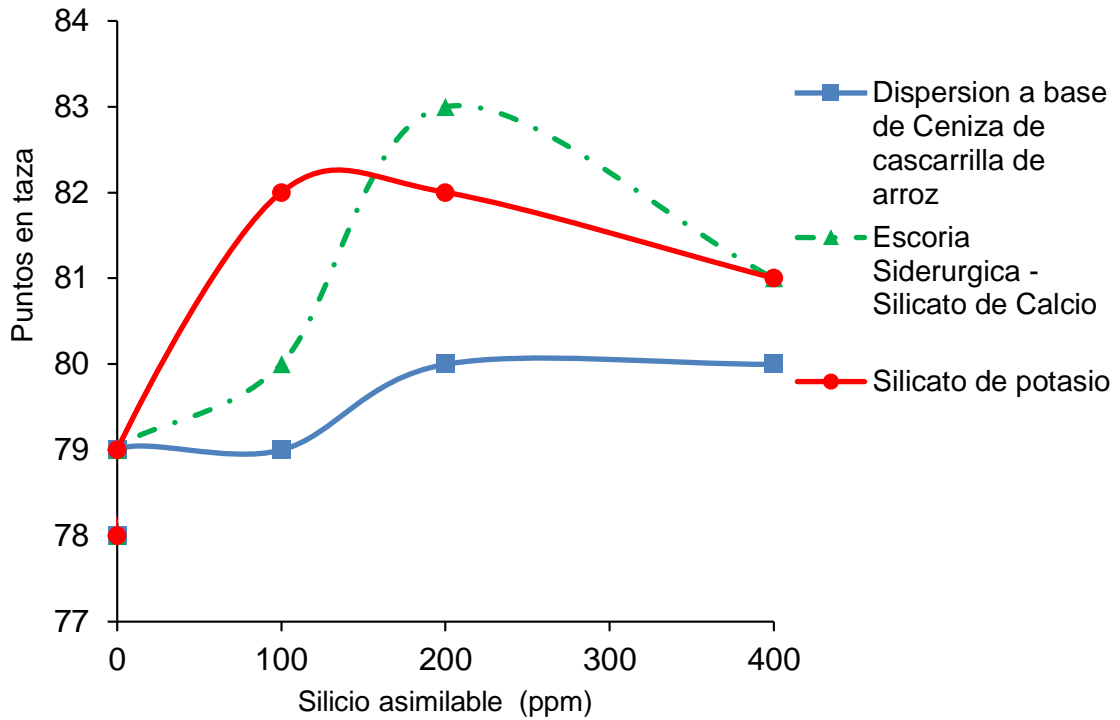


Figura 5. Calidad organoléptica del café.

En el Cuadro 11 y Figura 5, se muestra el porcentaje de calidad organoléptica (taza) de café, donde el T₅ (escoria – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha) alcanza 83 puntos obteniendo una mayor calidad en taza en comparación a todos los tratamientos. El tratamiento con el rendimiento más bajo es el testigo T₁₁ con 78 puntos (Figura 5), la calidad organoléptica (taza) de café, se incrementa hasta una dosis de aplicación (200 ppm de Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio) y (100 ppm de Silicato de Potasio) a partir de esta, según se incrementan las concentraciones de silicio, la calidad organoléptica (taza) de café disminuye. Para dispersión a base de ceniza de cascarrilla de arroz se incrementa hasta 200 ppm, a partir de esta, la calidad organoléptica (taza) de café se mantiene (CATAST, 2012).

4.2. La incidencia de “Ojo de Gallo” (*Stillbum flavidum* C.) en la variedad de café “Catimor”

4.2.1. Porcentaje de incidencia en hojas de café

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para la variable incidencia de ojo de gallo en hojas de café, y se encontró diferencia estadística altamente significativa entre los bloques y tratamientos (Cuadro 12). El coeficiente de variabilidad es de 8.03% indica muy buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 12. Análisis de variancia para incidencia de “ojo de gallo” en hojas de de café variedad Catimor.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	10.34	3.45	AS
Tratamientos	10	2748.91	274.89	AS
Error experimental	30	9.55	0.32	
Total	43	2768.80		

CV = 8.03 %

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 13, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) nos muestra que la menor incidencia de “ojo de gallo” en hojas de café, corresponde al tratamiento T₅ (escoria siderúrgica - silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK), pero no se diferenció estadísticamente del tratamiento T₈, pero sí de los tratamientos T₇, T₃, T₆, T₄, T₂, T₉, T₁, T₁₀ y T₁₁ quienes obtuvieron mayor incidencia de “ojo de gallo” en hojas de café.

Cuadro 13. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para incidencia de “ojo de gallo” en hojas de café variedad Catimor.

Claves	Tratamientos	Incidencia de ojo de gallo (%)	Significancia
T ₁₁	Testigo 2 sin silicio y sin NPK	24.25	a
T ₁₀	Testigo 1 (N,P,K)	20.75	b
T ₁	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 100 ppm + NPK	11.73	c
T ₉	Silicato de Potasio 400 ppm + NPK	6.00	d
T ₂	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 200 ppm + NPK	3.93	e
T ₄	ES – SiCa 100 ppm + NPK	2.98	f
T ₆	ES – SiCa 400 ppm + NPK	2.55	f g
T ₃	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 400 ppm + NPK	1.75	g h
T ₇	Silicato de Potasio 100 ppm + NPK	1.48	h
T ₈	Silicato de Potasio 200 ppm + NPK	1.28	h i
T ₅	ES – SiCa 200 ppm + NPK	0.60	i

Tratamientos unidas por las misma letra en una columna, no existe significación estadística

Leyenda:

Disp. : Dispersion
 Cz : Ceniza
 Cas : Cascarilla
 ES-SiCa : Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio
 NPK : Nitrógeno, Fosforo y Potasio

El tratamiento T₅ (escoria – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a (790 kg/ha), obtuvo el menor porcentaje de incidencia de “ojo de gallo” en hojas de café (0.60 %) es posible a la cantidad de silicio presentes en la planta ya que esto conlleva a que la estructura de la planta esté más protegida dificultando la penetración de las hifas del hongo a la pared celular de la hoja.

AGUIRRE y RAYA (2005) menciona que el silicio se acumula en la epidermis y se asocia con la pectina e iones de calcio, endureciendo el tejido y protegiendo así el ingreso de patógenos a la planta, también QUERO (2007), menciona los tricomas glandulares a través de la liberación de compuestos fitoquímicos permiten la resistencia y tolerancia de las plantas al ataque de agentes bióticos y que esto permite el control biológico de plagas y enfermedades, ya que la acción de las sustancias liberadas, actúan como repelentes, insecticidas y fungicidas, entonces podemos decir que si tuvo efecto el silicio en la reducción de la incidencia de ojo de gallo en las hojas de café, dando como resultado un menor incidencia frente al testigo absoluto la que no recibió silicio tuvo incidencia mayor. QUERO (2007), menciona que la densidad de tricomas en la planta está directamente ligada a las condiciones del medio ambiente y la disponibilidad de nutrientes, especialmente de silicio, calcio, potasio y magnesio. Las fuentes de silicio aplicado aparte de ser fuente de silicio también contienen calcio y magnesio y se podríamos asumir que estos habrían contribuido a una mayor densidad de tricomas y como consecuencia tenemos menor incidencia de ojo de gallo en las hojas de café.

POZZA *et al.* (2004) menciona que la aplicación de Silicato de calcio en plantas de almácigo, redujo la incidencia de mancha de hierro y se confirmó la presencia del Silicio en el tejido foliar mediante las técnicas de Microscopía de barrido electrónico y Microanálisis de Rayos X. Estos reportes también confirman los resultados obtenidos en el presente trabajo desarrollado, donde también hay una reducción en la incidencia de ojo de gallo y se mostró mayor reducción con la aplicación de enmiendas de silicato de calcio frente a las demás enmiendas silícicas.

Según VIEIRA da CUNHA (2008) el silicio incrementa la resistencia al ataque de insectos, y ha sido atribuido en parte a su acumulación y polimerización en las paredes celulares, lo cual constituye una barrera mecánica contra el ataque, y también han demostrado que el tratamiento de las plantas con Si trae como consecuencia cambios bioquímicos, como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas esto hace que sea intolerante a las plagas en su alimentación, infección de un cultivo en especial.

En Cuadro 13 y Figura 6, muestra el porcentaje de incidencia de ojo de gallo en hojas de café, donde el T₅ (Escoria Siderúrgica 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha) tuvo el menor porcentaje de incidencia 0.60% en comparación a los demás tratamientos. Los tratamientos que tuvieron mayor porcentaje de incidencia fueron los testigos (T₁₀ = 20.75% y T₁₁ = 24.25%).

La Figura 6, muestra que la incidencia de ojo de gallo en hojas de café se reduce hasta una dosis de aplicación (200 ppm de Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio) y (200 ppm de Silicato de Potasio) a partir de esta, según se incrementan las concentraciones de silicio, la incidencia en hojas de café se incrementa. Según se aumenta la concentración de Dispersion a base de ceniza de cascarilla de arroz, se observa una tendencia a la reducción de la incidencia en hojas de café.

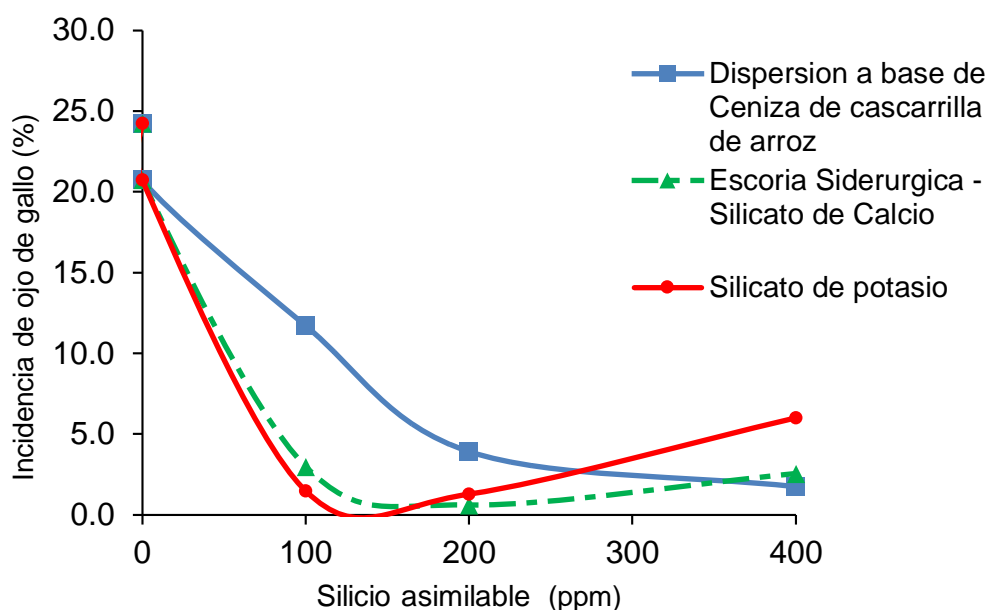


Figura 6. Incidencia de "ojo de gallo" en hojas de café variedad Catimor.

