

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

Determinación de diferencias en el manejo agronómico del café (*Coffea arabica* L.) en las zonas del Valle Occidental y Zona Norte, para el mejoramiento de las prácticas agrícolas y productivas

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de Pasantía para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

Estudiante:

Bach. Elizabeth del Carmen Ramírez Castro

Tutor

Esteban Arboleda Julio, M Sc.

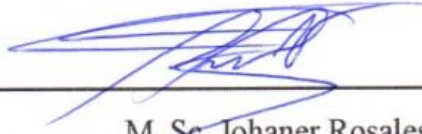
Asesor

Lic. Álvaro Esteban Rodríguez Cordero

Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica, 2023

Tribunal Examinador



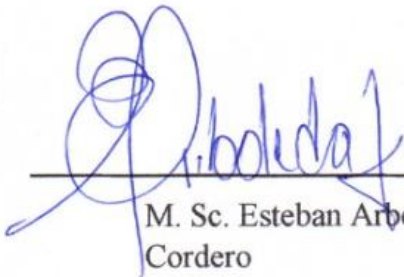
M. Sc. Johaner Rosales Flores

Representación del decanato de la Facultad de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar



M. Sc. Alonso Calvo Araya

Director de la Escuela de Ciencias Agrarias



M. Sc. Esteban Arboleda Julio
Cordero

Tutor



Lic. Álvaro Esteban Rodríguez

Asesor



Bach. Elizabeth del Carmen Ramirez Castro

Postulante

Índice

1	Introducción	7
2	Objetivos	10
2.1	Objetivo general	10
2.2	Objetivos específicos.....	10
3	Marco conceptual	11
3.1	Cultivo de café	11
3.1.1	Morfología y taxonomía.....	11
3.1.2	Etapas fenológicas.....	11
3.1.3	Condiciones climáticas.....	13
3.1.4	Plagas del cultivo de café	15
3.1.5	Enfermedades del cultivo de café.....	16
3.1.6	Fertilización.....	17
3.2	Zona Valle Occidental.....	18
3.2.1	Condiciones climáticas.....	18
3.2.2	Tipo de suelo	19
3.2.3	Productividad	20
3.3	Zona Norte.....	20
3.3.1	Condiciones climáticas.....	20
3.3.2	Tipos de suelo.....	21
3.3.3	Productividad	22
4	Metodología	23
4.1	Establecimiento de las líneas de referencia.....	23
4.2	Determinación de estrategias sociocultural y producción sostenible	24
4.3	Desarrollo del plan integral	24

5	Resultados	25
5.1	Caracterización de la zona de Valle Occidental.	25
5.2	Caracterización de Zona Norte.	28
5.3	Plan de manejo integral para Valle Occidental	37
5.4	Plan de manejo integral para Zona Norte	39
6	Conclusiones	44
7	Recomendaciones.....	45
8	Bibliografía.....	46
9	Anexos.....	56

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía y morfología del café.....	11
Tabla 2. Caracterización del Valle Occidental.....	26
Tabla 3. Caracterización de Zona Norte.....	29
Tabla 4. Plan de manejo integral para el Valle Occidental.....	37
Tabla 5. Plan de manejo integral para Zona Norte.....	39

Índice de figuras

Figura 1. Productividad del Valle Occidental de acuerdo con resultados de la caracterización.....	31
Figura 2. Productividad de Zona Norte de acuerdo con resultados de la caracterización.....	32
Figura 3. Porcentaje de junta para control de bronca en el Valle Occidental.....	33
Figura 4. Porcentaje de junta para control de bronca en Zona Norte.....	34
Figura 5. Número de aplicaciones de fertilizantes para el Valle Occidental.....	35
Figura 6. Número de aplicaciones de fertilizantes para Zona Norte.....	35
Figura 7. Número de aplicaciones de fungicidas para el Valle Occidental.....	36
Figura 8. Número de aplicaciones de fungicidas para Zona Norte.....	37

1 Introducción

El presente trabajo se realizó en el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), ésta es una institución pública de carácter no estatal, fundada en el año 1933 como entidad rectora de la caficultura costarricense. Esta institución se reglamenta bajo la Ley de la República de Costa Rica No. 2762, la cual tiene varios objetivos como promover un modelo de producción único y equitativo entre los productores, beneficios, tostadores y exportadores nacionales; apoyar la producción, proceso, exportación y comercialización del café costarricense; promover el consumo nacional e internacional de nuestro café; investigar y desarrollar tecnología agrícola industrial y aprobar un precio mínimo justo que debe pagar el beneficio de café al productor del mismo (ICAFE, n.d.).

El ICAFE posee seis oficinas regionales, encargadas de dar asistencia técnica a la mayoría de las zonas cafetaleras del país. Las regiones cafetaleras de Costa Rica comprenden la Región del Valle Central, Región del Valle Occidental, Región de Guanacaste, Región de Tres Ríos, Región de Turrialba, Región de Orosí, Región Brunca y Región de Tarrazú (ICAFE, n.d.-b.). La regional del Valle Occidental se encuentra en la provincia de Alajuela, en el cantón de Palmares, frente al Colegio Bilingüe de Palmares, en la segunda planta de las instalaciones del MAG (ICAFE, n.d.-a).

Esta regional se encarga de brindar atención y asistencia técnica a productores, beneficios, tostadores, torrefactores, entre otros. En la región del Valle Occidental realiza estas labores en los cantones de Sarchí, Grecia, Naranjo, Palmares y Atenas. En el caso de Zona Norte se encarga de los cantones de Esparza, Miramar, Monteverde, Tilarán, Hojancha, Abangares y Nandayure (ICAFE, n.d.-a).

Costa Rica es un país con cultura cafetalera, tanto en términos de producción y consumo. Según Geiler (2021) un 84% de los costarricenses consumen café. Se consumen al redor de 4,8 millones de tazas de café diarias. El café representa uno de los principales productos de exportación del sector agrícola costarricense y su comportamiento está estrechamente relacionado con las variaciones de las evaluaciones del dólar. Los precios internacionales de café siempre son variables. Para la cosecha 2019-2020 el precio de exportación del café nacional subió un 7,0% ya que paso de \$190,34 el saco de 46 kg a \$203,14 (Presidencia de la República de Costa Rica, 2020).

En Costa Rica hay aproximadamente 38 804 familias que se dedican a la producción del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) con un total de 93 697 hectáreas (ha) cultivadas, lo que representa un 1,8% del territorio nacional (Presidencia de la República, 2020). La producción promedio de este cultivo en Costa Rica para el periodo 2021-2022 fue de 18,7 fanegas por hectárea, sin embargo, existen

algunas fincas que utilizan variedades mejoradas de alto rendimiento, realizan un manejo integrado y utilizan buenas prácticas agrícolas, de esta manera pueden llegar a producir más de 30 fanegas por hectárea (Barquero, 2022).

El Valle Occidental es una zona con una alta concentración de productores, albergando actualmente a 5990 familias dedicadas a esta actividad. A pesar de su densidad de productores presenta una producción promedio de 15,1 fanegas por hectárea, un rendimiento relativamente bajo considerando la capacidad productiva del cultivo cuando se implementa un adecuado manejo. Sin embargo, se destaca por ofrecer buenos precios de liquidación, alcanzando los \$205.48 para la cosecha 2021-2022. Además, la zona muestra un rendimiento aceptable en el proceso de beneficiado, logrando un promedio de 44,9 kilogramos por fanega (ICAFE, 2022a)

La Zona Norte se distingue por ser diferente a la mencionada anteriormente, ya que el cultivo de café no es predominante en esta región, actualmente se encuentran 474 familias productoras de acuerdo con la base de datos de las nóminas de los beneficios registrados. En comparación con el Valle Occidental, esta zona presenta una producción más baja, con un promedio de 7,2 fanegas por hectárea. Además, su precio de liquidación también es menor con un valor de \$165.37 para la cosecha 2021-2022. Asimismo, su rendimiento en el proceso de beneficiado es inferior, con un promedio de 43,6 kilogramos por fanega (ICAFE, 2022b).

A pesar de la importancia histórica del cultivo de café en nuestro país, se ha observado una disminución en el área sembrada. Algunas de las razones por las cuales se da este problema son la pérdida de fertilidad de los suelos, los bajos precios internacionales, los altos costos de los insumos y el encarecimiento de la mano de obra derivado de la migración hacia otros países (Guerrero et al., 2020). Koutouleas et al. (2022), también menciona que la inestabilidad climática la cual provoca periodos recurrentes de sequía, altas temperaturas y temporadas imprevistas de lluvia, afecta negativamente el desarrollo de la planta, la floración, el cuajado del fruto y la producción de este cultivo.

Debido a la disminución en la producción que se ha venido presentando en el país y en las zonas cafetaleras del Valle Occidental y Zona Norte, así como la alta cantidad de productores presentes y la importancia de este cultivo para el consumo tanto nacional como internacional, esta pasantía busca determinar las diferencias en el manejo agronómico del café en las zonas Valle Occidental y Zona Norte con el fin de identificar las practicas agronómicas que se realizan actualmente en estas zonas y determinar las áreas que se requieran mejorar, para así poder establecer estrategias

de manejo que mejoren los sistemas productivos y aumenten la productividad, dentro del marco del programa de extensión del ICAFE.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Diferenciar el manejo agronómico de fincas productoras de café en las regiones Valle Occidental y Zona Norte pertenecientes al programa de extensión del Instituto del Café de Costa Rica, para el mejoramiento de las prácticas agrícolas y productivas

2.2 Objetivos específicos

- a. Establecer las líneas de referencia de los sistemas de producción en la región Valle Occidental y Zona Norte por medio de un diagnóstico para la caracterización de los sistemas.
- b. Determinar las acciones estratégicas sociocultural y producción sostenible para el manejo agronómico de las fincas de la región Valle Occidental y Zona Norte.
- c. Desarrollar un plan integral de los sistemas cafetaleros de la región Valle Occidental y Zona Norte para el manejo sostenible de las fincas.

3 Marco conceptual

3.1 Cultivo de café

3.1.1 Morfología y taxonomía

El café se clasifica taxonómica y morfológicamente de la siguiente manera:

Tabla 1. Taxonomía y morfología del café

Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Magnoliatae</i>
Orden	<i>Rubiales</i>
Familia	<i>Rubiaceae</i>
Genero	<i>Coffea</i>
Especie	<i>Arabica</i>

Fuente: (Navarro, 2022).

3.1.2 Etapas fenológicas

De acuerdo con Vignola et al. (2018), el ciclo fenológico del cultivo del café se divide en siete fases distintas, la fase 0 marca el inicio del ciclo, correspondiendo a la fase de germinación y almacigo, donde se da el desarrollo del embrión hasta llegar a convertirse en una plántula. La fase 1 corresponde a la fase de crecimiento vegetativo la cual se considera que inicia desde el momento del trasplante hasta la inducción y el desarrollo de las yemas florales. La fase 2 conocida como desarrollo y reposo de las yemas florales, implica la formación de los botones florales en las yemas.

La fase 3, conocida como floración, ocurre principalmente cuando se presentan las lluvias, generalmente la flor se abre de 8 a 10 días después de estas lluvias. Seguidamente se da la fase 4 o fase de llenado de frutos, durante el cual se produce el desarrollo del endospermo y la semilla, y el grano verde alcanza su máximo crecimiento. La fase 5 corresponde a la maduración, en la cual se utiliza el criterio empírico de la cereza para determinar el momento adecuado de la cosecha. Por

último, la fase 6, conocida como fase de reposo, ocurre después de la cosecha, en esta fase se realiza la poda para las plantas que así lo requieran (Vignola et al., 2018).

En los últimos años se han desarrollado estudios en donde se demuestra que el comportamiento y las fases fenológicas del café pueden llegar a depender de factores ambientales y de manejo. Por ejemplo, la inducción floral o floración se puede llegar a acelerar debido al déficit de presión de vapor y las altas temperaturas, así como se puede reducir el llenado de frutos debido a los mismos factores, afectando de esta forma la calidad y rendimiento de las plantas y generando pérdidas económicas (Parada-Molina et al., 2025).

Por otro lado, también se ha comprobado que la floración se puede planificar o sincronizar de acuerdo con la disponibilidad hídrica y el manejo del riego, un estudio realizado por Pezzopane et al. (2021), demostró que los sistemas irrigados del Cerrado brasileño permitieron homogenizar la floración y acortar la fase de maduración, de esta forma no solo se mejoró la uniformidad de la cosecha, sino que también facilitó muchas labores reduciendo gastos económicos por mano de obra.

Según Reis et al. (2022), debe de haber una sincronía en cuanto al momento de recolección de las hojas del café y la fase fenológica de la planta, si se desea garantizar una adecuada interpretación del análisis nutricional. Lo anterior debido a que algunos micronutrientes como el zinc y el hierro alcanzan picos en la fase de desarrollo floral. Por otro lado, en el caso de los macronutrientes como el nitrógeno y el potasio, se ha evidenciado que son absorbidos en mayor cantidad durante la fase de llenado de fruto. De esta forma la nutrición juega un papel fundamental en las fases fenológicas del café.

Para el cultivo de café uno de los factores externos más importantes es la lluvia, las precipitaciones son importantes en muchas de las fases del café. En una de las fases que más influye es en la floración. Estudios recientes muestran la necesidad de precipitaciones después un periodo seco para una floración uniforme, sin estos estímulos esta fase puede retardarse o ser más heterogénea (Santos et al., 2021). De acuerdo con Silva et al. (2024), un adecuado manejo de la sombra en el café, así como la fertilización han demostrado modificar la transición de fases. El uso de sistemas agroforestales y una adecuada fertilización con base en los que requerimientos nutricionales de la planta, disminuyen el estrés, favorecen floraciones más uniformes y se mejora el llenado de fruto. Dando como resultado una mejor calidad de grano.

3.1.3 Condiciones climáticas

El cultivo del café, al igual que otros cultivos, requiere de condiciones climáticas óptimas para su desarrollo y producción. Por ejemplo, se considera que la altitud idónea para el cultivo de café se sitúa entre los 500 y los 1800 metros sobre el nivel del mar. En cuanto a la precipitación, se considera importante que se encuentre dentro de un rango adecuado, no menor a 1000 mm ni mayor a 3000 mm, ya que valores fuera de este rango pueden llegar a afectar el crecimiento de la planta, así como la calidad de la taza. Por otro lado, la temperatura ideal para el café se encuentra entre los 17 a 23 °C (Centro de Investigaciones en Café [CICAFE], 2020).