4.2.2. Porcentaje de incidencia de "ojo de gallo" en frutos de café

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para la variable incidencia de ojo de gallo en frutos de café, donde se encontró diferencia estadística altamente significativa entre los bloques y los tratamientos (Cuadro 14). El coeficiente de variabilidad es de 14.01% indica muy buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 14. Análisis de variancia para incidencia de "ojo de gallo" en frutos de café variedad Catimor.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	7.41	2.47	AS
Tratamientos	10	335.58	33.56	AS
Error experimental	30	8.44	0.28	
Total	43	351.43		

CV = 14.01 %

AS: Altamente significativo

En el Cuadro 15, la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) nos muestra que la menor incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café, corresponde al tratamiento T₅ (escoria siderúrgica - silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK), además existe diferencia estadística de los tratamiento T₈, T₇, T₃, T₆, T₄, T₂, T₉, T₁, T₁₀ y T₁₁ quienes obtuvieron mayor incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café.

Cuadro 15. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) para incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café variedad Catimor.

Claves	Tratamientos	Incidencia de ojo de gallo (%)	Significancia
T ₁₁	Testigo 2 sin silicio y sin NPK	10.08	a
T ₁₀	Testigo 1 (N,P,K)	7.05	B
T ₁	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 100 ppm + NPK	5.80	c
T ₉	Silicato de Potasio 400 ppm + NPK	4.58	d
T ₂	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 200 ppm + NPK	3.80	e
T ₄	ES - SiCa 100 ppm + NPK	2.85	f
T ₆	ES - SiCa 400 ppm + NPK	2.48	f g
T ₃	Disp. a base de Cz. Cas. de arroz 400 ppm + NPK	1.75	g h
T ₇	Silicato de Potasio 100 ppm + NPK	1.45	h
T ₈	Silicato de Potasio 200 ppm + NPK	1.30	h
T ₅	ES - SiCa 200 ppm + NPK	0.53	i

Tratamientos unidas por las misma letra en una columna, no existe significación estadística

Leyenda:

Disp. : Dispersion
 Cz : Ceniza
 Cas : Cascarilla
 ES-SiCa : Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio
 NPK : Nitrógeno, Fosforo y Potasio

El tratamiento T₅, (Escoria siderúrgica 200 ppm equivalentes a (790 kg/ha), tuvo el menor porcentaje de incidencia de ojo de gallo en frutos de café (0.53 %) esto se debería al silicio presente en la planta ya que esto conlleva a que las estructuras de la planta y sus órganos estén más protegido dificultando la penetración de las hifas del hongo. OREJUELA (2010) el silicio deposita en la pared celular de la epidermis formándose una capa doble de protección y aumentando la actividad de algunas enzimas, así como mayor acumulación de lignina en los tejidos del café dificultando la penetración de las hifas del hongo, tal como lo menciona VIANA (2008).

El Cuadro 15, muestra el porcentaje del tratamiento que tuvo mayor porcentaje de incidencia fue el testigo (T₁₁ = 10.08%), este no se encontró protegido por los beneficios que causa el silicio en la planta como menciona AGUIRRE y RAYA (2005) que el silicio se acumula en la epidermis y se asocia con la pectina e iones de calcio, endureciendo el tejido y protegiendo así el ingreso de patógenos, la incidencia no llegó al 50% ya que todos los tratamientos estuvieron con aplicaciones de silicio esto generalizó la protección para todos los tratamientos produciendo menos hospedantes susceptibles para este hongo y reduciendo la propagación resultando una protección cruzada al testigo.

En la Figura 7, se observa que la incidencia de ojo de gallo en frutos de café se reduce hasta una dosis de aplicación (200 ppm de escoria siderúrgica – silicato de calcio) y (200 ppm de silicato de potasio) a partir de esta, según se incrementan las concentraciones de silicio, la incidencia en frutos de café se incrementa. Según se aumenta la concentración de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, se observa una tendencia a la reducción de la incidencia en frutos de café.

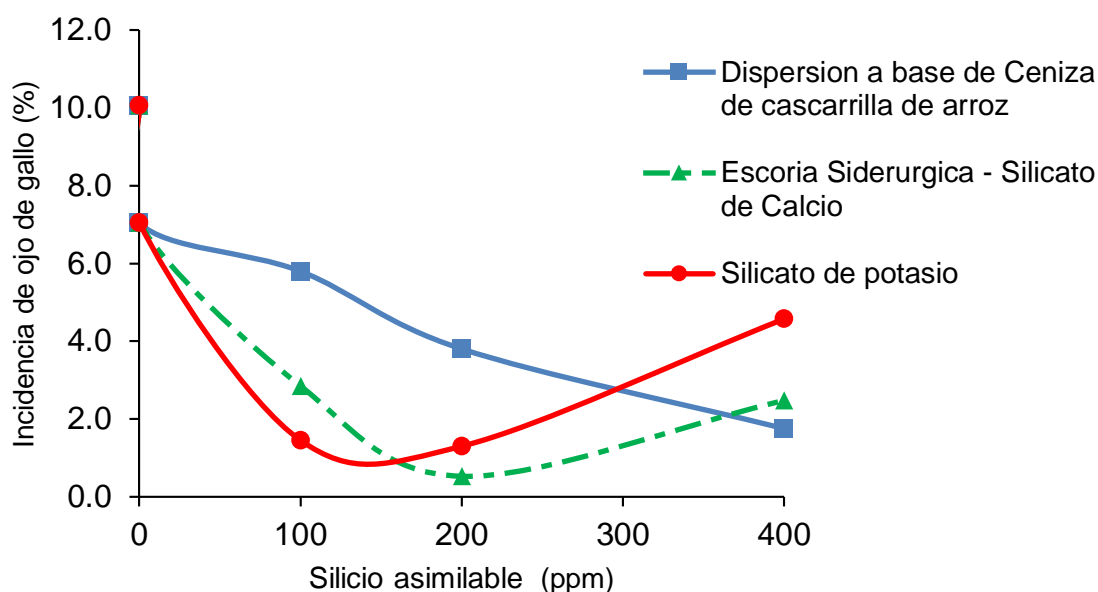


Figura 7. Incidencia de “ojo de gallo” en frutos de café variedad Catimor.

4.3. La disponibilidad del fósforo en el suelo

Según el análisis de variancia ($\alpha=0.05$), para el fósforo disponible en el suelo, no se encontró diferencia estadística entre los bloques ni entre los tratamientos (Cuadro 16). El coeficiente de variabilidad es de 35.70% y no indica buena homogeneidad entre las unidades experimentales de los tratamientos en estudio.

Cuadro 16. Análisis de variancia para disponibilidad del fósforo en el suelo.

Fuentes de variación	GL	SC	CM	Significancia
Bloques	3	371.92	123.97	NS
Tratamientos	10	422.18	42.22	NS
Error experimental	30	2258.17	75.27	
Total	43	3052.27		

CV = 35.70 %

NS: No existe significancia

La Figura 8, muestra la disponibilidad del fósforo en el suelo, donde el T₇ (silicato de potasio 100 ppm equivalentes a 77 kg/ha) alcanza 22.6 ppm obteniendo la mayor disponibilidad del fósforo en el suelo en comparación a todos los tratamientos. El tratamiento con menor disponibilidad del fósforo en el suelo es el T₁ con 11.3 ppm, y el testigo T₁₁ con 11.7 ppm.

La disponibilidad del fósforo en el suelo se incrementa hasta una dosis de aplicación (200 ppm de escoria siderúrgica – silicato de calcio) y (100 ppm de Silicato de Potasio) a partir de esta, según se incrementan las concentraciones de silicio la disponibilidad del fósforo disminuye para escoria siderúrgica – silicato de calcio y para silicato de potasio solo reduce hasta 200 ppm y a partir de esta concentración nuevamente se incrementa. Según se aumenta la concentración de Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz, se observa una tendencia al incremento del fósforo disponible en el suelo. La Figura 8 (B), muestra una correlación positiva entre los tres tratamientos y el fósforo disponible en el suelo. Es decir, a mayor aplicación de silicio mayor fósforo disponible se hallará en el suelo, coincidiendo con MATICHENKOV y BOCHARNIKOVA, (2001) quienes encontraron que el silicio incrementa la disponibilidad del fósforo, así mismo según COCKER *et al.* (1998) el silicio reduce la toxicidad del aluminio al formar hidroxialuminosilicatos (AlOSi(OH)_3)²⁺

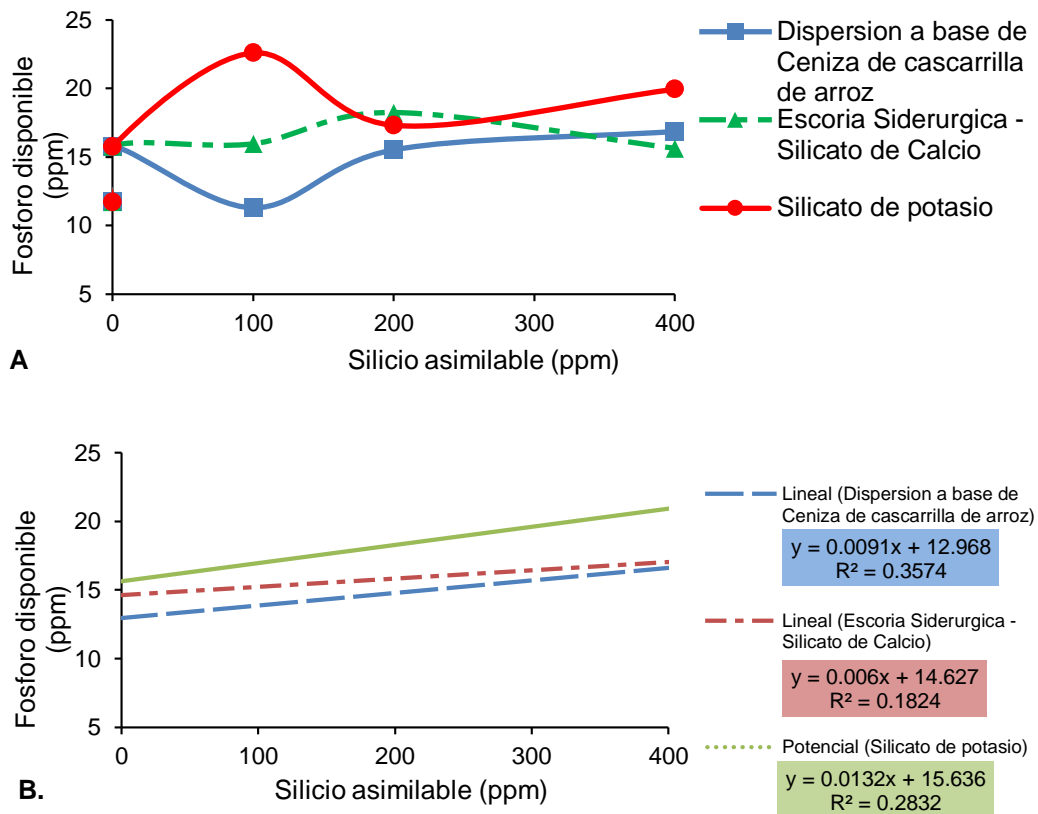


Figura 8. Disponibilidad del fosforo en el suelo (A), Correlación del silicio aplicado y el fosforo disponible en el suelo (B).

La aplicación de los niveles de 100 y 400 ppm de silicato de potasio genero mayor presencia de fosforo disponible, sin embargo, la aplicación de 200 ppm de escoria silicato de calcio (T₅) habría logrado el óptimo económico y sería el mejor producto para aplicarse al cultivo de café. Es decir, aun teniendo menor fosforo disponible con el tratamiento T₅ se lograría mejores resultados económicos. Las fuentes de silicio aplicado han generado fosforo disponible incluidos el testigo sin cilicio, pero recibió fertilizante NPK que incluye fertilizante fosforado. El testigo absoluto (no recibió silicio ni fertilizante) mostro los niveles más bajos de fosforo disponible junto con la dosis de 100 ppm de dispersión a base de ceniza (T₁). El análisis de fosforo disponible en la parcela antes de instalarse fue de 6.73 ppm (Figura 31,32,33).