Recientes estudios han demostrado que la altitud sigue siendo uno de los factores más asociados a la calidad. Ahmed et al. (2021) encontró que un aumento en la altitud se correlaciona con mejores atributos sensoriales para el café, mientras que la alta exposición a la luz, es decir poca sombra tiende a disminuir estos atributos. Sin embargo, la altitud por sí sola no es suficiente para lograr mejores perfiles sensoriales y acidez, otros estudios demuestran que para lograr una buena calidad se debe de tener un buen manejo en conjunto de la sombra, la genética de la variedad y las prácticas de fertilización. De este modo existen actualmente fincas las cuales se localizan en altitudes similares, pero con manejos y diseños agroforestales distintos, lo que resulta en distintas calidades de café (Torrez et al., 2023; Morales Peña et al., 2024).

En Costa Rica se han creado varias estrategias para seguir produciendo café con alta calidad en las zonas de menor altitud sin bajar los rendimientos. Una de las estrategias es la creación de nuevas variedades tolerantes a estrés hídricos adaptados a este tipo de clima. Un estudio reciente elaborado por Kahsay et al. (2023) indicó que variedades híbridas en nuestro país obtuvieron entre un 29% y 61% más producción en comparación con variedades tradicionales. Lo que sugiere que los rangos de altitudes óptimos para café pueden llegar a variar mediante selección genética, sin perder el rendimiento.

El café posee rangos generales de precipitaciones para un buen desarrollo de la planta, estos rangos son útiles como referencia la hora del establecimiento de un cafetal. Estudios más recientes demuestran que la distribución estacional de las lluvias, así como los periodos de transición de verano a invierno son tan importantes como el total anual de lluvias. Las lluvias mal distribuidas (periodos muy intensos de lluvias seguidos de periodos muy intensos de sequías) provocan problemas como erosión, pérdida de suelo fértil y ataque de enfermedades. En el caso de la floración y el llenado de frutos, cuando hay déficit hídrico se ven sumamente afectados, no obstante, cuando hay lluvias

moderadas y bien distribuidas hay floraciones homogéneas y un llenado de fruto más parejo, lo que favorece la calidad (Ahmed et al., 2021; Quesada-Román et al., 2022).

La temperatura es otro factor importante en el desarrollo de las plantas del café, un estudio realizado en Mt. Kilimanjaro, Tanzania demostró que temperaturas promedio entre 18-21 °C permitieron un buen desarrollo de las plantas, sin embargo, cuando la temperatura se elevaba y se salía de ese rango se producían pérdidas de rendimiento. Otro estudio realizado en Brasil evidencia que cuando se tienen altas altitudes acompañadas de temperaturas medias bajas, se producen perfiles de taza con una mayor complejidad aromática, como resultado de una maduración más lenta (Wagner et al., 2021; Jesús Junior et al., 2022).

Cuando la temperatura se encuentra en su rango óptimo se favorece la acumulación de metabolitos secundarios los cuales son los responsables de la acidez y el aroma; en el momento en que las temperaturas sobrepasan el mínimo o el máximo del rango óptimo diariamente se producen problemas como aceleración de la maduración, se reduce la densidad del grano y se empobrece el perfil sensorial (Ahmed et al., 2021; Torrez et al., 2023). En Costa Rica la temperatura está correlacionada con la altitud y la sombra, los picos de altas temperaturas se pueden prevenir con un buen establecimiento de sombra, además la sombra ayuda a mantener temperaturas nocturnas más bajas, lo que favorece una maduración más lenta (Morales Peña et al., 2024).

En el caso de la humedad relativa, no existe un rango o dato específico considerado como óptimo. Sin embargo, se ha establecido que promedios mensuales de humedad relativa superiores al 85% crean ambientes ideales para el ataque de enfermedades fúngicas. Otro aspecto importante que considerar es el factor viento, ya que cuando son muy fuertes pueden provocar desecación y daño mecánico del tejido vegetal, además de favorecer la aparición de enfermedades como efecto secundario (CICAPE, 2020).

Estudios en Tanzania demuestran que cuando la humedad relativa supera el 80-85% mensual durante periodos prolongados en conjunto con lluvias frecuentes y baja evaporación, se da un mayor ataque de enfermedades fúngicas como la roya (*Hemileia vastatrix*), productores de la zona de Kilimanjaro reportan que cuando estas condiciones se dan, sufren pérdidas por pudrición, flores abortadas o caída de frutos (Wagner et al., 2021). Cuando se tienen microclimas y los sistemas agroforestales se encuentran bien diseñados se mejora la ventilación y se reduce la permanencia de humedad en la hoja, disminuyendo la probabilidad del ataque de enfermedades (Gagliardi et al., 2023; World Coffee Research, 2023).

Algunos estudios mencionan la importancia de la creación de barreras cortavientos y un buen diseño del sistema de sombra dependiendo de la zona geográfica en donde se encuentre la finca. De esta forma se pueden reducir el impacto negativo que generan fuertes corrientes de viento como incremento de la evapotranspiración, daño mecánico en ramas y frutos, erosión del suelo y dispersión de esporas de enfermedades. En síntesis, para establecer una buena plantación de café no solo depende de factores como altitud, precipitación, temperatura y humedad, sino de la interacción entre estos factores, la variedad y prácticas de manejo como la sombra, la fertilización y barreras cortavientos (Quesada-Román et al., 2022; Torrez et al., 2023).

3.1.4 Plagas del cultivo de café

La principal plaga a nivel mundial del café es la broca (*Hypothenemus hampei*). Es originaria de África y pertenece a la familia Curculionidae. La hembra adulta perfora el fruto y deposita los huevos dentro del endospermo, lo que dificulta su control una vez ingresada al fruto (Johnson, 2020). La broca provoca daños tanto en calidad como en cantidad, se disminuyen los rendimientos económicos de los productores debido a que las larvas se alimentan del fruto lo que reduce el peso seco del grano y aumenta la cantidad de café no exportable. Por otro lado, estudios recientes demuestran que el ataque de la broca genera alteraciones en la composición química del grano afectando la calidad de la taza, en cuanto al aroma, sabor y acidez (Wagner et al., 2021).

El joboto (*Phyllophaga* spp.) es un organismo fitófago subterráneo, lo anterior quiere decir que la larva se alimenta de raíces y materia orgánica en el horizonte superficial del suelo. De esta forma se reduce la capacidad de absorción de agua y nutrientes en el sistema radicular. Cuando las plantas son afectadas por ataques de esta plaga se presentan síntomas como pérdida del vigor vegetativo, pérdida de raíz, menor brotación, marchitez y clorosis. En el caso de ataques en plántulas de vivero o nuevas siembras en campo se puede llegar a presentar altas mortalidades (Amizhthini et al., 2024).

De acuerdo con Guzmán-Franco et al. (2024) el ciclo del joboto puede llegar a variar por región y especie, usualmente cuando se detectan ataques de esta plaga se detectan de manera tardía debido al ciclo biológico de la plaga. Las hembras son las que depositan los huevos en el suelo, en donde las larvas se desarrollan y permanecen en el mismo lugar durante varias temporadas, de esta manera se explica porque los ataques de esta plaga se dan en parches espaciales o áreas focalizadas.

Los nematodos que más afectan el café son los del género *Meloidogyne* y *Pratylenchus*, ambos poseen diferencias en su modo de acción, en el caso de *Meloidogyne* su accionar es mediante la formación de agallas en las raíces en donde se establece y se torna sedentario. Mientras que *Pratylenchus* es migratorio, generando lesiones y necrosis en las raíces finas y ramificadas, en ambos casos se provoca una disminución de la absorción de agua y nutrientes. Se pueden generar pérdidas económicas principalmente es vivero o plantaciones jóvenes, debido a que el ataque de esta plaga puede provocar altas mortalidades o retrasos en el establecimiento de las plantaciones (Nguyen et al., 2024; Abarca-Durán et al., 2022).

La arañita roja (*Oligonychus yothersi*) es considerada una plaga de importancia secundaria sin embargo recientes estudios han evidenciado que puede llegar a afectar el crecimiento de la planta de café bajo condiciones especiales. Según Rojas-Barrantes et al. (2020) en el año 2017 se dio un ataque severo de esta plaga debido a la caída de ceniza volcánica, las plantas presentaron retraso en el crecimiento, así como una disminución del área fotosintética, problemas presentados principalmente plantaciones jóvenes. En el reporte se contabilizó alrededor de 4 155 ha afectadas entre 1200 m de altitud entre los cantones de Poás y Naranjo.

El picudo (*Exolphtalmus jekeleanus*, *Pantomorus* sp. y *Macrostylus nebulosus*), el minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*), las cochinillas áreas (*Planococcus citri*, *Maconellicoccus hirsutus*), de tallo principal (*Dysmicoccus* spp, *Pseudococcus* spp, *Ferrisia* spp) y de raíz (*Geococcus coffeae* y *Rhizoecus coffeae*) son otras plagas relacionadas al cultivo de café las cuales afectan en menor proporción y en ocasiones o zonas un poco específicas (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), 2019).

3.1.5 Enfermedades del cultivo de café

La roya (*Hemileia vastatrix*) ha sido considerada como la principal enfermedad asociada al cultivo de café, principalmente a partir del año 2012. Se puede identificar como manchas cloróticas en el haz y pústulas anaranjadas en el envés de la hoja, las cuales son diseminadas por viento, lluvia y salpicaduras. Causan daños como defoliación parcial o total en el café, debilitamiento de las plantas, disminución de la capacidad fotosintética, disminución de la calidad al afectar la acumulación de azúcares y reducción del rendimiento de las cosechas futuras (Aristizábal, 2024; Ferrucho, 2024). Un estudio realizado por Castillo et al. (2020) menciona que las pérdidas productivas pueden llegar a alcanzar entre un 25% y un 50% dependiendo del manejo agronómico y la variedad utilizada.

Las variaciones climáticas y la variedad del cultivo se encuentran estrechamente relacionadas con el desarrollo y la severidad de esta enfermedad, el aumento de la temperatura y la irregularidad de las lluvias han permitido que la enfermedad se desarrolle en zonas en las cuales anteriormente se pensaba imposible la aparición de la enfermedad. También se ha estudiado como dichas variaciones climáticas han provocado la aparición de nuevas razas del patógeno, llegando a afectar a variedades creadas genéticamente para ser tolerantes a la enfermedad (Koutouleas et al., 2023).

La antracnosis en el café es causada por diversas especies del género *Colletotrichum* que infectan tallos, frutos y hojas en las distintas etapas fenológicas del café, esta enfermedad se puede diseminar por rocío, salpicadura de lluvia y vectores mecánicos (Alhudaib et al., 2023; Lu et al., 2025). Cuando se dan afectaciones en frutos jóvenes y verdes causa pudrición, caída del fruto y malformación del grano, lo que al final se traduce en baja productividad, bajo rendimiento y pérdidas económicas. Por otro lado, cuando se infectan las hojas se reduce el área foliar e induce a la defoliación. De esta manera se afecta la calidad de la taza ya que la planta se ve obligada a disminuir la acumulación de azúcares para destinar los nutrientes a producir nuevo follaje (Negasso et al., 2025).

La chasparria (*Cercospora coffeicola*) también conocida como mancha de hierro es una enfermedad que afecta las hojas y el fruto del café, en hojas se observa como pequeñas lesiones con un centro grisáceo y un halo amarillo-pardo causando reducción del área foliar, en frutos se observa como lesiones angulosas o cóncavas que se vuelven oscuras cuando avanzan, provocando deformación y pudrición. Esta enfermedad reduce el rendimiento del cultivo y en el beneficiado los lotes se ven contaminados (Granados-Montero et al., 2020).

Además, existen otras enfermedades las cuales se presentan en menor proporción en el cultivo como el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), la llaga macana (*Ceratocystis fimbriata*), la rosellinia (*Dematophora necatrix*), el derrite (*Phoma costarricensis*) y el mal de hilachas (*Pellicularia* sp.) (Piloza et al., 2022; E. Rojas & Ramírez, n.d.).

3.1.6 Fertilización

En el café los planes de fertilización se realizan de acuerdo con la edad o etapa fenológica en la que se encuentre la planta, por ejemplo, durante el establecimiento del cultivo o primer año se requiere por hectárea un mínimo de 150 kg de nitrógeno (N), 100 kg de fósforo (P_2O_5), 50 kg de potasio (K_2O) y 18 kg de magnesio (MgO). Lo anterior asumiendo una densidad de siembra de 5000 plantas por hectárea. Es importante mencionar que la fertilización se debe de fraccionar para proporcionársela a

la planta, en el caso del primer año se recomienda fraccionar la fertilización en cinco aplicaciones (CICAFE, 2020).

Durante el desarrollo o segundo año de la planta se recomienda la realización de un análisis de suelo para así adaptar la mejor fórmula que se encuentre en el mercado o bien en caso de contar con los medios poder realizar una fórmula a la medida. En este caso se recomiendan al año no menos de 200 kg de N, 35 kg de P_2O_5 , 120 kg de K_2O , 45 kg de MgO y 1.5 kg de Boro (B). Se recomienda fraccionar las aplicaciones a dos antes y dos después de la canícula (periodo caliente y seco en medio de las lluvias) (Jara, 2022).

Finalmente, para el café en producción las recomendaciones de fertilización se realizan en función a la producción esperada y el análisis de suelo. Se recomienda fraccionar la fertilización en tres aplicaciones al año. Es importante mencionar que la fórmula que se vaya a utilizar no debe de contener menos de un 3% de P_2O_5 , 4% de MgO, entre un 10 y 15% de K_2O , 15% de N y 0.20% de B. En el caso de un cafetal podado se debe de utilizar la recomendación para una cosecha de 20 Fa/ha (Navarro, 2022).

3.2 Zona Valle Occidental

3.2.1 Condiciones climáticas

La zona conocida como Valle Occidental está conformada por seis cantones de la provincia de Alajuela, de acuerdo con la regionalización delimitada por el ICAFE estos cantones son Sarchí, Grecia, Naranjo, Palmares, Atenas y San Ramón. Históricamente esta zona ha experimentado un progresado significativo gracias al cultivo del café, debido a que se ha convertido en una de las principales actividades agrarias, sus primeros pobladores introdujeron este cultivo desde el Valle Central (Café de Costa Rica, n.d -b).