CHUEIRI (2004) Menciona cada vez que se aplican fertilizantes fosfatados en el suelo, se tienen pérdidas por fijación. Entre otros factores, esta pérdida será mayor cuando mayor haya sido la "intemperización" sufrida por el suelo, y cuando más arcillosa sea su textura. Algunos autores citan pérdidas de hasta un 70 % del fósforo aplicado en suelos del Brasil. Se ha demostrado también una notable correlación silicio-fósforo (Si-P). El aporte al suelo de fertilizantes silícicos solubles, incrementa la asimilación del fósforo por la planta, posiblemente debido a un intercambio de los fosfatos absorbidos a los hidróxidos por silicatos además incrementa la disponibilidad del fosforo en suelo en forma disponible para la absorción de las plantas. En los análisis de suelos realizados se muestra un incremento en la disponibilidad del fosforo, se puede asumir que es por el efecto de fuentes de silicio aplicado en el presente trabajo de investigación. En suelos ácidos pobres en sílice resulta muy apropiado adicionar escorias básicas tal como menciona (NAVARRO Y NAVARRO, 2000).

SEPHU (2009) menciona el efecto benéfico de la adición de silicatos a un desplazamiento de los fosfatos retenidos en los sitios de adsorción del suelo. Entonces se puede asumir que los fosfatos retenidos en los sitios de adsorción fueron desplazados mediante la aplicación de enmiendas silícicas, trabajando con la aplicación de silicatos de calcio y sodio encontraron respuestas favorables en la disponibilidad del fosforo en el suelo, y es por ello se presentó un incremento en la disponibilidad del fósforo con respecto al análisis realizado inicialmente.

4.4. Correlación entre el silicio y la producción

La Figura 7, muestra la correlación entre silicio (ppm) y rendimiento (kg/ha) de café pergamino seco, la ecuación que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica ($y = -0.0365x^2 + 18.399x + 2286.9$), de acuerdo con esta ecuación por cada unidad que se incrementa en SiA, se verá afectada el rendimiento de café pergamino seco primero incrementándose y luego disminuyendo en 0.0365 kg/ha.

El punto máximo de la curva es (252.04:4605.55), la cual nos indica que es el nivel máximo del incremento del rendimiento y a partir de este punto el rendimiento reduce según se aumenta la cantidad de SiA. Es decir, a la dosis de 252,04 ppm de SiA aplicado se obtiene el máximo rendimiento 4605.55 Kg/ha de café pergamino seco.

La ecuación (Figura 9) obtuvo el coeficiente de determinación $r^2 = 0.986$, el cual significa que el 98.6 % de la variación del rendimiento puede ser atribuida a la aplicación de SiA (escoria siderúrgica – silicato de calcio), la interpretación nos dice a mayor silicio mayor incremento del rendimiento y a menor aplicación de silicio menor rendimiento, se podría decir que la baja presencia de silicio en el suelo cafetalero será menor la producción y mayor incremento de enfermedades fúngicas.

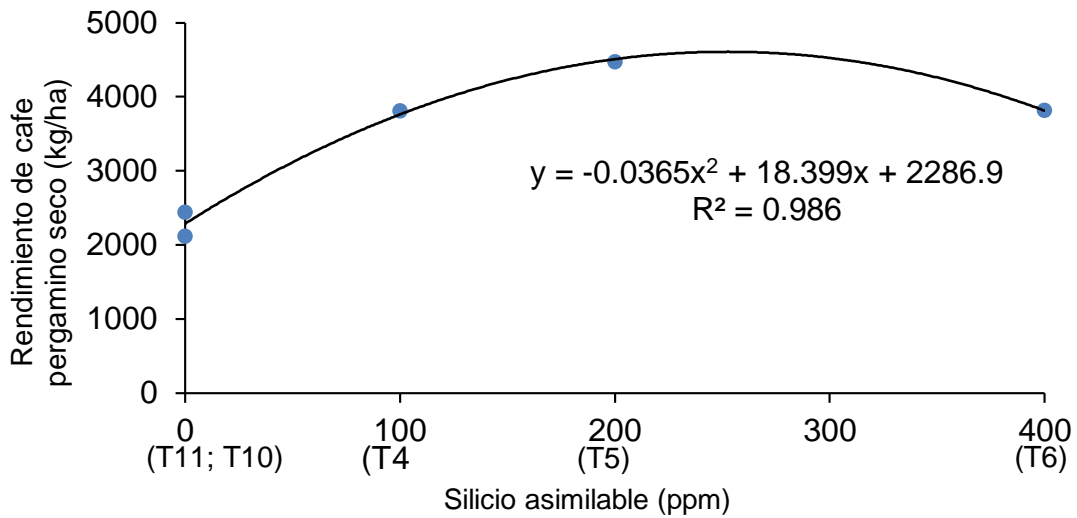


Figura 9. Curva polinómica para la relación entre Silicio y rendimiento.

4.5. Análisis de rentabilidad

Según el análisis de rentabilidad realizado a los tratamientos en estudio; teniendo variabilidad de costos en mano de obra como la cosecha debido a los diferentes rendimientos algunos requerían mayor mano de obra por la elevada producción, él y beneficiado tuvo variaciones en la inversión por el variado rendimiento, los insumos aplicados fueron tres niveles que para cada tratamiento fue diferente a los demás teniendo dos tipos de insumos con un costo diferente.

Teniendo estas consideraciones concluimos que el mayor índice de rentabilidad fue obtenido con el tratamiento T₅ (Escoria Siderúrgica - Silicato de Calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha + NPK) con 1.13, debido a la producción de 4472 (kg/ha) de café pergamino seco. Este valor indica, que, por cada nuevo sol de inversión, se obtendría una ganancia de 1.13 nuevos soles (Figura 10 y Cuadro 17).

El mayor índice de rentabilidad obtenido por el tratamiento (T5) fue por el bajo costo en insumos adquirido para este, siendo aplicado a nivel medio de la fuente escoria siderúrgica – silicato de potasio + NPK, teniendo la mitad de inversión en esta fuente que el tratamiento (T6), que se aplicó al doble pero la producción no fue superior resultando un bajo índice de rentabilidad de 0.81.

El segundo mejor tratamiento en lo que respecta al índice de rentabilidad, correspondió al tratamiento T₁₁ (testigo) con 1.01, debido a los menores costos de producción alcanzando 2115 (kg/ha) de café pergamino seco. El testigo absoluto (T₁₁) obtuvo una buena producción sin la aplicación de ningún tipo de fertilizante o enmienda con un gasto mínimo en insumos de 130.51 nuevos soles, se puede decir que este suelo tiene nutrientes disponible habiendo sido fertilizado años antes de realizar el experimento conociendo que los abonos y fertilizantes tiene efectos para las siguientes campañas del año entrante, este siendo este factor la principal causa de un buen índice de rentabilidad, afirmamos que un caficultor que abona o fertilizado un año al menos en etapa de producción, puede cosechar dos campañas seguidas sin aplicar nuevamente, pero después volver aplicar.

El tratamiento con más bajo índice de rentabilidad fue el T₉, con un valor de 0.05 debido a altos costos de producción resaltando la elevada cantidad y costo al ser el nivel más alto de Silicato de Potasio + NPK (400ppm equivalente a 153 Lt) este fue aplicado produciendo un mayor rendimiento pero que se volvió a invertir en el pago de esta fuente de silicio, este tratamiento alcanzo 3331 (kg/ha) de café pergamino seco, pero no se logró mucha ganancia debido a los insumos requeridos sumaron un alto costo de (12527.79 soles) por ser uno de los niveles más altos de esta

Cuadro 17. Análisis de rentabilidad de los tratamientos.

Clave	Costos de producción (S/.)				Rendimiento de cps (kg/ha)	Ingreso bruto	Utilidad (s/.)	Relación B/C	Índice de rentabilidad	
	Mano de obra	Insumos	Cosecha	Beneficio						Inversión Total
T ₁	855.00	717.96	5322.74	1774.25	8669.95	2661.37	17298.92	8628.96	2.00	1.00
T ₂	855.00	1331.17	7420.23	2473.41	12079.82	3710.12	24115.76	12035.95	2.00	1.00
T ₃	855.00	2476.21	7677.39	2559.13	13567.73	3838.70	26870.88	13303.15	1.98	0.98
T ₄	795.00	1080.25	7619.93	8889.92	18385.09	3809.96	26669.75	8284.65	1.45	0.45
T ₅	795.00	1986.58	8944.51	2981.50	14707.59	4472.25	31305.78	16598.19	2.13	1.13
T ₆	795.00	3749.01	7635.73	2545.24	14724.99	3817.87	26725.06	12000.07	1.81	0.81
T ₇	795.00	3290.01	7845.48	2615.16	14545.65	3922.74	27459.18	12913.53	1.89	0.89
T ₈	795.00	6349.58	7879.96	2626.65	17651.19	3939.98	27579.86	9928.66	1.56	0.56
T ₉	795.00	12527.79	6662.41	2220.80	22206.00	3331.20	23318.43	1112.43	1.05	0.05
T ₁₀	735.00	1526.95	4880.98	1626.99	8769.92	2440.49	17083.42	8313.50	1.95	0.95
T ₁₁	555.00	130.51	4230.90	1410.30	6326.71	2115.45	12692.70	6365.98	2.01	1.01

Utilidad neta : Ingreso bruto – Inversión total
 Relación beneficio/costo : Ingreso bruto / Inversión total
 Índice de rentabilidad : Utilidad / Inversión total
 Precio de 1 kg de café pergamino seco : S/. 7.00
 Cps : Café pergamino seco.

Para la concentración (dosis) de 100 ppm de Escoria siderúrgica – Silicato de Calcio, la ganancia disminuye, luego la ganancia se incrementa hasta una concentración de 200 ppm, a partir de esta nuevamente disminuye la ganancia, según se incrementa la concentración de esta fuente de silicio.

Para Dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz se mantiene la ganancia en las concentraciones de 100 y 200 ppm, a partir de esta, según se incrementa la concentración de silicio disminuye la ganancia

Según se incrementa la concentración de silicato de potasio, la ganancia tiende a disminuir. Esto es debido a sus altos costos del producto y una baja producción.