Aunque en esta zona también se presenta una estación seca (diciembre - abril) y una estación lluviosa (mayo - noviembre) bien marcadas, tiene la particularidad de poseer microclimas. Los microclimas son condiciones climáticas que se presentan a escalas más pequeñas, en otras palabras, se dan en pequeñas regiones o lugares, estas características hacen que dichas regiones se diferencien al ambiente general en el que se encuentran (Espinoza, 2021). La temperatura promedio que predomina esta zona es de 22 °C (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], n.d -b).

Aunque esta zona se beneficia de los microclimas, es necesario utilizar sombra, especialmente en las zonas de menor altitud. El cambio climático ha provocado que las temperaturas aumenten considerablemente, especialmente en época seca por lo que la implementación de sombra se ha convertido en una práctica esencial para garantizar un adecuado desarrollo de este cultivo. En esta zona el 75% de las plantaciones son bosques cafetaleros los cuales permiten una limpieza de carbono (CO₂) de 5 000 000 toneladas por hectárea al año. Las especies que se utilizan comúnmente son las guabas (*Inga edulis*), poró (*Erythrina poeppigiana*), plátanos o bananos (*Musa spp.*) y Árboles frutales (Café de Costa Rica, n.d.-b; Garza et al., 2020; Instituto del Café de Costa Rica [ICAFE], n.d.-c).

La altitud en esta zona varía considerablemente según el cantón. En Palmares, se cultiva café a alturas que oscilan entre los 900 y los 1400 msnm, Naranjo presenta alturas de los 800 a los 1700 msnm, San Ramón de los 900 a los 1450 msnm, Sarchí de los 850 a los 1550 msnm, en el caso de Grecia va de los 750 a los 1500 msnm, finalmente Atenas presenta alturas de los 700 a los 1350 msnm (ICAFE, n.d.-c; Rojas, 2022). Por otro lado, la precipitación promedio para esta zona es de 2300 mm (Instituto Nacional de Aprendizaje [INA], n.d.).

En los últimos años la zona de Valle Occidental se ha conocido por producir café de especialidad, cada vez más productores se involucran en este proceso debido al alto valor agregado que generan en sus productos. Usualmente los productores se adaptan a las exigencias y especificaciones de los compradores o comercializadores (Pérez & Montiel, 2021). En cuanto a características organolépticas el café de esta zona posee buena acidez, aroma y cuerpo, además para el 2021 obtuvo un 88.14 como promedio de taza de excelencia de ACE (Alliance For Coffee Excellence; K. Rojas, 2022).

3.2.2 Tipo de suelo

Los andisoles también llamados andosoles son el tipo de suelo que predomina en la zona de Valle Occidental, estos suelos son de origen volcánico y se caracterizan por poseer una coloración oscura. Tienen altos contenidos de materia orgánica y se forman a partir de cenizas y otros materiales volcánicos como piedra pómez y lava. Usualmente se encuentran en áreas de influencia volcánica, en regiones subhúmedas y húmedas presentan buena acumulación de humus (Elizondo, 2015a; Sánchez & Rubiano, 2015).

Una característica de estos suelos en su mineralogía es que se pueden encontrar minerales de poco ordenamiento cristalino o amorfos como la imogolita y las alófanas, además, son suelos de rápida

meteorización los cuales forman mezclas amorfas de aluminio y silicato. Naturalmente se consideran suelos con alta fertilidad, lo que conlleva a una alta productividad, sin embargo, poseen estructura débil o moderada con texturas medias (franco arenosa, franco o franco limosa). Otra característica es que tienen buen drenaje y en algunos casos es moderadamente excesivo (Mehl, 2020).

3.2.3 Productividad

A pesar de que el Valle Occidental ha experimentado una considerable pérdida de áreas destinadas al cultivo de café debido a la urbanización, sigue siendo reconocido como una región destacada por la calidad de café producida, productos diferenciados y micro beneficios, entre otros. Actualmente se encuentran 5 990 familias productoras de café, en esta zona predomina el pequeño productor. Para la cosecha del 2022-2023 se produjeron 371 913 fanegas, en comparación con la cosecha anterior se obtuvo un aumento del 12.23%. A pesar de ser una zona potencialmente productiva su promedio de fanegas por hectárea es de 15.1, un promedio realmente bajo considerando el potencial del cultivo con un manejo adecuado (ICAFE, 2022a).

3.3 Zona Norte

3.3.1 Condiciones climáticas

La región de Zona Norte se compone de pequeñas zonas las cuales se encuentran distribuidas entre las provincias de Guanacaste y Puntarenas. Estas áreas cafetaleras se encuentran ubicadas en las zonas montañosas con temperaturas frescas de las cordilleras Volcánica Central y Guanacaste. Los cantones donde se da la explotación de este cultivo de acuerdo con una regionalización delimitada por el ICAFE son Esparza, Miramar, Monteverde, Tilarán, Hojancha, Abangares y Nandayure (Café de Costa Rica, n.d -a.).

Esta zona se caracteriza por poseer dos estaciones climáticas bien definidas, la época seca va de los meses de diciembre a abril mientras que la época lluviosa tiene lugar en los meses de mayo a noviembre. Esta zona es caracterizada por ser de altas temperaturas especialmente en el verano donde pueden llegar a alcanzar temperaturas superiores a los 30 °C, sin embargo, en las zonas cafetaleras la temperatura promedio es de 26 °C (Solano & Villalobos, n.d.).

Debido a estas condiciones climáticas es una zona en donde las plantas de café se encuentran estresadas por las altas temperaturas por lo que se da mucho la utilización de la sombra, aproximadamente un 85% de las plantaciones presentes utilizan sombra boscosa regulada con árboles

como Erythrinas o Poró, algunas Musáceas, Ingas o Guabas, especies frutales y algunas maderables exóticas. A estos sistemas productivos se les conoce como “Caficultura sostenible” (Café de Costa Rica, n.d -a.).

La precipitación y la altura son factores importantes para el buen desarrollo del cultivo, para esta zona la precipitación puede variar mucho especialmente cuando se dan los fenómenos del Niño y la Niña, generalmente está va de los 1500 mm a los 2500 mm, con un promedio anual de 2100 mm (IMN, n.d.; Solano & Villalobos, n.d.). Por otro lado, la altura donde se desarrolla esta actividad va de los 600 a los 1300 msnm (Café de Costa Rica, n. d -a.).

3.3.2 Tipos de suelo

En esta zona podemos encontrar distintos tipos de suelo, los andisoles son de origen volcánico con buena fertilidad y son aptos tanto para cultivos anuales como perennes. Generalmente poseen alto contenido de materia orgánica, poseen texturas medias (franco arenosa, franco o franco limosa), también poseen buen drenaje y en algunos casos puede llegar a ser excesivo. Debido a todas estas propiedades fisicoquímicas se recomiendan prácticas de manejo y conservación de suelos para evitar la erosión y compactación de dichos suelos (Elizondo, 2015a)

Otro tipo de suelo que podemos encontrar son los inceptisoles los cuales se forman a partir de procesos de meteorización de sedimentos aluviales y coluviales. Son considerados suelos recientes con pH ácido, con contenidos de arcillas amorfas como las alófanas, también presentan alto contenido de materia orgánica, por otro lado, presentan diferenciación de horizontes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato. Son aptos para el desarrollo de gran cantidad de cultivos entre ellos el café (Elizondo, 2015b).

Los suelos de tipo ultisoles son uno de los suelos más viejos que se pueden encontrar en el país, es decir que se encuentran muy meteorizados y son de coloraciones pardo-rojizas o rojizas. Generalmente son de baja fertilidad, además son comúnmente utilizados para el desarrollo de la ganadería lo que provoca mucha erosión por la alta carga animal. Son suelos considerados como ácidos debido al alto contenido de aluminio y los bajos contenidos de bases como el calcio, adicionalmente son suelos profundos con horizontes no muy bien definidos debido a una transición difusa entre ellos (Elizondo, 2015c).

3.3.3 Productividad

El café no es uno de los cultivos predominantes de esta zona, actualmente existen 474 familias productoras de café con base en la nómina que presentan las firmas de beneficiadoras anualmente, es una de las regiones cafetaleras con menos productores de café. De acuerdo con la segunda estimación de cosecha realizada por el ICAFE esta zona produjo 17 009 fanegas, tuvo un aumento del 20.91% con respecto a la cosecha del año pasado. A pesar de este aumento productivo, esta zona produce en promedio 7 fanegas por hectárea el cual es un promedio bajo tomando en cuenta que este cultivo puede llegar a producir más de 50 fanegas por hectárea (ICAFE, 2022b).

4 Metodología

4.1 Establecimiento de las líneas de referencia

Para el establecimiento de las líneas de referencia se organizó una reunión con los ingenieros del ICAFE encargados tanto de Zona Norte como del Valle Occidental, con el fin de definir los criterios tanto estructurales y funcionales para la determinación de las fincas a las que se le realizaron los estudios de los sistemas representativos de las zonas. Dentro de los criterios estructurales se encuentran todos aquellos relacionados con el tipo, número y arreglo de sus componentes: medio explotado, fuerza de trabajo e instrumentos de producción; algunos ejemplos son el tamaño de la finca, la mano de obra familiar y la mano de obra contratada. Por otro lado, dentro de los criterios funcionales se da la combinación de estos componentes mediante la influencia de factores internos y externos; algunos ejemplos son las actividades productivas, el destino de la producción, el nivel de intensificación tecnológica, entre otros (Arboleda, 2022, Curso Convivencia comunitaria y análisis de sistemas agrícolas).

Una vez definidos los criterios descritos anteriormente se elaboró una encuesta por medio de la aplicación KoboToolbox, esta aplicación permite la recopilación y almacenamiento de datos, además de detallar la ubicación de las fincas de estudio, se puede utilizar en línea con una computadora o teléfono celular con internet. Así mismo en caso de no tener internet debido a la lejanía de las fincas también permite la posibilidad de imprimirla y realizarla de forma manual para luego ingresar los datos una vez que se cuente con señal de internet (Pachar, 2023). La encuesta se dividió en tres partes, aspectos socioculturales, información productiva (del punto de vista estructural y funcional) y prácticas de manejo sostenible.

Antes de realizar la aplicación de la encuesta primero se validó, para ello se eligió una finca al azar a la cual se le aplicó el instrumento con el fin de analizar si se encontraba completa o identificar algunos puntos de mejora. Una vez finalizado este proceso se aplicó la encuesta a las fincas seleccionadas tanto del Valle Occidental como de Zona Norte, el total de encuestas realizadas fue a conveniencia de la institución. Seguidamente se tabularon los datos para su posterior análisis el cual se realizó en conjunto con los ingenieros del ICAFE, por medio de un taller previamente establecido en el cual se discutieron los resultados obtenidos.

4.2 Determinación de estrategias sociocultural y producción sostenible

Se realizó un taller con los ingenieros del ICAFE bajo la metodología de los grupos enfocados y la lluvia de ideas, con el fin de definir las acciones más adecuadas para el establecimiento de las estrategias sociocultural y producción sostenible para cada una de las zonas de estudio. Los grupos enfocados tienen como objetivo organizar a las personas con intereses comunes para desarrollar un tema específico, mientras que la lluvia de ideas se concentra en la obtención de información la cual sea pertinente y de una forma rápida, por medio de grupos reducidos, donde los participantes se encuentren involucrados con el tema estudiado. Se busca recolectar todas las ideas y percepciones de los participantes (Geilfus, 2009).

Después de definir dichas estrategias se realizó un taller expositivo con los productores que participaron en el estudio, lo anterior con el fin de compartir los resultados con ellos y de esta forma validar que las acciones establecidas sean adecuadas para los problemas o necesidades de cada zona.

4.3 Desarrollo del plan integral

Con toda la información recolectada y analizada anteriormente se realizó un plan integral el cual es diferente para cada zona con el fin de que se ajuste de la mejor manera a las distintas necesidades de las zonas estudiadas. Los planes incluyen aspectos como buenas prácticas agrícolas, conservación de suelos, adecuado manejo de envases de agroquímicos, prácticas culturales, entre otros. Se realizó un taller mediante la metodología de grupos focales explicada anteriormente, con los ingenieros del ICAFE donde se explicó el plan integral por zona desarrollado anteriormente.

Finalmente se entregó la caracterización de los sistemas productivos, así como los planes integrales al ICAFE para su posterior divulgación de forma digital, con esta última actividad se pretendió dar a conocer las principales limitaciones y retos de cada zona, así como algunas recomendaciones para abordar o solucionar estos problemas.

5 Resultados

5.1 Caracterización de la zona de Valle Occidental.

Como resultado del levantamiento de la información se realizaron un total de 60 encuestas a productores, de las cuales 19 corresponden a Zona Norte con 31,7% del total de encuestados y las restantes 41 pertenecen al Valle Occidental, el restante 68,3%. El total de encuestas para cada zona es proporcional a la cantidad de productores existentes en cada zona.

En la caracterización del Valle Occidental se identificaron tres grupos de productores, clasificados de acuerdo con su nivel de productividad. El grupo 1 corresponde a productores con bajos rendimientos (0-20 fanegas por hectárea), este grupo representa el 32% del total de participantes en este estudio. El 92% del grupo 1 realiza muestreo de suelos, mientras que el 8% no lleva a cabo esta práctica. No obstante, del total de productores que, si realizan muestreo de suelos, únicamente el 85% aplica enmiendas (carbonato de calcio o cal dolomita). En relación con la frecuencia de aplicación de dichas enmiendas, el 64% las aplica cada 2 años, el 9% cada 3 años y el 27% cada 4 años o más.

El rango de aplicaciones de fertilizantes que realiza el grupo 1 va de 2-4 por ciclo productivo, siendo 3 aplicaciones la práctica dominante (46%), también es importante mencionar que estos productores utilizan en promedio 5 (39%) y 7 (38%) sacos de fertilizante por hectárea. Asimismo, el 85% de productores incorpora una fórmula nitrogenada como última aplicación. En relación con el manejo fitosanitario, la frecuencia de aplicaciones de fungicidas va de 2 a 4 por año, con predominio de 3 aplicaciones (61%). No obstante, en este grupo menos de la mitad de los productores (46%) realiza calibración de equipo.

En relación con el manejo de plagas, únicamente un 23% del grupo 1 realiza monitoreo y un 46% realiza junta para el manejo de broca. Por otro lado, un 46% del grupo 1 aplica insecticidas, de los cuales un 43% es para la broca y un 67% es para el joboto, esta última aplicación usualmente se realiza durante la siembra. Finalmente, un 54% del grupo 1 ejecuta manejo químico de arvenses, principalmente para épocas de la cosecha.

Los productores del grupo 2 presentan una productividad media (20,1 - 40 fanegas por hectárea), en este grupo se encuentran la mayor cantidad de productores con un 49%. En este caso el 100% de los productores realiza muestreo de suelos, y de ellos, un 90% aplica enmiendas (carbonato de calcio, cal dolomita, surco mejorador o triple cal). En cuanto a la frecuencia de aplicación la mayor cantidad

de productores realizan aplicaciones cada 2 años (83%), un 11% realiza aplicaciones cada 3 años y apenas un 6% realiza aplicaciones cada 4 años.

Por otro lado, el rango de aplicaciones de fertilizantes es de 3-4, de igual forma que el grupo anterior la mayoría de los productores realizan 3 aplicaciones (70%), la cantidad de sacos más utilizada por hectárea es de 6 (30%) y 8 (30%), en este grupo un 80% de los productores utilizan formula nitrogenada. El rango de aplicaciones de fungicidas por hectárea va de 2-5, predominando 3 aplicaciones (35%) por ciclo productivo. En este grupo un 55% de los productores realizan calibración de equipo.

Con respecto al manejo de plagas, un 25% de los productores realizan monitoreo y un 45% realiza junta para el control de la broca. Por otro lado, en este grupo de productores un 35% de ellos realizan aplicaciones de insecticidas, de las cuales un 17% se destina al control de broca, un 65% es para el joboto y un 18% es para nematodos, siendo estas últimas dos aplicaciones más frecuentes en la etapa de siembra. Finalmente, un 90% de los productores realiza control químico de arvenses.

El grupo 3 abarca los productores que producen más de 40 fanegas por hectárea, a este grupo solo pertenece un 19% de los productores. La totalidad de estos productores realiza muestreo de suelos y aplicaciones de enmiendas (carbonato de calcio, cal dolomita y triple cal). En cuanto a la frecuencia de aplicación, el 87,5% realiza estas aplicaciones cada 2 años y el restante 12,5% la realizan cada 3 años. El rango de aplicaciones de fertilizantes va de 3 – 5, sin embargo 3 aplicaciones es la cantidad más utilizada (62,5%), además la mayoría de los productores utiliza 9 sacos de fertilizante por hectárea por aplicación y un 87,5% de los productores emplea formula nitrogenada como ultima aplicación. Asimismo, un 50% de los productores realiza calibración de equipo.

En referente al manejo de plagas, el 62,5% de los productores realiza monitoreo y un 87,5% realiza junta para el control de broca. Por otro lado, únicamente un 25% efectúa aplicaciones de insecticidas, las cuales se dirigen en su totalidad para el joboto en la etapa de siembra. Finalmente, solo un 25% de los productores recurren al manejo químico de arvenses.

Tabla 2. Caracterización del Valle Occidental.

	Grupo de productor		
	1	2	3
Productividad	0 - 20 fan/ha	20,1 - 40 fan/ha	> 40,1 fan/ha

	32%	49%	19%
Muestreo de suelos	Si / No	Si	Si
	92% / 8%	100%	100%
Aplicaciones de enmiendas	Si / No	Si / No	Si
	85% / 15%	90% / 10%	100%
Frecuencia de aplicación de enmienda	1 vez cada 2 años / 1 vez cada 3 años / 1 vez cada 4 años o mas	1 vez cada 2 años / 1 vez cada 3 años / 1 vez cada 4 años o mas	1 vez cada 2 años / 1 vez cada 3 años
	64% / 9% / 27%	83% / 11% / 6%	87,5% / 12,5%
Aplicaciones de fertilizante realizadas al año	2 - 4	3 - 4	3 - 5
	2(39%) 3(46%) 4(15%)	3(70%) 4(30%)	3(62,5%) 4(25%) 5(12,5%)
Sacos de fertilizante por ha	5 - 7 y 10	6 - 8 y 10	6 - 7 y 9
	5(39%) 6(15%) 7(38%) 10(8%)	6(30%) 7(20%) 8(30%) 10 (20%)	6(25%) 7(25%) 9(50%)
Utilización de formula nitrogenada	Si / No	Si / No	Si / No
	85% / 15%	80% / 20%	87,5% / 12,5%
Aplicaciones de fungicidas realizados al año	2 - 4	2 - 5	3 - 5
	2(16%) 3(61%) 4(23%)	2(20%) 3(35%) 4(20%) 5(25%)	3(62,5%) 4(12,5%) 5(25%)
Calibración de equipo	Si / No	Si / No	Si / No
	46% / 54%	55% / 45%	50% / 50%
Monitoreo para control de broca	Si / No	Si / No	Si / No
	23% / 77%	25% / 75%	62,5% / 37,5%
Junta para control de broca	Si / No	Si / No	Si / No
	46% / 54%	45% / 55%	87,5% / 12,5%
	Si / No	Si / No	Si / No

Realiza aplicaciones de insecticidas	46% / 54%	35% / 65%	25% / 75%
Plaga con mayor incidencia	Broca / Joboto	Broca / Joboto / Nematodos	Joboto
	43% / 57%	17% / 65% / 18%	100%
Control químico de arvenses	Si / No	Si / No	Si / No
	54% / 46%	90% / 10%	75% / 25%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

5.2 Caracterización de Zona Norte.

En Zona Norte se obtuvieron tres grupos distintos de productores con la misma división de la zona anterior, el grupo 1 corresponde a los productores con rendimientos de 0-20 fanegas por hectárea, el 68% de los productores pertenece a este grupo. Dentro de este grupo, un 77% de los productores realiza muestreo de suelos, pero únicamente un 46% aplica enmiendas (carbonato de calcio), en cuanto a la frecuencia de aplicación, el 83% de los productores la realiza cada 2 años, y el restante 17% cada 4 años o más. El rango de aplicaciones de fertilizantes varía de 1 a 3 por año, siendo 3 aplicaciones la más práctica más común (46%), la cantidad de sacos de fertilizante utilizada por hectárea es muy variada sin embargo 5 sacos es la cantidad más utilizada con un 39%. Es importante recalcar que menos de la mitad (46%) utiliza fórmula nitrogenada como última aplicación.

Las aplicaciones de fungicidas van de 1 – 3 al año, más de la mitad de los productores de este grupo realiza únicamente 1 aplicación (58%). Adicionalmente, apenas un 25% realiza calibración de equipo. En cuanto al manejo de plagas, solamente un 8% realiza monitoreo y un 38% realiza junta para el control de broca. Las aplicaciones de insecticidas son muy limitadas, solamente un 8% las realizan, principalmente para el manejo de joboto en la siembra. Finalmente, el 62% de estos productores realizan control químico de arvenses.

Los productores del grupo 2 son aquellos con rendimientos que van de las 20,1 – 40 fanegas por hectárea, representando el 27% del total. En este caso la totalidad los productores realizan muestreo de suelo y de ellos, un 60% aplica enmiendas (carbonato de calcio), En cuanto a la frecuencia de aplicación, un 33% de los productores la realiza cada año, mientras que el restante 67% de ellos

cada 2 años. El 100% de estos productores realizan 3 aplicaciones de fertilizantes al año, de ellos, un 40% utiliza 6 sacos por hectárea. El 100% de los productores utilizan formula nitrogenada como ultima aplicación.

Las aplicaciones de fungicidas varían de 1 – 4 por ciclo productivo, siendo 1 aplicación la más utilizada por los productores (40%), también es importante mencionar que apenas el 20% de los productores de este grupo realizan calibración de equipo. En cuanto al manejo de plagas, un 60% de los productores si realiza monitoreo y un 20% realiza junta para el manejo de broca. Ninguno de los productores de este grupo reporto aplicaciones de insecticidas y un 60% realiza control químico de arvenses.

Finalmente, el grupo 3 está conformado por los productores que producen más de 40,1 fanegas por hectárea, representando un 5% del total, todos los productores de este grupo realizan muestreo de suelos y aplicaciones de enmiendas (carbonato de calcio), con una frecuencia de cada 3 años. Asimismo, realizan 3 aplicaciones de fertilizantes al año con un total de 8 sacos por hectárea. En todos los casos se emplea fórmula nitrogenada como ultima aplicación y realizan 2 aplicaciones de fungicidas al año. También realizan en su totalidad calibración de equipo, monitoreo y junta para el control de broca. No se registran aplicaciones de insecticidas en este grupo y si realizan control químico de arvenses.

Tabla 3. Caracterización de Zona Norte.

	Grupo de productor		
	1	2	3
Productividad	0 - 20 fan/ha	20.1 - 40 fan/ha	> 40.1 fan/ha
	68%	27%	5%
Muestreo de suelos	Si / No	Si	Si
	77% / 23%	100%	100%
Aplicaciones de enmiendas	Si / No	Si / No	Si
	46% / 54%	60% / 40%	100%
Frecuencia de aplicación de enmienda	1 vez cada 2 años / 1 vez cada 4 años o mas	1 vez al año / 1 vez cada 2 años	1 vez cada 3 años
	83% / 17%	33% / 67%	100%
	de 1 a 3	3	3

Aplicaciones de fertilizantes realizadas al año	1(23%) 2(31%) 3(46%)	100%	100%
Sacos de fertilizante por ha	de 4 a 7 y 10	de 4 a 6 y 8	8
	4(23%) 5(39%) 6(15%) 7(15%) 10(8%)	4(20%) 5(20%) 6(40%) 8(20%)	100%
Utilización de formula nitrogenada	Si / No	Si	Si
	46% / 54%	100%	100%
Aplicaciones de fungicidas realizados al año	de 1 a 3	De 1 a 4	2
	1(58%) 2(25%) 3(17%)	1(40%) 2(20%) 3(20%) 4(20%)	100%
Calibración de equipo	Si / No	Si / No	Si
	25% / 75%	20% / 80%	100%
Monitoreo para control de broca	Si / No	Si / No	Si
	8% / 92%	60% / 40%	100%
Junta para control de broca	Si / No	Si / No	Si
	38% / 62%	20% / 80%	100%
Realiza aplicaciones de insecticidas	Si / No	No	No
	8% / 92%	100%	100%
Plaga con mayor incidencia	Joboto	N/I	N/I
	100%	0	0
Control químico de arvenses	Si / No	Si / No	Si
	62% / 38%	60% / 40%	100%

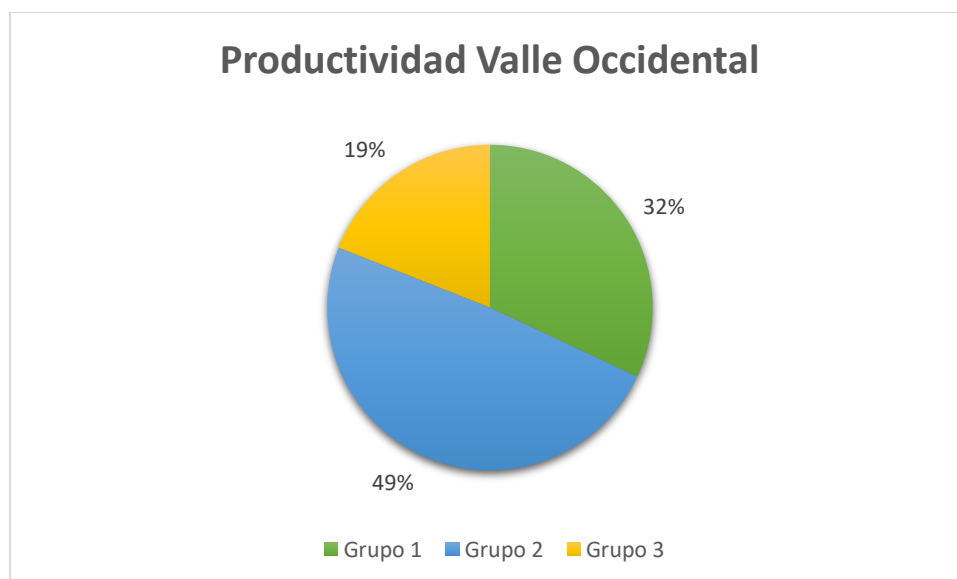
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Como resultado de la caracterización de ambas zonas se lograron identificar diferencias significativas en los sistemas productivos, como el manejo agronómico y los niveles de tecnificación de los productores, afectando así la productividad y sostenibilidad del cultivo. Reflejando también diferencias en factores socioeconómicos y estructurales.

Para el caso del Valle Occidental, la mayoría de los productores se ubicaron en los grupos 2 y 3 con productividades medias y altas (49% entre 20,1– 40 fan/ha y 19% con más de 40 fan/ha), mientras que solamente un 32% se ubicó en el grupo 1 con productividades bajas (0 - 20 fan/ha) (ver figura 1). Esto se puede vincular a una mayor adopción de prácticas técnicas como el muestreo de suelos (100% en grupos 2 y 3), la aplicación regular de enmiendas (90-100% cada 2 años) y fertilizantes (más del 80% utiliza formulas nitrogenadas como ultima aplicación). Esto se respalda con lo señalado por CICAPE (2020), donde se menciona que un factor determinante para alcanzar altos rendimientos es la fertilización ajustada basada en resultados de análisis de suelos.

Asimismo, entre el 50 y 55% calibra sus equipos. Evidenciando de esta forma un nivel técnico más avanzado, posiblemente asociado a una mayor facilidad de acceso a paquetes tecnológicos, así como ayudas económicas. Una de las razones de la alta calidad y rendimiento de los productores del Valle Occidental es la presencia de suelos andisoles, debido a su alta fertilidad, además en esta región se encuentran altitudes de entre 700 – 1700 msnm, generando la presencia de microclimas estables (Ahmed et al., 2021; Torrez et al., 2023).

Figura 1. Productividad del Valle Occidental de acuerdo con resultados de la caracterización.