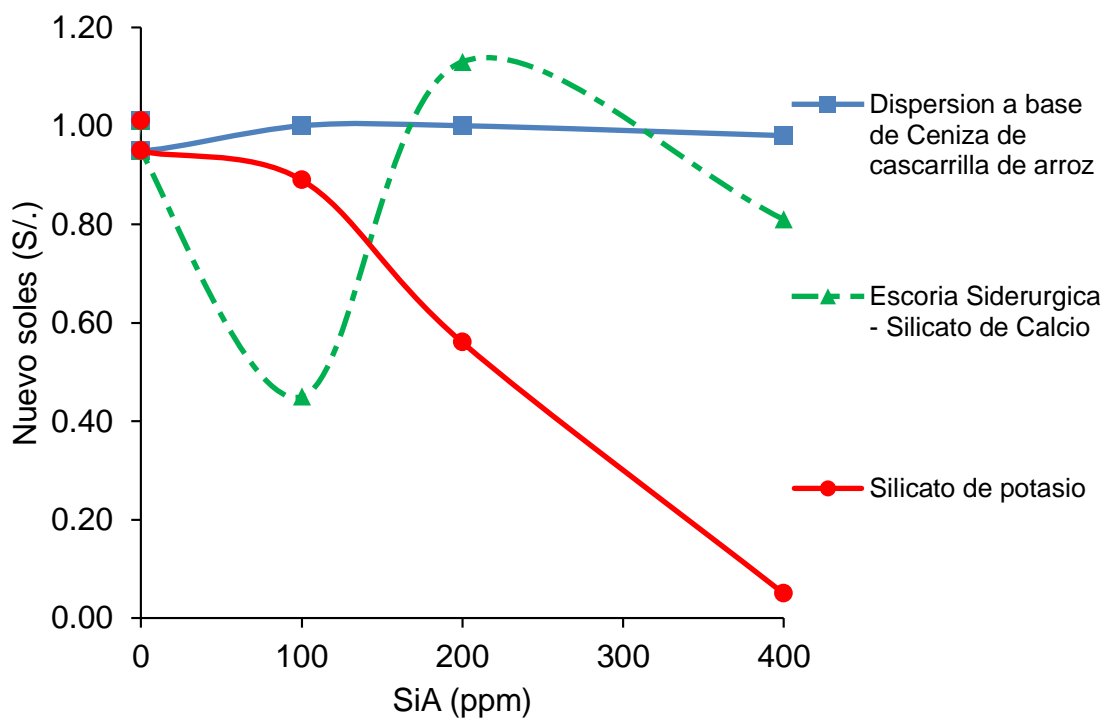


Figura 10. Análisis de rentabilidad en la producción de café pergamino seco

V. CONCLUSIONES

1. La escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado al suelo a un nivel de 200ppm equivalente a 790 kg/ha y 237 g/planta (T₅), presenta el mayor rendimiento de 4472 kg/ha de café pergamino seco; obteniendo la mayor relación beneficio - costo (B/C) de 1.13 soles de ganancia por cada sol invertido.
2. La escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado al suelo a un nivel de 200ppm equivalente a 790 kg/ha y 237 g/planta (T₅), presenta la menor incidencia de “ojo de gallo” en hojas en 0.6 % y en frutos de café 0.5%, frente al testigo (T₁₁) que presento 24.3% en hojas y 10.1% en frutos.
3. La aplicación al suelo de escoria siderúrgica – silicato de calcio a un nivel de 100ppm equivalente a 77 kg/ha y 23g/planta incrementó la disponibilidad del fosforo a 22.6 ppm, frente al testigo (T₁₁) que llego a 11.7 ppm y el tratamiento (T₁) a 11.3 ppm.
4. Existe una correlación de $r = 0.986$ entre las fuentes de silicio (escoria siderúrgica – silicato de calcio) y la producción (kg/ha), y el modelo matemático se expresa de la manera siguiente $y = -0.0365x^2 + 18.399x + 2286.9$, sacando la primera derivada encontramos el nivel óptimo de 252.04 ppm y 4605.55 kg/ha en rendimiento.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar más trabajos de investigación referente a la aplicación del silicio en el cultivo de café y otros cultivos, en extensiones mayores y con otras variedades y en diferentes zonas productoras para validar sus efectos para una recomendación sustentable y verídica.
2. Aplicar la escoria-silicato de calcio a dosis 200 ppm equivalentes (790 kg/ha), como complemento de la fertilización completa, según su fenología del cultivo. Habiendo encontrado una respuesta preliminar.
3. Realizar trabajos de investigación aplicando silicio desde primer año de producción y por varios años consecutivos para validar sus efectos.
4. Realizar análisis de los micronutrientes antes y después de la aplicación de las fuentes de silicio en el suelo, para determinar con certeza cuál es el micronutriente que causa el efecto en el rendimiento.

VII. RESUMEN

El estudio se ha realizado entre octubre y agosto del 2016 - 2017, realizando la demarcación y establecimiento de los tratamientos en el caserío Nuevo Milenio distrito de Daniel Alomias Robles, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Los objetivos fueron: Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en el incremento de la producción del cultivo de café (*Coffea arabica L.*). Determinar la mejor fuente y nivel de silicio en la reducción de la incidencia de "Ojo de Gallo" (*Stillbum flavidum*), en el cultivo de café (*Coffea arabica L.*). Determinar el efecto del silicio en la neutralización del aluminio y la disponibilidad del fosforo en el suelo.

Los resultados obtenidos, muestran el rendimiento de café pergamino seco 4472 kg/ha (74 qq/ha) a la aplicación de escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha, frente al testigo 2115 kg/ha (35 qq/ha). La calidad física tuvo un puntaje de 80% el T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha), frente al testigo 71% de puntaje a la que no se aplicó ni silicio ni NPK. La calidad organoléptica tuvo 83 puntos en taza el T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha), frente al testigo 78 puntos en taza a la que no se aplicó ni silicio ni NPK. El porcentaje de incidencia de "ojo de gallo" resulto mejor frente a la aplicación de T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha) con 0.60% en hojas y 0.53% en frutos frente al testigo 24.25% en hojas y 10.08% en frutos de café. En la disponibilidad del fosforo en el suelo resulto mejor la aplicación de T₇ (silicato de potasio 100 ppm equivalentes a 77 kg/ha) con un 22.62 ppm, pero resulto mejor la aplicación del T₅ (escoria siderúrgica – silicato de calcio 200 ppm equivalentes a 790 kg/ha), según el análisis de rentabilidad y también no existe significación estadística y por eso se recomienda aplicar el T₅.

ABSTRACT

The study was carried out between October and August 2016 - 2017, carrying out the demarcation and establishment of the treatments in the hamlet Nuevo Milenio district of Daniel Alomía Robles, province of Leoncio Prado, department of Huánuco. The objectives were: ⁽¹⁾ To determine the best source and level of silicon in the increase of the production of the coffee crop (*Coffea arabica* L.). ⁽²⁾ Determine the best source and level of silicon in the reduction of the incidence of Ojo de Gallo (*Stillbum flavidum*), in the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.). ⁽³⁾ Determine the effect of silicon on the neutralization of aluminum and the availability of phosphorus in the soil.

The results obtained show the performance of dry parchment coffee 4472 kg/ha (74 qq/ha) to the application of steel slag - calcium silicate 200 ppm equivalent to 790 kg/ha, compared to the control 2115 kg/ha (35 qq /he has). The physical quality had a score of 80% T₅ (steel slag - calcium silicate 200 ppm equivalent to 790 kg/ha), compared to the control 71% score to which neither silicon nor NPK was applied. The organoleptic quality had 83 points in cup T₅ (steel slag - calcium silicate 200 ppm equivalent to 790 kg/ha), compared to the control 78 points in cup to which neither silicon nor NPK was applied. The percentage of incidence of rooster's eye was better compared to the application of T₅ (steel slag - calcium silicate 200 ppm equivalent to 790 kg/ha with 0.60% in leaves and 0.53% in fruits from the witness 24.25% in leaves and 10.08 % in coffee fruits. In the availability of phosphorus in the soil, the application of T₇ (potassium silicate 100 ppm equivalent to 77 kg/ha) with a 22.62 ppm was better, but the application of T₅ (steel slag - calcium silicate 200 ppm equivalent to 790 kg / ha), according to the profitability analysis and there is also no statistical significance and therefore it is recommended to apply T₅.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGROMIL S.A. 2011. Productos a base de silicio. [En línea] <http://silicioagromil.com/site/>. Documento revisado 11 de agosto del 2016). 23 p.
2. AGROPERFECT S.A. 2011. [En línea] <https://www.tuugo.ec/Companies/agrop>. Documento revisado 23 de julio del 2011. 17 p.
3. AGUIRRE M y RAYA PÉREZ J.C. 2005. El silicio en las plantas. Centro de Investigación Aplicada del Instituto Tecnológico Superior de Uruapan – Brasilia. Brasil. 53 p.
4. ALVARADO, M.; ROJAS, G. 1998. El cultivo y beneficiado del café. Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. 160 p.
5. Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE), 2008. Importancia del silicio en la fertilización de cultivos agrícolas. Guayaquil, Ecuador. 46 p.
6. AVELINO, J; PERRIOT, J; GUYOT, B; PINEDA, C; DECAZY, F; CILAS, C. 2002. Identifying terror coffees in Honduras. Plantion recherche developpement. Honduras. Pp. 6 –16.
7. AZABACHE, L. 2003. “fertilidad de suelo para una agricultura sostenible” Lima, Perú. 167 p.
8. BANEGAS, K. 2009. Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad de café en los Municipios de El Paraíso y Alauca; Honduras. Costa Rica. 65 p.
9. BONO. A y QUIROGA. A. 2012. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pampas of Argentina. p. 162.

10. BONO, A y ALVAREZ, R. 2007. Estimación de nitratos en profundidad en suelos de la región semiárida y subhúmeda pampeana. INFORMACIONES AGRONÓMICAS DEL CONO SUR. N°35. 1- 5 p
11. CAICEDO y CHAVARRIAGA., 2008. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Colombia. 34 p.
12. CAMPBELL, N.A.; REECE, JB. 2007. Biología. 7ma edición. Madrid, España, Editorial médica Panamericana. 153 p.
13. CAPAJAÑA, Q. 2011. Determinación comparativa de perfiles de taza en tres pisos altitudinales de café arábico (*Coffea arabica* L.) en la cuenca del río Tambopata – Sandia. Tesis Ingeniero Agroindustrial. Puno – Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 165 p.
14. CARBAJAL, J. 1985. Cafeto-cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. 2da. Edición. Berna, Suiza. 254 p.
15. CASANOVES, F.; DI RIENZO J.A.; BALZARINI M.G.; GONZÁLEZ L.; TABLADA M. y ROBLEDO, C.W. 2010. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 200 p.
16. CASTAÑEDA, P. 1997 “Manual técnico cafetalero”. MSP – ADEX – USAID. Lima, Perú. 162 p.
17. CASTAÑO, J. 1951. Principales causas predisponentes para la enfermedad de la gotera en nuestros cafetales. Revista cafetera de Colombia. 10(122). 3750 – 3756 p.
18. CATAST. 2012. Guía de cata. La cata de café. [En línea] (<http://catast.com/Documentos/Guiesdetast/Guiatastcafe.pdf>). Documento revisado 17 de setiembre del 2017).

19. CENICAFE. 2010. Sistemas de producción de café en Colombia. Edit. CENICAFE. Colombia. 300 p.
20. CENICAFE. 2011. Ojo de gallo o gotera del cafeto (*Omphalia flavida*). Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFE). Chinchiná, Caldas, Colombia. 74 p.
21. CESAR AGUIRRE. 2008. El silicio en los organismos vivos. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. Pp. 504 – 509.
22. CHUEIRI, W. 2004. “El fósforo en los suelos tropicales”. 25 p.
23. COCKER, K.M; D.E. EVANS; M.J. HODSON. 1998. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: Solution chemistry or an in planta mechanism? *Physiol. Plant.* Pp. 608 –614.
24. DESCO. 2012. Producción de cafés especiales. Manual técnico, Programa Selva Central, Perú. 50 p.
25. DOMINGUEZ, V. 1989. Tratado de fertilización. 2º Edición. Madrid. 71 p.
26. ECHEVERRI, J.; ZAMORA L. 1997. Memorias del XVII Simposio Latinoamericano de Caficultura: Evaluación de cinco fungicidas para el combate del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en varias regiones de Costa Rica. Eds. Echeverri J y Zamora L. IICA-ICAFFE, San José, Costa Rica. 515 p.
27. EPSTEIN, E. 2009. Silicon: Its manifold roles in plants. *Ann. Appl. Biol.* Pp. 155 – 160.
28. FAIRTRADE. 2010. Calidad y catación. [En línea] (<https://sellocomerciojusto.org/20fairtrade>. Documento consultado 15 de Agosto del 2017). 41 p.
29. FAJARDO, P. y SANZ, U. 2003. Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio húmedo tradicional y ecológico (Becolsub). *Revisista Cenicafe.* Pp. 286 – 296.

30. FARFÁN, V. y M. MESTRE. 2004. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. *Cenicafé*. Pp. 161–174.
31. FIGUEROA, E. 1990. *La Caficultura en el Perú*. CONCYTEC. Lima, Perú. 234 p.
32. FIGUEROA, Z. 1996. *Guía para la caficultura ecológica*. 96 p.
33. FISCHERSWORRING, B. y ROBKAMP, R. 2001. *Guía para la caficultura ecológica*. 3 ed. Pp. 153-160.
34. GARCÍA F. 2001. Balance del fósforo en los suelos de La Región Pampeana, *Informaciones agronómicas del Cono Sur*. Pp. 1 - 3.
35. GEEL, L; KINNEAR, M; KOCK, H. 2005. Relating consumer preferences to sensory attributes of instant coffee food quality and preference. Pp. 237 - 244.
36. GONZALEZ, M. 2003. Cultivo in vitro de Ojo de gallo. *Hoja Técnica*. N° 44. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. Pp. 33 - 51.
37. GONZALES, H; SADEGHIAN, S y MEJIA, B. 2003. Caracterización del azufre en algunos suelos de la zona cafetalera colombiana. *Cenicafe*. 54(3). Colombia. 226 – 233 p.
38. GRIFFIN, M. 2001. Coffee quality and environmental conditions. *Coffee Research Newsletter*. Pp. 4 – 6.
39. GTZ. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2010. *Cambio Climático y Café: Capacitación para productores y organizaciones cafetaleras*. Eschborn, DE. 75 p.
40. GUHARAY, F; MONTERREY, J; MONTERROSO, D; STAVEN, C. 2000. *Manejo integrado de plagas en el cultivo del café*. Manual técnico N° 44. Managua, NI. 272 p.

41. HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: Ecología Basada en Zonas de Vida, 1ra. ed. San José, Costa Rica: IICA. 149 p.
42. HORNA, Z. 2007. Efectos del silicio en la nutrición vegetal producción de silicio orgánico. Agryptus. Quevedo, Ecuador. 23 p.
43. IICA (Instituto Interamericano Cooperación para la Agricultura). 2003. Informe anual 2002. San José, Costa Rica. 6 p.
44. JARAMILLO, R. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196 p.
45. KELLER, C; M. RIZWAN; J.C. DAVIDIAN; O.S. POKROVSKY; N. BOVET; P. CHAURAND; J.D. MEUNIER. 2015. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 μM Cu. *Planta*. Pp. 847 – 860.
46. KIRK, P.M.; CANNON, P.F.; MINTER, D.W.; STALPERS, J.A. 2008. Dictionary of the Fungi. 10th edition, UK, CAB International. 771 p.
47. LEON, J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. 3 ed. San José, CR. Editorial Afroamericana del IICA. 522 p.
48. LOPEZ, F; NARANJO, O; VILLEGAS, M; VALENCIA, G. 1972. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café en almacigo. CENICAFE. 23(4). 87 – 97 p.
49. MARIN, C. 2003. Control de calidad del café. Manual Técnico. Lima, Peru. 26 p.
50. MATICHENKOV, V.V y E.A. BOCHARNIKOVA. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndorfer (eds.), *Silicon in Agriculture: Studies in Plant Science*, Elsevier Science, Amsterdam. Pp. 209–219.

51. MAZZINGHY A.; TEIXEIRA C.; HUFNAGEL B.; THIEBAUT F.; MACIEL-ZAMBOLIM E.; ZAMBOLIM L Y SUSSUMU S. 2010. In silico identification of coffee genome expressed sequences potentially associated with resistance to diseases. Sociedade Brasileira de Genética. Printed in Brazil. Pp. 795 - 806.
52. MEENA, V.D; M.L. DOTANIYA; V. COUMAR; S. RAJENDIRAN; S. KUNDU; A.S. RAO. 2014. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. Proc. Indian Natl. Sci. Acad. B Biol. Sci. 84:505–518.
53. MINAG. 2013. Situación del grano de café en el mercado mundial, Boletín informático N° 001. Lima, Perú. 4 p.
54. NAVARRO, G. y NAVARRO, S. 2003. Química agrícola, el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Madrid, España: Mundi, Prensa. 487 p.
55. NAVARRO, S. y NAVARRO, G. 2000. Química agrícola. Barcelona, España. Pp. 424 - 427.
56. OREJUELA, J. 2010. Evaluación de la Aplicación de Varias Dosis de Ácido Monosilícico en la Producción del Cultivo de Arroz. Var. INIAP. 15 p.
57. OROZCO, E. 2010. Ojo de gallo ocasionado por (*Mycena citricolor*) en café (*Coffea arabica*). Guatemala, Guatemala. 220 p.
58. ORTEGA, A. 2002. Interacción entre nutrimentos en suelo y planta en DE SIMONE, M & V FAILDE DE CALVO (eds). 2002. El cultivo del poroto en la República Argentina. INTA. Salta. Argentina. 308 p.
59. OSCAR. 2013. Método de muestreo de ojo de gallo del cafeto. 25 p.
60. POZZA, A., ALVES, E.; POZZA, E., CARVALHO, J. DE, MONTANARI, M., GUIMARÃES, P., SANTOS, D. 2004. Efeito do silício no controle da

- cercosporiose em três variedades de cafeeiro. Fitopatologia brasileira. Pp. 185 - 188.
61. PROMECAFE. 2010. Protocolo de análisis de calidad de café. Red Regional de Catadores. IICA. Guatemala. 138 p.
62. QUERO, E. 2007. 12 virtudes del silicio. Biotecnología. Abril 2007. Teorema ambiental. Revista Técnico Ambiental. Editorial 3W México S.A. 63 p.
63. QUERO, G. 2008. Silicio en la Producción Agrícola. Instituto Tecnológico Superior de Uruap – Brasilia. 67 p.
64. QUINTERO, R. 2014. Café, te y cacao. [En línea]. (<https://es.slideshare.net/RosymarQuintero/caf-t-y-cacao-rosymar-quintero1-39018704?cv=1>). Revisado el 15 de diciembre de 2017).
65. RENGIFO, S. 1998. Fundamentos y Recomendaciones Técnicas para la Fertilización del Cultivo de Café. Boletín Técnico; Universidad Nacional de Tarapoto, Perú. Pp. 2 - 6.
66. RIZWAN, M; J.D. MEUNIER; H. MICHE y C. KELLER. 2012. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. J. Hazard Mater. Pp. 326 – 334.
67. RUIZ, R. 1979. Manual práctico para el cultivo de café. Centro Nacional de investigación de Café. Colombia. 40 p.
68. SADEGHIAN K., S.; DUQUE O., H. 2003. Análisis de suelos: Importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. Avances Técnicos Cenicafé N°308. Pp. 1 - 8.
69. SALAMANCA, A. y ADEGHIAN, S. 2006. Crecimiento del Café en almácigos con dos fuentes de Silicio. CENICAFE. – SCCS. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. 10 p.

70. SALISBURY, F. 2000. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Ibero América. Trad. Biol. Virgilio González Velásquez México. 667 p.
71. SCHULTHESS, C. y TOKUNAGA, S. 1996. Metal and pH effects on adsorption of poly(vinilalcohol) by silicon oxide. Soil Sci Soc Am J. Pp. 60 - 92.
72. SEPHU - SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PRODUCTOS HÚMICOS. 2009. El silicio como elemento fertilizante. Noticias Sephu N° 028. Zaragoza, España. 28 p.
73. SINGH, R; N. GAUTAM; A. MISHRA; R. GUPTA. 2011. Heavy metal and living systems: An overview. Ind. J.Pharmacol. Pp. 246 – 253.
74. SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. SCAA. 2013. protocols: Cupping specialty coffee versión 21 nov 2009. 8 p.
75. STAUFFER, D. y SULEWSKI, G. 2001. Fósforo: un nutriente esencial para la vida. Simposio: El fósforo en la agricultura. Argentina. INPOFOS Cono Sur. Pp. 4 - 7.
76. STOLLER, J. 2007. El lenguaje ma, Perú. 85 p.
77. TAIZ. L; ZEIGER. E; MOLLER. I y MURPHY. A. 2017. Fisiología e desarrollo Vegetal. E. Artmed. Sao Paulo, Brasil. 888 p.
78. THANGAVELU, S. y C. RAO. 2002. Silicon content in juice of sugarcane clones and its association with other characters at different stages of maturity. Sugar Tech. Pp. 57 - 60.
79. TRIPATHI, D.K; V.P. SINGH; D. KUMAR; D.K. CHAUHAN. 2012. Rice seedlings under cadmium stress: Effect of silicon on growth, cadmium uptake, oxidative stress, antioxidant capacity and root and leaf structures. Chem. Ecol. Pp. 281 – 291.
80. TRIPATHI, D.K; V.P. SINGH; S.M PRASAD; D.K. CHAUHAN; N.K. DUBEY; A.K. RAI. 2015. Silicon-mediated alleviation of Cr (VI) toxicity in wheat

seedlings as evidenced by chlorophyll florescence, laser induced breakdown spectroscopy and anatomical changes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* Pp. 33 – 144.

81. MELLA J. 2007. Las bondades del silicio. Venezuela. 24 p.
82. VARGAS, A; UMAÑA, G; GONZALES, M; VARGAS, E. 1990. Descripción de *Mycena citricolor* (Berk and Curt.) Sacc. Taller regional sobre roya, ojo de gallo y otras enfermedades de cafeto. Editorial de la universidad de Costa Rica. San Jose – Costa Rica. 29 – 31 p.
83. VIANA, J. 2008. El silicio y la mosca blanca. Agromil. Tolima. Colombia. 45 p.
84. VIEIRA DA CUNHA, P. K; WILLIAMS ARAÚJO DO NASCIMENTO, C; JOSÉ DA SILVA, A. 2008. “Silicon alleviates the toxicity of cadmium and zinc for maize (*Zea mays* L.) grown on a contaminated soil”. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Pp. 849 - 853.
85. WANG, A. y AVELINO, J. 1999. Desafíos de la caficultura en Centroamérica: El ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC), Universidad de Costa Rica. Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement, France (CIRAD-CP). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)-PROMECAFE. Eds. B. Bertrand y B. Rapidel. Pp. 243 - 260.
86. WINTGENS, N. 2009. Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production. Ed. Jean Nicolas Wintgens. 2 ed. Weinheim. 982 p.
87. ZAMORA, L. 2012. Descripción química y microbiológica de lixiviados y téis de vermicompost y su efecto en la supresión de la enfermedad “Ojo de gallo” (*Mycena citricolor* Berk y Curt) Sacc, en hojas de cafeto (*Coffea arabica*

L.). Tesis para optar el grado de ingeniero agrónomo. Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 100 p.

88. ZHANG, M; ALVA, K; LIY, C; y CALVER, D. 2001. Aluminum and iron fractions affecting phosphorus solubility and reactions in selected sandy soils. Soil SCI. Pp. 940 – 948.