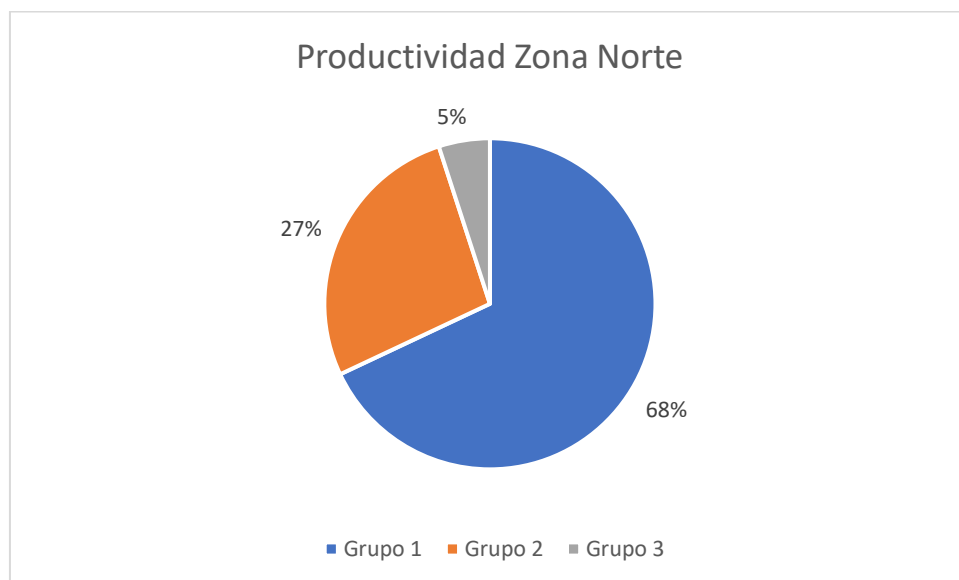


Fuente: Elaboración propia, 2023.

En contraste, en la Zona Norte, únicamente un 5% perteneció al grupo 3 con altas productividades (> 40 fan/ha), al grupo 2 perteneció un 27% con productividades medias (20,1 - 40 fan/ha) y más de la mitad de los productores (68%) se ubicaron en el grupo 1 con producciones bajas (0 – 20 fan/ha) (ver figura 2). En este grupo se evidencia una menor adopción de prácticas agronómicas. Solamente un 77% de los productores realiza muestreo de suelos, de ellos, menos de la mitad realiza aplicaciones de enmiendas (46%) y la frecuencia de aplicaciones de fertilizantes son muy variables.

A pesar de que muchos productores realizan análisis de suelos, no se manifiesta que la nutrición de la planta se lleve a cabo con base a este análisis, como resultado se dan las bajas productividades. Por otro lado, apenas un cuarto de los productores (25%) realizan calibración de equipos, señalando una baja tecnificación en la zona. Estos resultados concuerdan con Guerrero et al. (2020), en donde se demuestra que factores como altos costos productivos, limitaciones técnicas y cambio climático impactan de forma más significativa a las regiones periféricas con menor tradición cafetalera.

Figura 2 Productividad de Zona Norte de acuerdo con resultados de la caracterización.

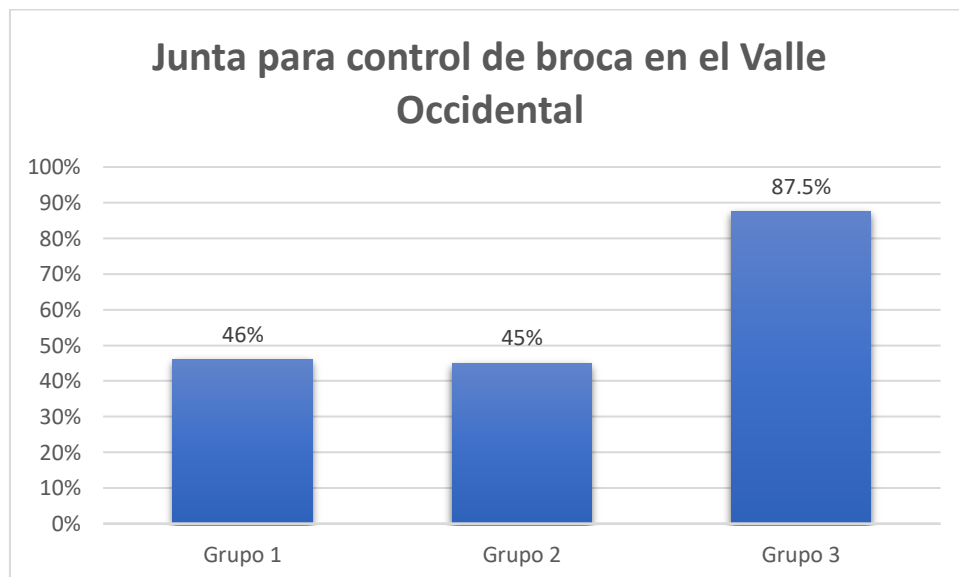


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Una de las diferencias más marcadas entre ambas zonas es en el ámbito del manejo de plagas (ver figura 3), en el Valle Occidental todos los grupos de productores mostraron altos porcentajes en el monitoreo y junta para el control de broca, llegando hasta a un 87,5% en prácticas culturales como la junta de los granos que se caen al suelo. Mientras que en Zona Norte estos porcentajes fueron realmente bajos (ver figura 4). En el caso de grupo 1 que es en donde se ubican la mayor cantidad de productores tan solo un 8% realiza monitoreo y un 38% junta.

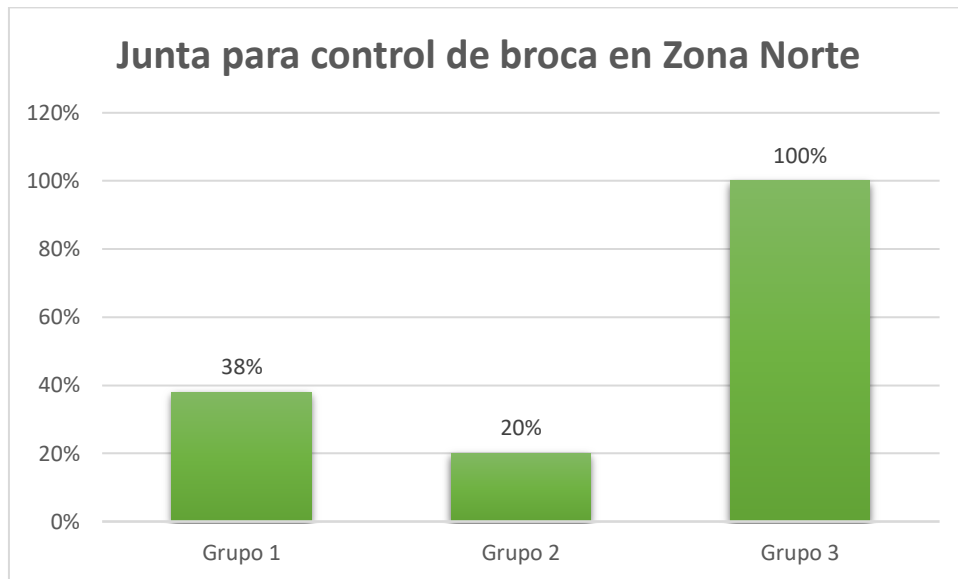
Estos resultados muestran que una buena organización comunitaria y un buen acceso a programas de extensión son factores determinantes para un adecuado manejo integrado de plagas, respaldando de esta forma lo expuesto por Leiva et al. (2019) en donde se señala la importancia de que existan estrategias colectivas para el control de broca. De esta forma se evidencia otra de las razones del porque el Valle Occidental presenta producciones más altas que Zona Norte. A su vez, Vilchez-Mendoza et al. (2024) y Lucio et al. (2024) demostraron mediante recientes estudios que cuando el control de la broca es irregular o insuficiente se pueden llegar a presentar perdidas entre un 30% y un 50% en el rendimiento, en especial cuando se dan las condiciones óptimas para un adecuado desarrollo de la plaga.

Figura 3. Porcentaje de junta para control de bronca en el Valle Occidental



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 4. Porcentaje de junta para control de bronca en Zona Norte.

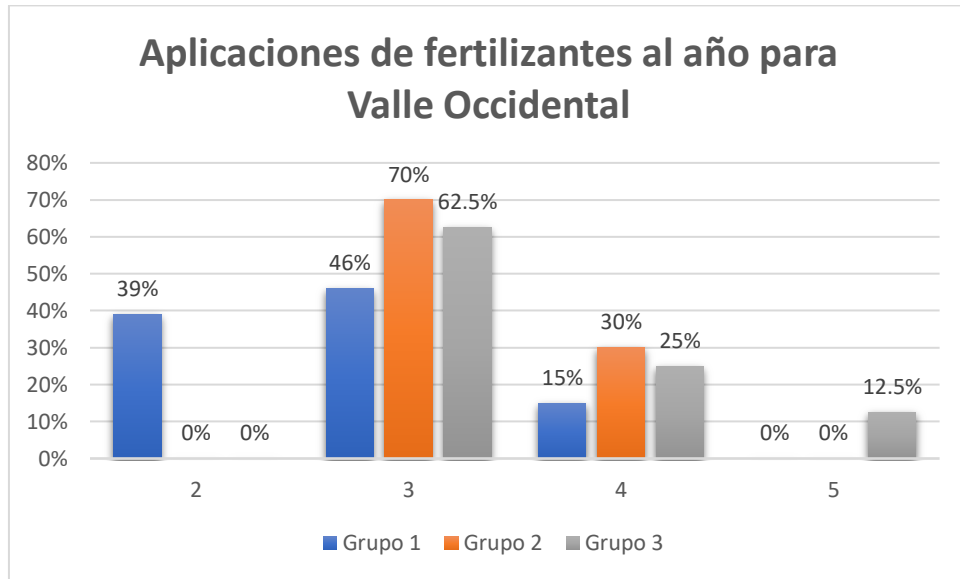


Fuente: Elaboración propia, 2023.

En lo referente al uso de fertilizantes, se observa que en el Valle Occidental los productores de los grupos 2 y 3 realizan como mínimo 3 aplicaciones de fertilizantes al año entre un 62,5 – 70%, el porcentaje restante de estos grupos, realizan 4 y hasta 5 aplicaciones por ciclo productivo (ver figura 5). Es importante recalcar que los grupos mencionados anteriormente también son los grupos que utilizan la mayor cantidad de sacos de fertilizante por hectárea, (de 6 a 10 sacos por ha). Por otro lado, en Zona Norte los grupos de alta productividad realizan 3 aplicaciones al año (100% para los grupos 2 y 3), mientras que la mayor cantidad de productores realizan de 1-2 aplicaciones por ciclo productivo (54% en el grupo 1) (ver figura 6), de igual forma la cantidad de sacos por hectárea es menor en comparación con el Valle Occidental, un rango que va de 4 a 8 sacos por hectárea.

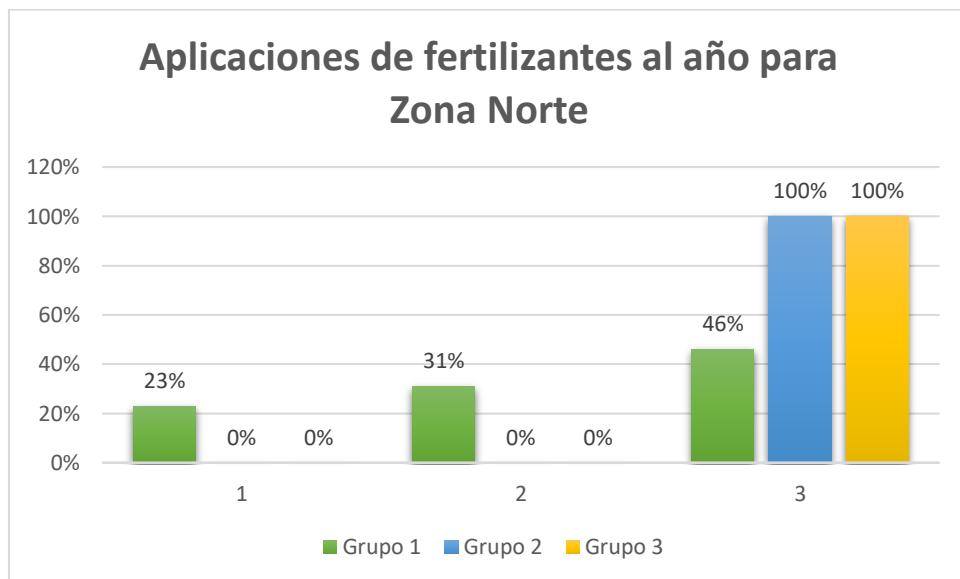
Los contrastes expuestos anteriormente en la productividad entre las regiones concuerdan con Arnesen et al., (2024) donde se menciona que existen factores determinantes que influyen directamente en el rendimiento y la calidad del café como la frecuencia y dosis de fertilización. Del mismo modo, Córdoba et al., (2022) & Córdoba et al., (2023) realizaron estudios en Costa Rica y Colombia en donde se afirma que cuando se aplica una nutrición periódicamente (en especial macroelementos como nitrógeno, fósforo y potasio) se observa un mejor desarrollo vegetativo, llenado del grano y calidad de café.

Figura 5. Número de aplicaciones de fertilizantes para el Valle Occidental.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 6. Número de aplicaciones de fertilizantes para Zona Norte.

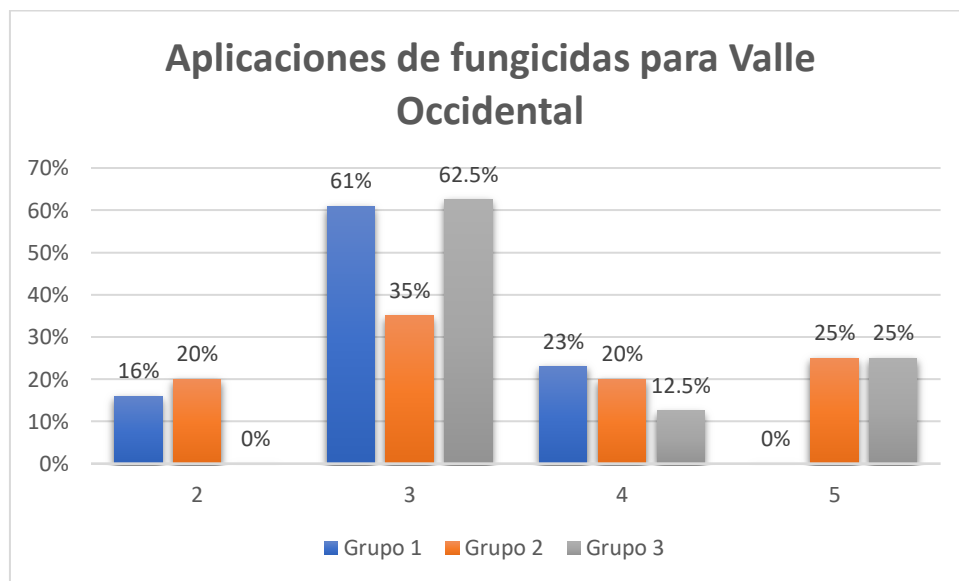


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La mayoría de los productores de todos los grupos realizan 3 aplicaciones de fungicidas en promedio, los grupos de mayor productividad llegan a realizar hasta 5 aplicaciones (ver figura 7), estas aplicaciones varían principalmente debido a las condiciones climáticas predominantes durante el ciclo productivo, especialmente la humedad relativa y la prolongación de las lluvias, condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fúngicas. En contraste, en la figura 8 se muestra que en Zona Norte la mayor cantidad de productores solamente realizan de 1 – 2 aplicaciones de fungicidas al año.