IX. ANEXO

➤ **Cálculos del área efectiva para la fertilización.**

Textura: Franco

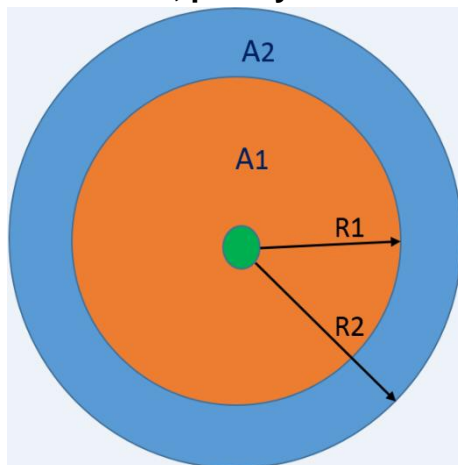
Densidad aparente = $1.25 \text{ g/cm}^3 = 1250 \text{ kg/m}^3$

Profundidad efectiva (PE) = 0.15 m

Volumen (1hectarea) = $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0.15 \text{ m} = 1500 \text{ m}^3$

Peso de suelo = (Densidad x Volumen) = $875000 \text{ kg} = 1875 \text{ Tn}$

➤ **Volumen, peso y área efectiva para una planta según el grafico.**



Donde:

$R1 = 0.3 \text{ m}$

$R2 = 0.38 \text{ m}$

A1 = Superficie que no se fertilizara

A2 = Superficie que se fertilizara

Área = πr^2

Área total = $3.1416 \times (R2)^2 = 3.1416 \times (0.38 \text{ m})^2 = 0.45364704 \text{ m}^2$

Área 1 = $3.1416 \times (R1)^2 = 3.1416 \times (0.3 \text{ m})^2 = 0.282744 \text{ m}^2$

$A2 = AT - A1 = 0.17090304 \text{ m}^2$

Área efectiva = 0.17090304 m^2

Volumen efectivo = $0.17090304 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m} = 0.025635456 \text{ m}^3$

Peso del Área efectiva = Densidad x Volumen = 32.0 kg

➤ **Cálculo de SiA para una planta según peso de área efectiva**

$100 \text{ ppm} = 100 \text{ mg/kg se suelo} = 0.1 \text{ g/kg de suelo} = 3.20 \text{ g}$

$200 \text{ ppm} = 200 \text{ mg/kg se suelo} = 0.2 \text{ g/kg de suelo} = 6.41 \text{ g}$

$400 \text{ ppm} = 400 \text{ mg/kg se suelo} = 0.4 \text{ g/kg de suelo} = 12.82 \text{ g}$

Figura 11. Cálculo de peso efectivo de suelo para la aplicación de las fuentes

por planta según los niveles a aplicarse.

Dispersión a base de ceniza cascarilla de arroz = 42000 ppm SiA

$$\begin{array}{l} 1 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad 1 \text{ mg/kg} \\ 42000 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad X \\ X = 42000 \text{ mg/kg de DispCzCAz} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g} \quad \text{-----} \quad 1000 \text{ mg} \\ X \quad \text{-----} \quad 42000 \text{ mg/kg de DispCzCAz} \\ X = 42 \text{ g/kg de DispCzCAz} \end{array}$$

Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio = 27000 ppm SiA

$$\begin{array}{l} 1 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad 1 \text{ mg/kg} \\ 27000 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad X \\ X = 27000 \text{ mg/kg ES-SiCa} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g} \quad \text{-----} \quad 1000 \text{ mg} \\ X \quad \text{-----} \quad 27000 \text{ mg/kg ES-SiCa} \\ X = 27 \text{ g/kg ES-SiCa} \end{array}$$

Silicato de K = 140000 ppm SiA

$$\begin{array}{l} 1 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad 1 \text{ mg/kg} \\ 140000 \text{ ppm} \quad \text{-----} \quad X \\ X = 140000 \text{ mg/kg SiK} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ g} \quad \text{-----} \quad 1000 \text{ mg} \\ X \quad \text{-----} \quad 140000 \text{ mg/kg SiK} \\ X = 140 \text{ g/kg SiK} \end{array}$$

Figura 12. Cálculo del requerimiento de las fuentes según su concentración de SiA.

✓ **Nivel 100 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 42 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 3.20 \text{ g SiA} \\ X = 0.07 \text{ kg de DispCzCAz para una planta} \\ X = 4.88 \text{ kg de DispCzCAz para } T_1 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 200 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 42 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 6.41 \text{ g SiA} \\ X = 0.153 \text{ kg de DispCzCAz para una planta} \\ X = 9.77 \text{ kg de DispCzCAz para } T_2 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 400 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 42 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 12.82 \text{ g SiA} \\ X = 0.305 \text{ kg de DispCzCAz para una planta} \\ X = 19.53 \text{ kg de DispCzCAz para } T_3 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

Figura 13. Cálculo para Dispersión a base de Ceniza de Cascarilla de Arroz, según las concentraciones a aplicar para cada tratamiento.

✓ **Nivel 100 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de ES-SiCa} \text{ ----- } 27 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 3.20 \text{ g SiA} \\ X = 0.119 \text{ kg de ES-SiCa para una planta} \\ X = 7.60 \text{ kg de ES-SiCa para } T_4 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 200 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de ES-SiCa} \text{ ----- } 27 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 6.41 \text{ g SiA} \\ X = 0.237 \text{ kg de ES-SiCa para una planta} \\ X = 15.19 \text{ kg de ES-SiCa para } T_5 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 400 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de ES-SiCa} \text{ ---} \text{ ----- } 27 \text{ g SiA} \\ X \text{ ---} \text{ ----- } 12.82 \text{ g SiA} \\ X = 0.4 \text{ SiCa para una planta} \\ X = 30.38 \text{ kg de ES-SiCa para } T_6 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

Figura 14. Cálculo para escoria siderúrgica – silicato de calcio, según las concentraciones a aplicar para cada tratamiento.

✓ **Nivel 100 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de SiK} \text{ ----- } 140 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 3.20 \text{ g SiA} \\ X = 0.023 \text{ kg de SiK para una planta} \\ X = 1.46 \text{ kg de SiK para } T_7 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 200 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de SiK} \text{ ----- } 140 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 6.41 \text{ g SiA} \\ X = 0.046 \text{ kg de SiK para una planta} \\ X = 2.93 \text{ kg de SiK para } T_8 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

✓ **Nivel 400 ppm**

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg de SiK} \text{ ----- } 140 \text{ g SiA} \\ X \text{ ----- } 12.82 \text{ g SiA} \\ X = 0.092 \text{ kg de SiK para una planta} \\ X = 5.86 \text{ kg de SiK para } T_9 \text{ (64 plantas)} \end{array}$$

Figura 15. Cálculo para Silicato de potasio, según las concentraciones a aplicar para cada tratamiento.

$T_1 = 10 \%$

$$\begin{array}{r} 10 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 100 \text{ L de agua} \\ 2.44 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } X \\ X = 24.40 \text{ L a este volumen será enraizado} \\ X = 381.25 \text{ ml/planta} \end{array}$$

$T_2 = 20 \%$

$$\begin{array}{r} 20 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 100 \text{ L de agua} \\ 4.89 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } X \\ X = 24.43 \text{ L será enraizado} \\ X = 381.16 \text{ ml/planta} \end{array}$$

$T_3 = 50 \%$

$$\begin{array}{r} 50 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } 100 \text{ L de agua} \\ 9.77 \text{ kg de DispCzCAz} \text{ ----- } X \\ X = 19.53 \text{ L será enraizado} \\ X = 305.16 \text{ ml/planta} \end{array}$$

Figura 16. Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos en las dos aplicaciones de dispersión a base de ceniza de cascarilla de arroz.

T₄ = 20 %

20 kg de ES-SiCa ----- 100 L de agua
3.80 kg de ES-SiCa ----- X
X = 19.00 L será enraizado
X = 296.88 ml/planta

T₅ = 30 %

10 kg de ES-SiCa ----- 100 L de agua
7.60 kg de ES-SiCa ----- X
X = 25.33 L será enraizado
X = 395.78 ml/planta

T₆ = 60 %

10 kg de ES-SiCa ----- 100 L de agua
15.20 kg de ES-SiCa ----- X
X = 25.33 L será enraizado
X = 395.78 ml/planta

Figura 17. Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos en las dos aplicaciones de Escoria Siderúrgica – Silicato de Calcio.

T₇ = 2 %

2 kg de SiK ----- 100 L de agua
0.51 kg de SiK ----- X
X = 25.5 L será enraizado
X = 398.44 ml/planta

T₈ = 4 %

4 kg de SiK ----- 100 L de agua
1.02 kg de SiK ----- X
X = 25.5 L será enraizado
X = 398.44 ml/planta

T₉ = 8 %

8 kg de SiK ----- 100 L de agua
2.05 kg de SiK ----- X
X = 25.5 L será enraizado
X = 398.44 ml/planta

Figura 18. Dilución y la cantidad para cada planta según los tratamientos en las dos aplicaciones de silicato de potasio.

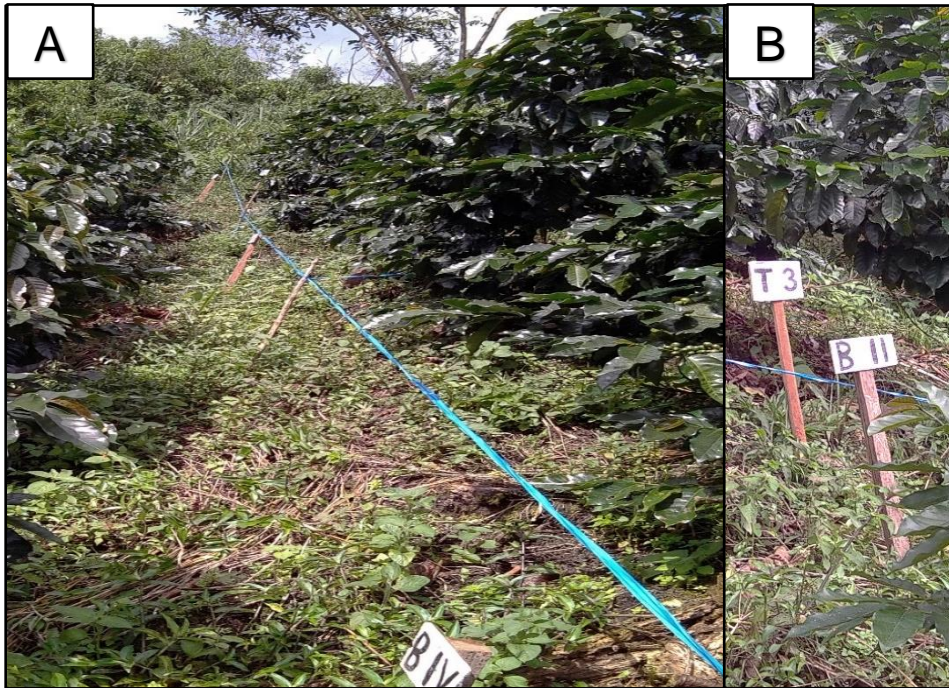


Figura 19. Demarcación del área experimental (A), colocación de letreros, bloques y tratamientos (B).

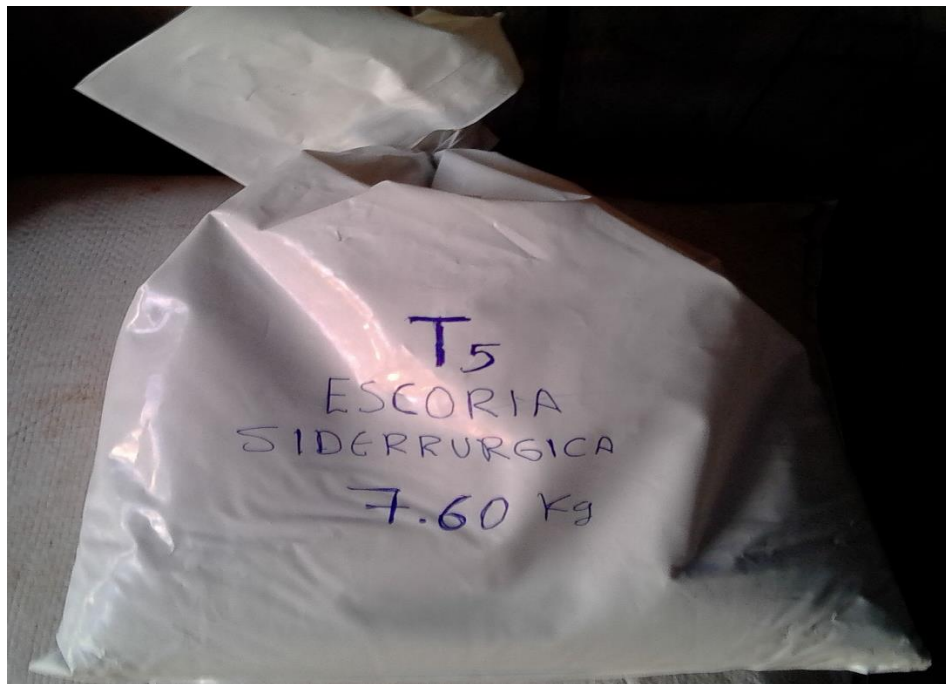


Figura 20. Dosis de escoria siderúrgica – silicato de calcio aplicado en el tratamiento T₅.



Figura 21. Dilución de las fuentes de silicio para la aplicación.



Figura 22. Aplicación de las fuentes de silicio.



Figura 23. Evaluación de las enfermedades en hojas y frutos de café.



Figura 24. Calidad de los frutos con silicio + NPK (A), sin silicio y sin NPK (B).



Figura 25. Cosecha de los frutos maduros.



Figura 26. Fermentado de los granos (A), Lavado de los granos (B).



Figura 27. Secado de los granos de café.



Figura 28. Granos de café oro con silicio + NPK (A), Granos de café oro sin silicio y sin NPK (B).



Figura 29. Plantas sin la aplicación de silicio y sin NPK.



Figura 30. Plantas que recibieron la aplicación de silicio + NPK.



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				JOSE DAVID HILARIO ESPINOZA				PROCEDENCIA:				DANIEL ALOMIA ROBLES												
N°	COD. LAB.	DATOS			ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmo(%)kg						CICe	%	%	%	
					Armo	Areña	Limo							Textura	Cl	%	%	%	ppm					ppm
		ts	ts	ts	Bas. Carb.	Ac. Carb.	Sec. Al																	
44	S1483	T11 BH	CAFÉ	NUEVO MLENCO	44	29	27	Francis	3.89	4.09	0.22	22.92	188.86	23.69	26.18	1.16	0.28	0.21	---	---	---	100.00	0.00	0.00
45	S1482	01	CAFÉ	NUEVO MLENCO	38	29	42	Francis	6.49	2.18	0.24	6.56	443.81	23.58	24.17	1.91	0.23	0.22	---	---	---	100.00	0.00	0.00
46	S1482	02	CAFÉ	NUEVO MLENCO	46	21	33	Francis	4.14	4.02	0.18	7.68	443.81	---	12.17	1.22	--	--	1.90	0.30	13.30	86.43	13.23	11.61
47	S1484	03	CAFÉ	NUEVO MLENCO	44	23	33	Francis	3.81	2.30	0.22	6.93	434.31	28.17	25.00	2.65	0.23	0.21	---	---	---	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 TINGO MARIA, 13 DE NOVIEMBRE 2017
 RECIBO N° 0321740

INSTITUCIÓN NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

 LUIS G. Miroslava Miroslava
 JEFE

Figura 31. Análisis de caracterización del suelo antes de la aplicación de los tratamientos, suelo con código S1483.



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				JOSE DAVID HILARIO ESPINOZA				PROCEDENCIA:				DANIEL ALOMIA ROBLES												
N°	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	K	CIC	CAMBIALES $cmol(+)kg^{-1}$						CICs	%	%	%	
				Arma	Arillo	Limo	Textura							Ca	Mg	K	Na	Al	H					
		REP.	CULTIVO	SECTOR	%	%	%	g/g	%	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g	g/g			
2	52438	T1 B1	CAFE	NUOVO MILENO	48	12	39	Frutoso	6.55	8.38	0.37	10.22	213.06	---	5.49	1.70	--	--	1.50	0.50	10.27	20.53	19.47	24.60
2	52439	T2 B1	CAFE	NUOVO MILENO	40	21	39	Frutoso	5.23	5.29	0.23	12.57	123.36	---	7.28	0.92	---	---	0.15	0.05	0.92	97.75	2.25	2.68
3	52440	T3 B1	CAFE	NUOVO MILENO	44	21	35	Frutoso	5.37	8.62	0.19	12.61	265.30	---	7.04	0.92	---	---	0.20	0.10	0.35	95.22	4.78	3.59
4	52442	T4 B1	CAFE	NUOVO MILENO	39	23	29	Frutoso	5.62	6.59	0.36	3.26	71.47	8.23	5.07	0.90	0.25	0.11	---	---	---	100.00	0.00	0.00
5	52442	T5 B1	CAFE	NUOVO MILENO	42	21	37	Frutoso	5.75	6.84	0.33	7.78	213.41	15.47	15.05	1.00	0.20	0.10	---	---	---	100.00	0.00	0.00
6	52443	T6 B1	CAFE	NUOVO MILENO	42	19	39	Frutoso	5.92	6.78	0.33	4.77	267.04	16.22	13.70	2.02	0.35	0.10	---	---	---	100.00	0.00	0.00
7	52444	T7 B1	CAFE	NUOVO MILENO	36	25	39	Frutoso	5.88	5.37	0.24	19.63	172.34	15.31	12.85	1.95	0.30	0.12	---	---	---	100.00	0.00	0.00
8	52445	T8 B1	CAFE	NUOVO MILENO	44	25	31	Frutoso	5.88	6.47	0.29	14.35	144.26	15.12	12.62	1.92	0.44	0.17	---	---	---	100.00	0.00	0.00
9	52446	T9 B1	CAFE	NUOVO MILENO	42	21	37	Frutoso	5.79	5.62	0.23	21.58	477.79	21.00	16.79	2.72	0.17	0.10	---	---	---	100.00	0.00	0.00
10	52447	T10 B1	CAFE	NUOVO MILENO	41	22	37	Frutoso	5.93	8.05	0.40	5.14	432.31	14.54	12.39	1.07	0.16	0.12	---	---	---	100.00	0.00	0.00
11	52448	T11 B1	CAFE	NUOVO MILENO	46	21	33	Frutoso	5.88	7.39	0.33	11.05	427.31	15.44	12.58	2.00	0.35	0.15	---	---	---	100.00	0.00	0.00
12	52449	T11 B1	CAFE	NUOVO MILENO	24	25	42	Frutoso	5.79	4.48	0.20	15.49	292.03	15.31	12.33	1.85	0.20	1.62	---	---	---	100.00	0.00	0.00
13	52450	T2 B0	CAFE	NUOVO MILENO	44	15	42	Frutoso	5.73	5.73	0.26	15.44	292.37	14.20	12.65	1.88	0.23	0.14	---	---	---	100.00	0.00	0.00
14	52451	T3 B0	CAFE	NUOVO MILENO	36	22	42	Frutoso	5.84	6.96	0.31	11.07	312.86	15.00	12.62	2.02	0.24	0.13	---	---	---	100.00	0.00	0.00
15	52452	T4 B0	CAFE	NUOVO MILENO	66	9	25	Frutoso Argento	5.83	7.62	0.35	19.63	177.42	14.42	12.29	1.89	0.13	0.11	---	---	---	100.00	0.00	0.00
16	52453	T5 B0	CAFE	NUOVO MILENO	54	27	19	Frutoso Arillo Argento	5.79	3.54	0.16	9.09	299.37	13.72	11.62	1.88	0.10	0.12	---	---	---	100.00	0.00	0.00
17	52454	T6 B0	CAFE	NUOVO MILENO	46	11	43	Frutoso	6.29	6.52	0.20	23.39	201.38	14.59	12.20	1.85	0.19	0.16	---	---	---	100.00	0.00	0.00
18	52455	T7 B0	CAFE	NUOVO MILENO	54	15	31	Frutoso Argento	5.88	1.09	0.09	24.89	492.28	15.11	12.57	2.03	0.30	0.12	---	---	---	100.00	0.00	0.00
19	52456	T8 B0	CAFE	NUOVO MILENO	46	19	35	Frutoso	6.29	3.40	0.16	22.45	397.33	14.62	11.72	1.78	0.33	0.10	---	---	---	100.00	0.00	0.00
20	52457	T9 B0	CAFE	NUOVO MILENO	34	15	51	Frutoso Limoso	5.93	5.92	0.27	26.15	463.89	13.98	11.60	1.80	0.30	0.20	---	---	---	100.00	0.00	0.00
21	52458	T10 B0	CAFE	NUOVO MILENO	30	21	49	Frutoso	5.73	7.75	0.25	22.10	384.63	22.84	19.26	3.10	0.27	0.21	---	---	---	100.00	0.00	0.00
22	52459	T11 B0	CAFE	NUOVO MILENO	30	19	47	Frutoso	5.74	4.40	0.20	7.49	423.82	14.24	11.09	1.77	0.13	0.17	---	---	---	100.00	0.00	0.00
23	52460	T1 B0	CAFE	NUOVO MILENO	20	22	39	Frutoso Arcilloso	5.38	6.35	0.29	2.88	538.27	---	5.83	0.91	--	--	0.20	0.10	7.04	95.74	4.25	2.04

Ing. Luis C. Manilla Mireya
 JEFE

Figura 32. Análisis de caracterización del suelo después de la aplicación de los tratamientos