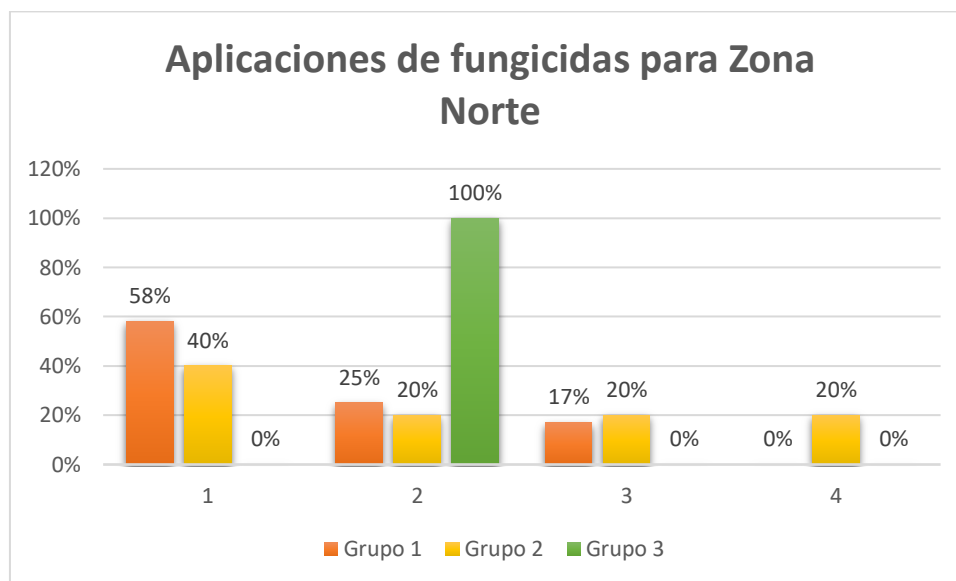
Investigaciones recientes señalan que variaciones climáticas, aumento de la temperatura media, la humedad y los extensos periodos de lluvias se encuentran estrechamente relacionados con la incidencia y la severidad de enfermedades fúngicas (Avelino et al., 2021; Bunn et al, 2023). Otras investigaciones evidencian que una baja protección contra enfermedades fúngicas, especialmente la roya del café (*Hemileia vastatrix*) causa defoliación, reducción del área foliar y por ende de los rendimientos (Castillo et al., 2022; Humphries et al., 2025). Por otro lado, Avelino et al. (2021) y Koutouleas et al. (2023) demostraron que las producciones pueden llegar a caer hasta en un 40% cuando no se realiza un tratamiento oportuno, en regiones con alta humedad y temperaturas moderadas.

Figura 7. Número de aplicaciones de fungicidas para el Valle Occidental.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 8. Número de aplicaciones de fungicidas para Zona Norte.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Otro factor que explica las diferencias productivas entre ambas zonas son las condiciones geográficas de cada región. Por un lado, el Valle Occidental presenta temperaturas promedio de 22 °C, precipitaciones anuales de 2 300 mm y suelos volcánicos con alta fertilidad. Cuando las lluvias se presentan de manera regular, se dan floraciones uniformes, así como un mejor llenado de fruto, además de buenas productividades y calidad de taza. Caso contrario a la Zona Norte en donde las temperaturas promedio son de 26 °C y las lluvias son muy variables (1500 – 2500mm) estas condiciones provocan en las plantas estrés térmico y precipitaciones irregulares, afectando negativamente la floración y la calidad del grano (Solano & Villalobos, 2023). Otro aspecto limitante de la zona es la altura (600 - 1300 msnm) dado que son valores bajos para el cultivo de café, se afecta su perfil sensorial. No obstante, es importante recalcar que el 85% de los cafetales utiliza sombra boscosa, brindando una mejor adaptabilidad para el cultivo (Bilen et al, 2023; Bracken et al, 2023).

5.3 Plan de manejo integral para Valle Occidental

Tabla 4. Plan de manejo integral para el Valle Occidental

Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> Renovar las plantaciones con nuevas variedades. Realizar curvas a nivel y siembras a contorno en las renovaciones.
	<ul style="list-style-type: none"> Reforzar la importancia de los análisis de suelo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar enmiendas y fertilizantes con base al análisis de suelo. • Promover la importancia de realizar una buena fertilización fraccionada.
	<ul style="list-style-type: none"> • Promover y reforzar la importancia de la calibración de equipos. • Educar al productor sobre la importancia de un buen manejo fitosanitario, el cual puede llegar a variar mucho de acuerdo con las condiciones climáticas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar el uso de productos biológicos para la broca de acuerdo con el ciclo biológico de la plaga. • Reforzar prácticas culturales para el control de la broca como la junta y el monitoreo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vivas. • Incentivar al productor a utilizar los servicios de extensión del ICAFE, días de campo, visitas técnicas, análisis de suelo y foliar, análisis de nematodos, entre otros.
Grupo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un plan de renovación (5-10%), así como un sistema de podas y manejo de tejido. • Mantener los muestreos de suelos, así como las aplicaciones de enmiendas cuando son necesarias. • Evaluar la eficiencia de los fertilizantes de acuerdo con el rendimiento productivo, así como la cantidad de aplicaciones y las dosis por planta. • Implementar monitoreos de plagas y enfermedades. • Implementar planes de acción para un adecuado manejo de las plagas y enfermedades. • Incentivar el uso de productos biológicos para plagas y enfermedades. • Reforzar prácticas culturales para el control de la broca como la junta.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vivas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar prácticas de conservación de suelos (barreras vivas, terrazas, curvas a nivel). • Promover un manejo adecuado de los residuos y envases de agroquímicos.
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener una fertilización ajustada de acuerdo con el análisis de suelos, así como el uso de fórmulas a la medida. • Implementación de abonos orgánicos para mejorar el suelo. • Fomentar el uso de microorganismos benéficos.
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la sombra regulada para crear adecuados microclimas.

<ul style="list-style-type: none"> • Mantener monitoreos de plagas y enfermedades. • Mantener planes de acción para el control de plagas y enfermedades de acuerdo con los monitoreos. • Reforzar la importancia de la calibración de equipo. • Fomentar el uso de sistemas de fertirriego.
<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la disminución del control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vivas.
<ul style="list-style-type: none"> • En caso de ser posible fomentar la posibilidad de producir café de especialidad, así como micro beneficios.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

5.4 Plan de manejo integral para Zona Norte

Tabla 5. Plan de manejo integral para Zona Norte

Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Renovar las plantaciones con nuevas variedades y mejor adaptables para las condiciones climáticas de la zona. • Realizar curvas a nivel y siembras a contorno en las renovaciones.
	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar la importancia de los análisis de suelo, así como su frecuencia. • Aplicar enmiendas y fertilizantes con base al análisis de suelo. • Promover la importancia de realizar una buena fertilización fraccionada.
	<ul style="list-style-type: none"> • Promover y reforzar la importancia de la calibración de equipos. • Educar al productor sobre la importancia de un buen manejo fitosanitario, el cual puede llegar a variar mucho de acuerdo con las condiciones climáticas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar al productor en cuanto al reconocimiento temprano de la broca y el joboto. • Implementar el uso de productos biológicos para la broca de acuerdo con el ciclo biológico de la plaga. • Capacitar al productor sobre la importancia de prácticas culturales para el control de la broca como la junta y la repela.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vegetales.

	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar al productor a utilizar los servicios de extensión del ICAFE, días de campo, visitas técnicas, análisis de suelo y foliar, análisis de nematodos, entre otros.
Grupo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un plan de renovación, así como un sistema de podas y manejo de tejido.
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener los muestreos de suelos, así como las aplicaciones de enmiendas cuando son necesarias. • Evaluar la eficiencia de los fertilizantes de acuerdo con el rendimiento productivo, así como la cantidad de aplicaciones y las dosis por planta. • Implementar monitoreos de plagas y enfermedades. • Implementar planes de acción para un adecuado manejo de las plagas y enfermedades. • Incentivar el uso de productos biológico para plagas y enfermedades. • Reforzar prácticas culturales para el control de la broca como la junta y repela.
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir el control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vivas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar prácticas de conservación de suelos (barreras vivas, terrazas, curvas a nivel). • Promover un manejo adecuado de los residuos y envases de agroquímicos.
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener una fertilización ajustada de acuerdo con el análisis de suelos, así como el uso de fórmulas a la medida. • Implementación de abonos orgánicos para mejorar el suelo. • Fomentar el uso de microorganismos benéficos.
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la sombra regulada para crear adecuados microclimas. • Mantener planes de acción para el control de plagas y enfermedades de acuerdo con los monitoreos. • Reforzar la importancia de la calibración de equipo.
	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la disminución del control químico y sustituirlo por un manejo más integrado como chapeas y coberturas vivas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el registro de labores agrícolas.
	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de ser posible fomentar la posibilidad de producir café de especialidad, así como micro beneficios.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Por medio del desarrollo de los planes integrales para ambas zonas se permitió conocer las estrategias de manejo de acuerdo con las condiciones agroecológicas, socioeconómicas y técnicas tanto para cada región como para cada grupo de productor. Debido a que en el Valle Occidental la mayor cantidad de productores se situaron en los grupos 2 y 3, los planes integrales se enfocaron a reforzar y optimizar las prácticas que ya se encontraban realizando, mostrando de esta forma un mayor grado de tecnificación en sus cultivos. Se propuso un plan de manejo integral por cada grupo de productor, sin embargo, de manera muy general existe una base muy sólida para todos los grupos en cuanto a algunas de las labores como lo son el muestreo de suelos, las aplicaciones de enmiendas y el manejo fitosanitario. En el caso de Zona Norte se enfocó en el grupo 1, debido a que es donde se encuentran la mayor cantidad de productores. Las acciones en este grupo van destinadas a mejorar el manejo agronómico del cultivo, mientras que en los grupos 2 y 3 van más destinadas a implementar prácticas de sostenibilidad.

La conservación de suelos siempre ha sido un punto importante en cualquier cultivo y el café no es la excepción, por esta razón en el grupo 1 de ambas zonas se recomendó prácticas de conservación de suelos como la implementación de curvas a nivel, terrazas y siembras a contorno para evitar la erosión, ya sea por viento, lluvias, entre otros, si bien es cierto que esta es una labor que se ha practicado desde hace muchos años, aún hoy en día todavía existen productores que desconocen la práctica por distintas razones. Por otro lado, se recomendó el uso de coberturas vivas con el objetivo de conservar la fertilidad del suelo y mejorar la infiltración del agua. Autores como Bilén et al. (2022) y Xu et al. (2023) mencionan que cuando se establecen sistemas agroforestales con coberturas vivas se puede llegar a reducir la erosión del suelo hasta en un 40% y se mejora su estructura. En el caso de los grupos restantes, debido a que muchos de los productores ya utilizan este tipo de prácticas, se recomendó reforzar la importancia del tema de la conservación de suelos, enfocado en la sostenibilidad de los sistemas productivos.

La fertilización fue una de las prácticas con más variación entre ambas zonas, para el caso del Valle Occidental todos los grupos de productores acostumbran a realizar análisis de suelo y aplicaciones de enmiendas, caso contrario a Zona Norte en donde solamente los productores del tercer grupo se encuentran más acostumbrados a realizar esta práctica. Únicamente el grupo 3 de ambas zonas se refleja que realice una fertilización ajustada con base al análisis de suelo, además utilizan una alta cantidad de sacos por hectárea. Para los productores del grupo 1 de ambas zonas y del grupo 2 de Zona Norte se propone reforzar o enseñar a realizar prácticas como una fertilización fraccionada y basada en resultados de análisis de suelos, además de mejorar la cantidad de sacos por hectárea, para

una adecuada nutrición de la planta y de esta forma poder mejorar los rendimientos obtenidos por hectárea. Se propone reforzar la importancia de esta práctica, así como sus beneficios a los productores del grupo 2 del Valle Occidental.

De acuerdo con Haggart et al. (2021) una mala fertilización provoca un agotamiento progresivo del suelo, con el tiempo los nutrientes se van perdiendo debido a que son absorbidos por las plantas, si estos no se encuentran en constante reincorporación la planta disminuye su eficiencia fisiológica, lo que explica el por qué las fincas con menor capacidad de inversión en fertilización tienen la tendencia a presentar plantas con menos vigor y bajos rendimientos productivos. Sarkis et al. (2023) menciona que se dan muchas pérdidas económicas por una mala aplicación o sobredosis de los fertilizantes, especialmente nitrógeno que tiende mucho a volatilizarse, por lo que es importante planear muy bien los programas de fertilización. Por otro lado, a los grupos 3 de cada zona se les recomendó la incorporación de biofertilizantes o microorganismos benéficos, con el fin de mejorar la eficiencia del uso de los fertilizantes, así como aumentar las producciones. Recientes estudios demuestran que una nutrición balanceada del café, además de aumentar rendimientos, también mejora la calidad sensorial al participar en una mejor concentración de azúcares y compuestos aromáticos (Ahmed et al., 2021).

Para todos los grupos de ambas zonas se propone un manejo integrado de arvenses con el fin de evitar degradación del suelo, contaminación de fuentes hídricas y pérdida de la biodiversidad del suelo. Un estudio realizado por CATIE (2024) demuestra como el uso de coberturas naturales, deshierbes selectivos y la siembra de maní forrajero o gramíneas en la entrecalle puede llegar a reducir hasta en un 50% el uso de los herbicidas sin llegar a comprometer la eficiencia productiva. Es importante mencionar que este tipo de cambios deben de realizarse de manera gradual, de lo contrario si se puede llegar a ver comprometida la productividad.

El manejo de plagas fue una de las practicas que tuvo más variación entre las zonas, en el caso del Valle Occidental el monitoreo y la junta fueron practicas muy bien establecidas y adoptadas por los productores, mientras que en Zona Norte únicamente en el grupo 3 se realizaban estas labores con regularidad. Se recomienda incentivar y capacitar a los productores especialmente de Zona Norte a adoptar labores como el uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y prácticas culturales de saneamiento como la junta y la repela.