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				JOSE DAVID HILARIO ESPINOZA				PROCEDENCIA:				DANIEL ALOMIA ROBLES														
N°	COD. LAB.	DATOS			ANÁLISIS MECANICO				pH		M.O.		N	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmo(%)g						CICe	%	%	%
		REF.	CULTIVO	SECTOR	Arroz			Textura	1:1	%	%	%	ppm	ppm	ppm		Ca	Mg	K	Na	Al	H		Bas. Camb.	Ac. Camb.	Sat. Al
					%	%	%																			
24	51463	T2 B3	CAFE	NUEVO MILENO	54	25	21	Frasco Arrollo Argoso	5.61	3.38	0.15	31.76	207.27	14.24	12.55	1.85	0.11	0.13	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
25	51462	T2 B3	CAFE	NUEVO MILENO	39	22	27	Frasco	5.17	7.84	0.16	29.13	212.26	---	1.06	0.08	---	---	0.15	0.05	0.93	97.11	2.89	2.16		
26	51461	T4 B3	CAFE	NUEVO MILENO	34	18	29	Frasco Argoso	6.25	6.98	0.11	17.84	506.78	11.91	11.73	1.73	0.23	0.20	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
27	51464	T8 B3	CAFE	NUEVO MILENO	54	13	21	Frasco Argoso	6.04	6.84	0.12	24.00	366.04	14.21	11.99	1.80	0.19	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
28	51465	T8 B3	CAFE	NUEVO MILENO	48	22	27	Frasco	6.21	5.86	0.26	23.50	296.07	15.66	12.73	1.93	0.13	0.25	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
29	51466	T1 B3	CAFE	NUEVO MILENO	48	22	29	Frasco	5.94	4.95	0.22	18.79	330.85	12.91	10.65	1.82	0.12	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
29	51467	T8 B3	CAFE	NUEVO MILENO	45	17	27	Frasco	5.77	6.59	0.38	13.80	311.86	11.82	11.61	1.73	0.24	0.22	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
31	51468	T8 B3	CAFE	NUEVO MILENO	58	15	29	Frasco Argoso	5.96	7.27	0.13	18.21	197.24	13.74	11.72	1.77	0.24	0.02	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
32	51469	T10 B3	CAFE	NUEVO MILENO	58	13	29	Frasco Argoso	6.13	5.13	0.23	15.66	468.29	13.98	11.67	1.73	0.19	0.19	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
33	51470	T11 B3	CAFE	NUEVO MILENO	46	21	23	Frasco	6.27	5.01	0.23	3.32	356.34	14.88	11.70	1.74	0.19	0.19	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
34	51471	T1 B4	CAFE	NUEVO MILENO	42	19	35	Frasco	5.96	7.17	0.24	16.82	462.18	13.95	11.69	1.73	0.24	0.27	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
35	51472	T2 B4	CAFE	NUEVO MILENO	44	21	31	Frasco	6.66	7.94	0.26	6.26	340.35	41.66	18.14	3.87	0.15	0.24	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
36	51473	T3 B4	CAFE	NUEVO MILENO	42	21	37	Frasco	5.85	5.86	0.26	13.78	406.12	23.25	23.71	3.88	0.24	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
37	51474	T4 B4	CAFE	NUEVO MILENO	30	15	35	Frasco	6.89	7.63	0.24	23.11	420.32	35.91	18.73	3.85	0.22	0.22	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
38	51475	T8 B4	CAFE	NUEVO MILENO	60	11	29	Frasco Argoso	6.88	7.33	0.12	31.29	291.87	40.62	14.11	5.15	0.14	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
39	51476	T8 B4	CAFE	NUEVO MILENO	44	19	37	Frasco	6.18	7.14	0.12	10.79	277.88	22.39	26.44	5.58	0.12	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
40	51477	T7 B4	CAFE	NUEVO MILENO	56	21	23	Frasco Arrollo Argoso	5.64	6.35	0.29	35.25	271.24	21.00	28.52	2.33	0.19	0.25	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
41	51478	T0 B4	CAFE	NUEVO MILENO	54	13	33	Frasco Argoso	5.82	2.82	0.49	18.69	460.30	42.11	38.98	2.72	0.23	0.27	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
42	51479	T8 B4	CAFE	NUEVO MILENO	44	19	37	Frasco	5.91	4.82	0.22	13.80	369.28	27.01	25.63	2.23	0.29	0.25	---	---	---	100.00	0.00	0.00		
42	51480	T10 B4	CAFE	NUEVO MILENO	48	11	29	Frasco Argoso	6.41	5.63	0.22	20.73	411.32	38.41	34.82	3.12	0.24	0.23	---	---	---	100.00	0.00	0.00		

Ing. Luis G. Mansilla Minaya

Figura 33. Analisis de caracterización del suelo despues de la aplicacion de los tratamientos.

Cuadro 18. Datos originales para el rendimiento del café.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₂	3548	3908	3778	3606	3710
T ₃	4066	3416	5359	2514	3839
T ₄	2744	4252	5186	3057	3810
T ₅	5316	4112	4324	4138	4472
T ₆	4094	3922	4913	2342	3818
T ₇	5574	3750	3146	3221	3923
T ₈	3584	3908	3153	5114	3940
T ₉	3807	2859	3757	2902	3331
T ₁₀	2586	1631	2931	2615	2440
T ₁₁	2449	1336	1530	3146	2115

Cuadro 19. Datos originales para la calidad física de café.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	74.0	73.0	74.0	75.0	74.0
T ₂	74.0	75.0	76.0	75.0	75.0
T ₃	74.0	75.0	73.0	74.0	74.0
T ₄	75.0	73.0	74.0	74.0	74.0
T ₅	81.0	80.0	79.0	80.0	80.0
T ₆	76.0	75.0	74.0	75.0	75.0
T ₇	77.0	76.0	78.0	77.0	77.0
T ₈	78.0	79.0	77.0	78.0	78.0
T ₉	76.0	75.0	77.0	76.0	76.0
T ₁₀	73.0	71.0	72.0	72.0	72.0
T ₁₁	71.0	72.0	71.0	70.0	71.0

Cuadro 20. Datos originales para la calidad de taza (puntos).

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	80.0	79.0	78.0	79.0	79
T ₂	80.0	80.0	81.0	79.0	80
T ₃	78.0	82.0	80.0	80.0	80
T ₄	79.0	81.0	80.0	80.0	80
T ₅	82.0	83.0	83.0	84.0	83
T ₆	82.0	80.0	81.0	81.0	81
T ₇	82.0	83.0	82.0	81.0	82
T ₈	83.0	82.0	81.0	82.0	82
T ₉	81.0	80.0	82.0	81.0	81
T ₁₀	78.0	79.0	80.0	79.0	79
T ₁₁	79.0	77.0	78.0	78.0	78

Cuadro 21. Datos de incidencia en hojas causadas por *Stilbum flavidum* C.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	12.0	11.1	11.5	12.3	11.7
T ₂	4.0	3.8	3.9	4.0	3.9
T ₃	2.0	2.0	0.0	3.0	1.8
T ₄	3.2	2.7	2.7	3.3	3.0
T ₅	1.0	0.0	0.6	0.8	0.6
T ₆	2.8	2.1	2.5	2.8	2.6
T ₇	2.3	1.4	0.0	2.2	1.5
T ₈	1.7	0.0	1.6	1.8	1.3
T ₉	7.0	5.0	6.0	6.0	6.0
T ₁₀	22.0	20.0	20.0	21.0	20.8
T ₁₁	25.0	24.0	23.0	25.0	24.3

Cuadro 22. Datos de incidencia en frutos causadas por *Stillbum flavidum* C.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	6.0	5.7	5.5	6.0	5.8
T ₂	4.0	3.7	3.5	4.0	3.8
T ₃	2.0	2.0	0.0	3.0	1.8
T ₄	3.0	2.7	2.7	3.0	2.9
T ₅	0.8	0.0	0.5	0.8	0.5
T ₆	2.6	2.1	2.5	2.7	2.5
T ₇	2.0	1.6	0.0	2.2	1.5
T ₈	1.8	0.0	1.6	1.8	1.3
T ₉	4.7	4.5	4.2	4.9	4.6
T ₁₀	7.4	7.1	6.0	7.7	7.1
T ₁₁	11.3	9.2	9.4	10.4	10.1

Cuadro 23. Datos originales de fósforo disponible (ppm).

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	10.22	15.49	2.88	16.62	11.30
T ₂	12.57	11.44	31.76	6.36	15.53
T ₃	13.61	11.07	29.13	13.70	16.88
T ₄	3.26	19.63	17.84	23.11	15.96
T ₅	7.78	9.09	24.80	31.29	18.24
T ₆	4.77	23.39	23.58	10.79	15.63
T ₇	19.63	24.80	10.79	35.25	22.62
T ₈	14.36	22.45	13.80	18.69	17.33
T ₉	31.58	16.15	18.31	13.80	19.96
T ₁₀	5.14	12.10	17.09	28.75	15.77
T ₁₁	11.16	7.49	5.33	22.92	11.73

Cuadro 24. Datos originales de silicio en el suelo.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	27.21	14.78	12.84	8.42	15.81
T ₂	31.08	14.73	12.69	5.95	16.11
T ₃	31.19	15.08	13.67	9.00	17.24
T ₄	57.98	20.59	13.08	15.82	26.87
T ₅	72.37	52.13	18.11	18.18	40.20
T ₆	71.08	24.17	14.53	14.82	31.15
T ₇	12.13	15.27	12.46	11.30	12.79
T ₈	23.71	21.23	10.30	18.22	18.36
T ₉	29.21	18.18	17.15	16.39	20.23
T ₁₀	21.96	12.21	11.25	6.20	12.90
T ₁₁	14.20	12.43	11.12	10.90	12.16

Cuadro 25. Datos originales de silicio en las hojas.

Tratamientos	Bloques				Promedio
	I	II	III	IV	
T ₁	468.31	336.35	520.68	772.33	524.42
T ₂	462.80	579.22	615.99	652.53	577.64
T ₃	234.38	435.24	813.43	577.98	515.26
T ₄	230.26	491.15	814.17	811.81	586.85
T ₅	235.09	1050.53	674.54	498.29	614.61
T ₆	393.30	600.96	886.94	392.10	568.33
T ₇	301.60	446.15	669.65	400.68	454.52
T ₈	327.21	464.75	577.82	481.19	462.74
T ₉	860.96	428.65	664.06	435.96	597.41
T ₁₀	327.21	465.64	323.48	630.02	436.59
T ₁₁	393.69	506.15	817.17	6.20	430.80

Cuadro 26. Análisis de suelo del campo experimental.

Parámetro	Análisis Inicial	Análisis Final	Método empleado
	Valor	Valor	
Análisis físico			
Arena (%)	38.0	37.2	Hidrómetro
Arcilla (%)	19	20.4	Hidrómetro
Limo (%)	43	42.4	Hidrómetro
Clase textural	Franco	Franco	Triangulo textural
Análisis químico			
pH (1:1) en agua	4.14	5.88	Potenciómetro
M.O. (%)	2.38	6.84	Walkey y Black
N -total (%)	0.11	0.33	% M.O x 0.05
P disponible (ppm)	6.36	8.22	Olsen modificado
K disponible (ppm)	434.31	477.79	Ácido sulfúrico
Ca cambiable (Cmol+)/kg)	12.17	18.34	EEA
Mg cambiable (Cmol+)/kg)	1.23	3.5	EEA
Al (Cmol+)/kg)	1.8	0.15	EEA
H (Cmol+)/kg)	0.3	0.05	EEA
ClCe (Cmol+)/kg)	15.5	22.04	Suma de cationes

Cuadro 27. Detalle de la cantidad de fuentes utilizadas en el experimento.

Trat.	Descripción	ppm SiA(*) (mg SiA/ Kg suelo)	SiO ₂ (g/planta)	Kg/Trat. (fuente)	g/planta (fuente)	Kg/ha (fuente)	Dilucion (%)	ml/planta
T ₁	Disp Cz Cascarilla de Az + NPK.	100	3.2	4.88	76	253	10	381.25
T ₂	Disp Cz Cascarilla de Az + NPK.	200	6.41	9.77	153	510	20	381.16
T ₃	Disp Cz Cascarilla de Az + NPK.	400	12.82	19.53	305	1017	50	305.16
T ₄	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	100	3.2	7.6	119	397	20	296.88
T ₅	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	200	6.41	15.19	237	790	30	395.78
T ₆	Escoria Siderúrgica – Si Ca + NPK	400	12.82	30.38	475	1583	60	395.78
T ₇	Silicato de Potasio + NPK	100	3.2	1.46	23	77	2	398.44
T ₈	Silicato de Potasio + NPK	200	6.41	2.92	46	153	4	398.44
T ₉	Silicato de Potasio + NPK	400	12.82	5.84	92	307	8	398.44
T ₁₀	Testigo con NPK			(120 - 60 - 180 Kg/ha)				
T ₁₁	Testigo sin fertilizante y sin silicio	0	0	0	0	0	0	0