Las practicas mencionadas anteriormente se deben de acompañar con monitoreo y capacitación técnica para lograr buenos resultados, estos aspectos son importantes para lograr un control eficiente.

El monitoreo y la capacitación técnica nos ayuda a definir momentos de aplicación preventivos y eficientes, debido al ciclo biológico de la broca se debe de aplicar control biológico antes de que la plaga penetre el grano (Lucio et al. 2024; Aristizábal et al. 2024). Estudios recientes afirman que, para mejorar la productividad, así como la sostenibilidad de los sistemas productivos estas acciones deben de ser coordinadas y sostenidas en el tiempo (Moreno-Ramírez et al. 2024; Cure et al. 2020).

Con respecto al manejo de enfermedades, la literatura demuestra que la frecuencia y momento de aplicación son factores determinantes para un control efectivo de las enfermedades, en el caso del Valle Occidental se realiza un muy buen manejo de las enfermedades, se recomienda no descuidar el monitoreo ya que por medio de esta herramienta se pueden programar las aplicaciones de manera eficiente. Para el caso de Zona Norte se recomienda educar al productor en la importancia de un buen manejo preventivo de las enfermedades, de lo contrario se da un manejo limitado en picos de infección, lo que conlleva a afectar etapas esenciales como la floración y el llenado de fruto (Aristizábal et al., 2024).

De igual manera, estudios realizados en América Central evidencian que los productores se ven obligados a reducir la cantidad de aplicaciones o utilizar productos de baja eficiencia debido a limitaciones económicas o menor acceso a asistencia técnica. Repercutiendo negativamente en el rendimiento y la calidad del café (Humphries et al., 2025; ICAFE, 2023). Por otro lado, se recomienda principalmente en el Valle Occidental incorporar un manejo integrado de enfermedades, con prácticas culturales, variedades tolerantes a enfermedades, monitoreo climático y aplicación racional de fungicidas, de esta forma se disminuyen los costos, así como impactos ambientales (Castillo et al., 2022).

Finalmente se planean especialmente en el grupo 3 de ambas zonas adoptar en la medida de lo posible prácticas y sistemas sostenibles como la implementación de un sistema de fertirriego. Según Li et al., (2023) y Morales Peña et al, 2024 estudios recientes demostraron que cuando se fraccionan las aplicaciones de fertilizantes de acuerdo con sus fases fenológicas y se aplican mediante el fertirriego, se incrementa la eficiencia del uso de fertilizantes y por ende la productividad. Por otro lado, los sistemas agroforestales se deben de mantener bien manejados, con sombra manejada para optimizar la fotosíntesis y reducir el estrés térmico, adicionalmente se ha asociado la sombra regulada con una mejor calidad de taza y una prolongación de la vida útil de la plantación debido al microclima que se genera (Torrez et al., 2023).

6 Conclusiones

Se detectaron diferencias significativas marcadas en cuanto al manejo agronómico entre la zona del Valle Occidental y Zona Norte, esencialmente asociadas al nivel de tecnificación, recursos económicos y accesibilidad a asistencia técnica. Impactando directamente en la sostenibilidad, productividad y calidad del café para ambas zonas.

En la zona del Valle Occidental la mayoría de los productores se ubicaron en los grupos 2 y 3 con productividades medias y altas, debido a una mayor adopción de labores como el muestreo de suelos, aplicación de enmiendas, adecuado uso de los fertilizantes y calibración de equipos. Así como una mejor asistencia técnica

Por otro lado, la mayor cantidad de los productores de Zona Norte se ubicaron en el grupo 1 con bajos rendimientos, evidenciando un menor nivel de tecnificación como la baja frecuencia de los análisis de suelos, limitadas aplicaciones de enmiendas, limitadas aplicaciones de fertilizantes, reducido monitoreo de plagas y enfermedades. Todos estos factores en conjunto reducen la productividad y hace a el café más susceptible al ataque de plagas y enfermedades.

Se identificó que cuando se utiliza manejos integrados de plagas como la junta, la repela y el monitoreo de las mismas. Así como el uso preventivo de productos químicos y biológicos para el control de enfermedades, se reduce la incidencia de plagas y enfermedades. Es necesario realizar esfuerzos comunitarios para lograr un control eficiente y duradero.

La incorporación de nuevas prácticas o tecnologías como el fertirriego y los sistemas agroforestales promueven una alternativa sostenible y viable para optimizar el uso de los recursos y aumentar la productividad del café. Sin mencionar que los mercados internacionales se encuentran cada vez más interesados en este tipo de prácticas. Del mismo modo, se contribuye a mitigar el estrés térmico y aumentar la eficiencia de insumos utilizados.

7 Recomendaciones

Reforzar en los programas de extensión del ICAFE para la Zona Norte, ya sea por medio de los días de campo, charlas o mediante proyectos la importancia de una buena interpretación de análisis de suelos, monitoreo de plagas y enfermedades y calibración de equipo para el mejoramiento de los sistemas productivos de la zona.

Promover el uso de nuevas tecnologías o prácticas sostenibles como el fertirriego y los sistemas agroforestales para el mejoramiento productivo, así como la resiliencia al cambio climático.

Promover la importancia de un manejo integrado de plagas en los distintos grupos de productores, incentivando acciones colectivas de monitoreo y prácticas de saneamiento (junta y repela) en sus respectivas fincas.

Priorizar a los grupos con el menor nivel de producción en las asistencias técnicas y proyectos institucionales para impulsar la productividad de las fincas

Continuar promoviendo los planes integrales desarrollados para cada zona y grupo de productor con el fin de brindar herramientas para que puedan identificar ámbitos de mejora en sus sistemas productivos.

8 Bibliografía

- Abarca-Durán, J., Núñez-Rodríguez, L. A., Flores-Chaves, L., & Humphreys-Pereira, D. A. (2022). First report of *Pratylenchus panamaensis* in the southern region of Costa Rica. *Nematropica*, 52(2), 85-93. <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/132828>
- Ahmed, S., Brinkley, S., Smith, E., Sela, A., Theisen, M., Thibodeau, C., Warne, T., Anderson, E., Van Dusen, N., Giuliano, P., Ionescu, K. E., & Cash, S. B. (2021). *Climate change and coffee quality: Systematic review on the effects of environmental and management variation on secondary metabolites and sensory attributes of Coffea arabica and Coffea canephora*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 708013. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>
- Alhudaib, K., Alghuthaymi, M., & Al-Sadi, A. M. (2023). Multi-locus phylogenetic analysis revealed the diversity of *Colletotrichum* species associated with coffee anthracnose. *Journal of Fungi*, 9(8), 815. <https://doi.org/10.3390/jof9080815>
- Amizhthini, S., Perumal, Y., & Roseleen, S. S. J. (2024). Global species diversity, bioecology and management of white grubs in crops: a review. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(1). <https://doi.org/10.1007/s42690-024-01337-y>
- Aristiazabal, L. F. (2024). Achievements and challenges in controlling coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Hawaii. *Agronomy*, 14(5), 1159. <https://doi.org/10.3390/agronomy14051159>
- Aristizabal, C., Gaitán, A. L., & Avelino, J. (2024). Integrated pest and disease management strategies for coffee under climate variability: Lessons from Central America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8(1370542) <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1370542>
- Arnesen, T., Aguilar, A., & Vega, F. E. (2024). Integrated nutrient and pest management strategies for sustainable coffee production in Central America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8(1356650). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1356650>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., & Morales, C. (2021). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008 - 2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 630808. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630808>

- Barquero, M. (2022). *Precio promedio del café de Costa Rica subió 19% este año* | *El Economista*.
<https://www.economista.net/actualidad/Precio-promedio-del-cafe-de-Costa-Rica-subio-19-este-ano-20220126-0012.html>
- Bilen, S., Nguyen, H., & Vega, M. (2023). Agroforestry and soil management for climate resilience in coffee systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 353, 108576.
- Bracken, L., Burgess, E., & Girkin, N. (2023). Soil-climate interactions and adaptation in tropical coffee landscapes. *Global Environmental Change*, 82, 102741.
- Bunn, C., Obersteiner, M., & Läderach, P. (2023). Modelling the future distribution of coffee diseases under climate change. *Climatic Change*, 184(2), 233-249.
<https://doi.org/10.1007/s10584-023-03522-2>
- Café de Costa Rica. (n.d.-a). *Guanacaste, sabor a la sombra del bosque*. Retrieved April 30, 2023, from <https://cafedecostarica.com/guanacaste>
- Café de Costa Rica. (n.d.-b). *Valle Occidental, la bendición de los microclimas*. Retrieved April 30, 2023, from <https://cafedecostarica.com/valleoccidental>
- Castillo, N. E. T., Martínez, E., & Vásquez, R. (2022). Towards an eco-friendly coffee rust control: Compilation and review. *Plants*, 11(23), 3204. <https://doi.org/10.3390/plants11233204>
- Castillo, N. E. T., Mora, M., & Mogollón, G. M. (2020). Impact of climate change on the development of *Hemileia vastatrix* in coffee-growing regions. *Science of the Total Environment*, 734, 139260.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139260>
- Centro de Investigaciones en Café [CICAFFE]. (2020). *Guía técnica para el cultivo del café* (Segunda Edición). Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE).
- Córdoba, A., Farfán-Valencia, L. & Ramírez, M. E. (2022). Nutrient dynamics and fertilizer efficiency in Arabica coffee under tropical conditions. *Agronomy* 12(5), 1048.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12051048>
- Córdoba, A. C., Arboleda, J., & Ospina, H. (2023). Effect of nitrogen and potassium fertilization frequency on coffee yield and quality in Central America. *Journal of Plant Nutrition*, 46(4), 689-703. <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2171452>

- Cure, J. R., Posada, F., & Vega, F. E. (2020). The coffee agroecosystem: Bio-economic analysis of coffee berry borer control. *Scientific Reports*, 10(1), 11872. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68989-x>
- Elizondo, M. (2015a). *Suelos de Costa Rica: Orden andisol*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/04/00544-brochures13.pdf>
- Elizondo, M. (2015b). *Suelos de Costa Rica orden inceptisol*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>
- Elizondo, M. (2015c). *Suelos de Costa Rica orden ultisol*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>
- Espinoza, G. (2021). *Microclimas: Qué son, características, tipos y ejemplos*. Recuperado el 15 de Junio de 2023 de <https://naturaleza.animalesbiologia.com/ecologia/microclimas-que-son-tipos-ejemplos>
- Arboleda, E. J.. (2022). *Tipologías de productores*. En Curso Convivencia Comunitaria y Análisis de Sistemas Agrarios.
- Ferrucho, R. L. (2024). Integrated disease management for the sustainable production of coffee. *Agriculture*, 14(7), 712. <https://doi.org/10.3390/agriculture14070712>
- Gagliardi, S., Barrios, L., Pineda, C., et al. (2023). Linking coffee leaf rust with intraspecific trait variation in coffee. *PLOS ONE*, 18(3), e0284203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0284203>
- Garza, R., Maldonado, R., Álvarez, M., & Torres, J. (2020). *Caracterización de especies arbóreas asociadas al cultivo de café*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 25–32. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n1/2007-0934-remexca-11-01-25.pdf>
- Geiler, C. (2021). *El aroma del café costarricense despierta al mundo - Delfino.cr*. <https://delfino.cr/2021/01/el-aroma-del-cafe-costarricense-despierta-al-mundo>
- Geilfus, F. (2009). *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación* (Octava Reimpresión). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Granados-Montero, M. del M. (2020). Leaf litter and *Mycena citricolor* inoculum on the American leaf spot of coffee. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 19-30. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/336614>

- Guerrero, J., Jaramillo-Villanueva, J. L., & Vargas-López, S. (2020). Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Producción y gestión sostenible de la ganadería*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/345403145>
- Guzmán-Franco, A. W., Rivero-Borja, M., Marín-Jarillo, A., Tamayo-Mejía, F., Guzmán-Santillán, N., & Guzmán-Santillán, T. (2024). A DNA-based approach to infer species diversity of larvae and adults from the white grub genus *Phyllophaga* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Frontiers in Insect Science*, 4, Article 1465794. <https://doi.org/10.3389/finsc.2024.1465794>
- Humphries, U. W., Castro-Torres, D., & Vega, F. E. (2025). Sustainable management of coffee berry disease and leaf rust: A systematic review. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 132(1), 45-62. <https://doi.org/10.1007/s41348-025-00789-x>
- Haggar, J., Benegas, L., & Caswell, M. (2021). Shade and agronomic intensification in coffee agroforestry systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 645958. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645958>
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). (n.d.). *Acerca del ICAFFE – ICAFFE*. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.icafe.cr/icafe/acerca-del-icafe/>
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (n.d.-a). *Oficinas del ICAFFE – ICAFFE*. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.icafe.cr/contactenos/oficinas-del-icafe/>
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (n.d.-b). *Regiones Cafetaleras de Costa Rica – ICAFFE*. Retrieved April 20, 2023, from <https://www.icafe.cr/nuestro-cafe/regiones-cafetalaras/>
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (n.d.-c). *Valle Occidental*. Retrieved May 6, 2023, from <https://www.icafe.cr/nuestro-cafe/regiones-cafetalaras/valle-occidental/>
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (2022a). *Estadísticas de la caficultura de valle occidental*. ICAFFE.
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (2022b). *Estadísticas de la caficultura de zona norte*. ICAFFE.
- Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE]. (2023). Informe de la actividad cafetalera de Costa Rica 2023. ICAFFE. https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/informes_gestion/actividad_cafetalera/informe%20Actividad%20Cafetalera%20de%20Costa%20Rica%202023.pdf

- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (n.d.-a). *Pacífico Norte*. Retrieved April 30, 2023, from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/PacificoNorte.pdf/4a0e8960-8c51-4390-8a8d-73d9d825d59b>
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. (n.d.-b). *Región Central: dos valles*. Retrieved May 1, 2023, from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/Clima+Valle+Central/9b5f5941-3708-4d18-991f-ada9cf795864>
- Instituto Nacional de Aprendizaje [INA]. (n.d.). CAPÍTULO 3: PRINCIPALES FACTORES CLIMÁTICOS DE COSTA RICA. In *Historia Natural de Costa Rica*. Retrieved May 8, 2023, from https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/19792/mod_resource/content/1/Principales%20factores%20clim%C3%A1ticos%20de%20Costa%20Rica%20%28v-asec%29.pdf
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2019). *Tema: Café (Coffea arabica)*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-11099.pdf>
- Jara, B. (2022). *Efecto del choque térmico sobre la susceptibilidad y severidad por antracnosis (Colletotrichum cigarro) en cuatro variedades del cultivo de café (Coffea arabica L.) en Barva, Heredia* [Universidad Nacional de Costa Rica]. <https://drive.google.com/file/d/11VYdawk0rFyFaJEuAMHGIVnTn6gKz9xU/view?pli=1>
- Jesús Junior, L. B., Partelli, F., Pezzopane, J. R. M., & Espindula, M. C. (2022). Association of altitude and solar radiation to understand coffee quality: A case study with cultivar Catuaí IAC 144 in Minas Gerais, Brazil. *Agronomy*, 12(8), 1885. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081885>
- Jonhson, M. A. (2020). Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest: Biology, impacts and management. *Insects*, 11(12), 882. <https://doi.org/10.3390/insects11120882>
- Kahsay, G. A., Turreira-García, N., Ortiz-Gonzalo, D., Georget, F., & Bosselmann, A. S. (2023). New coffee varieties as a climate adaptation strategy: Empirical evidence from Costa Rica. *World Development Sustainability*, 2, Article 100046. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100046>
- Koutouleas, A., Gava, M., & Ocampo, M. (2023). Alternative plant protection strategies for tomorrow's coffee: Integrating climate resilience and disease control. *Plant Pathology*, 72(8), 1665-1683. <https://doi.org/10.1111/ppa.13821>
- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bordeaux, M., Bosselmann, A. S., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Rigal, C., Vaast, P., Ramalho, J. C., Marraccini, P., & Ræbild, A. (2022). *Shaded-*

- Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review.* *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 158. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2022.877476/BIBTEX>
- Koutouleas, A., Petrokofsky, G., & Vaast, P. (2023). Alternative plant protection strategies for tomorrow's coffee: Climate-smart and sustainable approaches. *Agronomy*, 13(7), 1883. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071883>
- Leiva, E., Arce, A., Alpízar, F., & Víquez, J. (2024). Análisis de la rentabilidad en sistemas cafetaleros de Costa Rica (2008-2019). CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12671>
- Lu, Y., Zhang, Q., & Chen, S. (2025). Diversity and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with coffee. *Microorganisms*, 13(3), 512. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13030512>
- Lucio, R. S., Hernández, A., & Pineda, J. (2024). Biological control of the coffee berry borer with *Beauveria bassiana*: Effectiveness of native strains in Central America. *Agronomy*, 14(9), 1520. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091520>
- Mehl, A. (2020). *Suelos y vulcanismo: Argentina* (P. Imbellone & O. Barbosa, Eds.; Primera Edición). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo [AACS]. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/68561377/Suelos_y_Vulcanismo_Libro_completo-libre.pdf?1628019956=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSuelos_y_Vulcanismo_Libro_completo.pdf&Expires=1688683504&Signature=Dqi1gKgY9omm86BHa~L-eIKABCqyCZqLyBieyUvrsWB7cIfZXMpXSuSSyQSyjLBrkbje1HE8M-Mr3opM~muEPw1MhIWWaA813TxS~zpRa65BCHvrRL8bHpKWci1Qp4A6tdie8lmF-mqxsVUeYOCF9Bblz7kF94-iuPTvQWccKpP-DTbz8v2wsnUbErefaovNNC66kMGQ0b8BjiqU3gwo3p2DKdvtcFbYJS0AigW8QfChrTNXY0McC03bDfQBaec6v8IWxcpznws-cUcsykDaSEuEw4xuw5CETwzquYUHG7lve26i2kCt-ngk4-Jow5FydqXdDvaBd~UT6inJqEww0w_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=47
- Morales Peña, V. H., Mora Garcés, A., Virginio Filho, E. d. M., Villatoro Sánchez, M., Pazmiño Pachay, W.W., & Chanto Ares, E. (2024). *The phenology of Coffea arabica var. Esperanza L4A5 under different agroforestry associations and fertilization conditions in the Caribbean region of Costa Rica.* *Agriculture*, 14(11), 1988. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111988>

- Moreno-Ramírez, N. (2024). Ecology and management of the coffee berry borer. *BioControl*, 69(3), 421-437. <https://doi.org/10.1007/s10526-024-10253-6>
- Navarro, A. (2022). *Determinación de la curva de extracción de nutrientes de los frutos de café (Coffea arabica L.) en el cultivar Obatá, en la zona de Los Santos* [Universidad Nacional de Costa Rica]. https://drive.google.com/file/d/11IWk_ixL9IYvGxeaXOZluciNI69_jdCu/view
- Negasso, A. W., Kufa, T., & Tadesse, Y. (2025). Pathogenic variability of *Colletotrichum* isolates from coffee: Implications for disease management. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1240433. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1240433>
- Nguyen, H. D., Le, T. M. Nguyen, T., & Trinh, P. (2024). Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus coffeae* infecting Ming aralia and coffee in Vietnam. *Helminthologia*, 61(3), 281-294. <https://doi.org/10.2478/helm-2020-0004>
- Pachar, J. (2023). *Propuesta de desarrollo y mantenimiento de la ruta a la cara del Inca como producto turístico en el sur del Ecuador*. [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12836/1/18363.pdf>
- Parada-Molina, J., Bressan, A., Oliveira, R., Moraes, C., & Silva, E. (2025). *Impact of climate on water status, growth, yield and phenology of coffee plants*. *Agronomy*, 15(1), 55. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010055>
- Pérez, C., & Montiel, E. (2021). *Especialización del café en Costa Rica: panorama local de los mercados internacionales del café*. *Punto Sur* 5, 145–171. <http://revistascientificas2.filo.uba.ar/index.php/RPS/article/view/9971/9905>
- Pezzopane, J. R. M., Ricci, M. S. F., da Silva, L. G., Bonomo, R., & Cecílio, R. A. (2021). *Synchronizing coffee blossoming and fruit ripening in irrigated crops of the Brazilian Cerrado Mineiro Region*. *Agricultural Water Management*, 246, 106685. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106685>
- Pilozo, W., Indacochea, B., Castro, A., Vera, M., & Ortega, J. (2022). *Principales enfermedades causantes de la pérdida de rendimiento de los cultivos de café arábigo (Coffea arabica L.) en la Zona Sur de Manabí, Ecuador*. *UNESUM-Ciencias*, 6(2), 117–134. <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/632/531>
- Presidencia de la Republica. (2020a). *Exportación de café de Costa Rica con tendencia positiva en el mercado*. Gobierno Chaves-Robles, 2022-2026.

<https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/06/exportacion-de-cafe-de-costa-rica-con-tendencia-positiva-en-el-mercado/>

Presidencia de la Republica de Costa Rica. (2020b). *Costa Rica superó en un 12% producción de café*. Gobierno Chaves-Robles, 2022-2026.

<https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/03/costa-rica-supero-en-un-12-produccion-de-cafe/#:~:text=La%20actividad%20cafetalera%20beneficia%20en,%2C8%25%20del%20territorio%20nacional>

Quesada-Román, A., Quirós-Arias, L., & Zamora-Pereira, J.C. (2022). *Interactions between geomorphology and production chain of high-quality coffee in Costa Rica*. Sustainability, 14(9), 5265. <https://doi.org/10.3390/su14095265>

Reis, T.H.P., Cecilio, R. A., Partelli, F. L., & Espindula, M. C. (2022). *Foliar diagnosis in coffee trees according to the phenological stage*. Research, Society and Development, 11(5), e28591124924. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28591>

Rojas, E., & Ramírez, J. (n.d.). *Problema de roya en Costa Rica no fue descuido institucional*. Retrieved June 27, 2023, from https://www.icafe.cr/wp-content/uploads/roya_cafe/noticias/Problema%20de%20Roya%20en%20Costa%20Rica%20no%20fue%20descuido%20Institucional%20%282013%29.pdf

Rojas, K. (2022). *Análisis de estrategias de los tostadores de la región Valle Occidental como actividad de diversificación de los productores de café* [Universidad Nacional]. <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/23146/TFG%20-%20Kerly%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rojas-Barrantes, M., Ramírez-Valerio, D., & Constantino-Chuaire, L. M. (2020). Brote de *Oligonychus yothersi* en cafetales de Costa Rica provocado por la ceniza del Volcán Poás durante el año 2017. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 47-55. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.40017>

Sánchez, J., & Rubiano, Y. (2015). *Procesos específicos de formación en andisoles, alfisoles y ultisoles en Colombia*. EIA.Esc. Ing.Antioq, 85–97. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372015000300008&script=sci_arttext

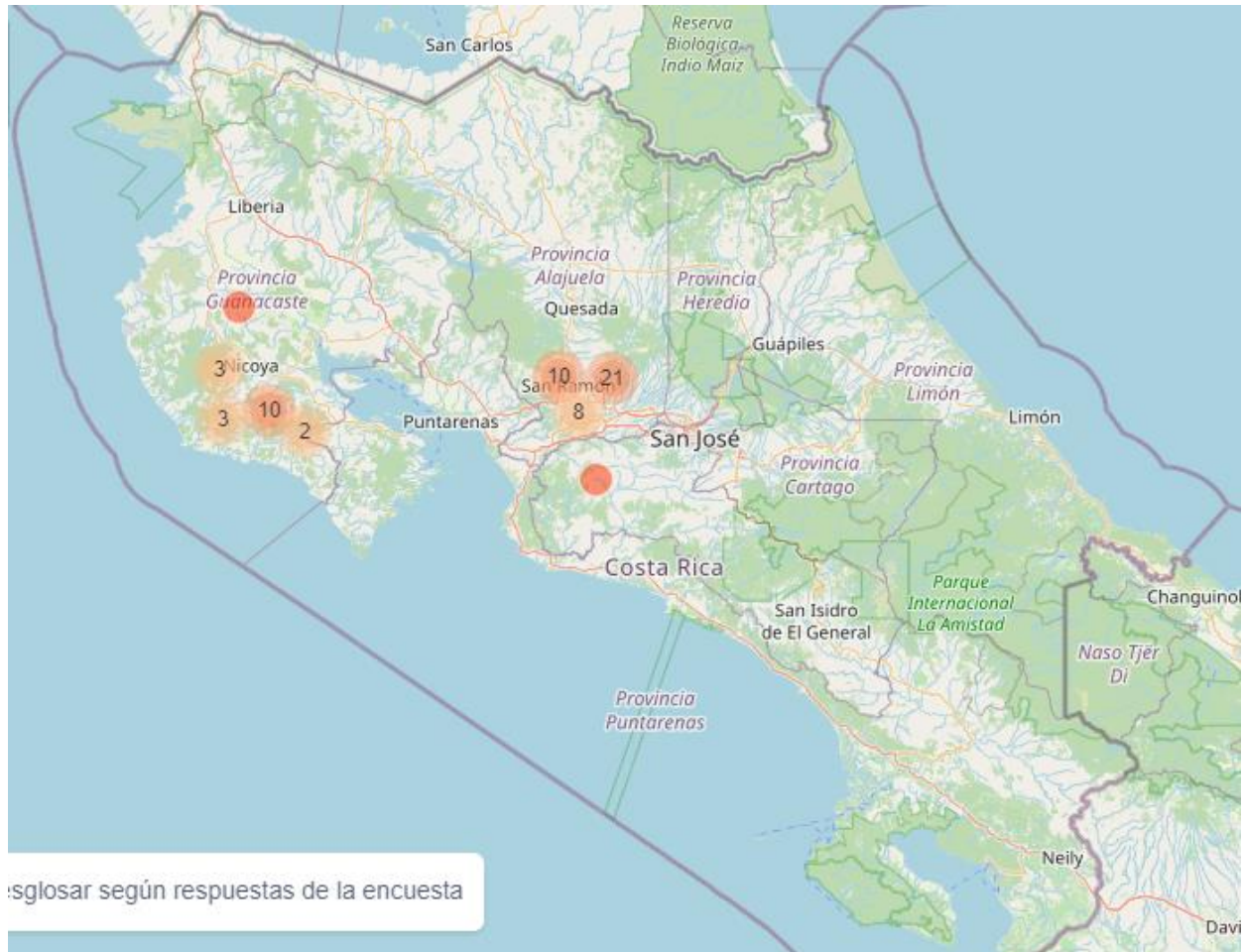
- Santos, J. A., Ferreira L. P., & Rodríguez W. P. (2021). *Flowering, fruit set and yield of coffee (Coffea arabica) under different environmental conditions*. *Breeding and Biotechnology*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.48130/BPR-2021-0013>
- Sarkis, L. F., Almeida, D., & Santos, C. A. (2023). Ammonia volatilization from conventional and stabilized N fertilizers applied in coffee plantations. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1291662 <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1291662>
- Silva, C. A., García, A. G., & Moreira, T. R. (2024). *Agroforestry management and fertilization influence phenological development of Coffea arabica var. Esperanza L4A5*. *Agriculture*, 14(11), 1988. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111988>
- Solano, J., & Villalobos, R. (n.d.). *REGIONES Y SUBREGIONES CLIMATICAS DE COSTA RICA*. Retrieved May 23, 2023, from <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+d+Costa+Rica>
- Solano, D., & Villalobos, M. (2023) Análisis climático de las zonas cafetaleras de Costa Rica. *Boletín Meteorológico del IMN*.
- Torrez, V., Benavides-Frías, C., Jacobi, J., Ifejika-Speranza, C., et al. (2023). *Ecological quality as a coffee quality enhancer: A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 43, 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00874-z>
- Vignola, R., Watler, W., Poveda, K., & Vargas, A. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de café en costa rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8206.pdf>
- Vilchez-Mendoza, S. J., Ocampo-Ariza, C., & Avelino, J. (2024). Quantifying movement of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) from coffee plantations to adjacent land uses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1356650. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1356650>
- Wagner, S., Jassogne, L., Price, E., Jones, M., & Preziosi, R. (2021). Impact of climate change on the production of *Coffea arabica* at Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Agriculture*, 11(1). 53. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010053>
- World Coffee Research. (2023). Costa Rica – Program updates and adaptation initiatives. <https://worldcoffeeresearch.org/countries/costa-rica>

Xu, S., Liu, Y., Sun, Z., Chen, G., Ma, F., Yang, N., de Melo Virginio Filho, E & Fisk, I. D. (2023). Effects of agro-forestry systems on the physical and biochemical characteristics of green coffee beans. *Frontiers in Nutrition*, 10, Article 1198802. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1198802>

9 Anexos

Anexo 1.

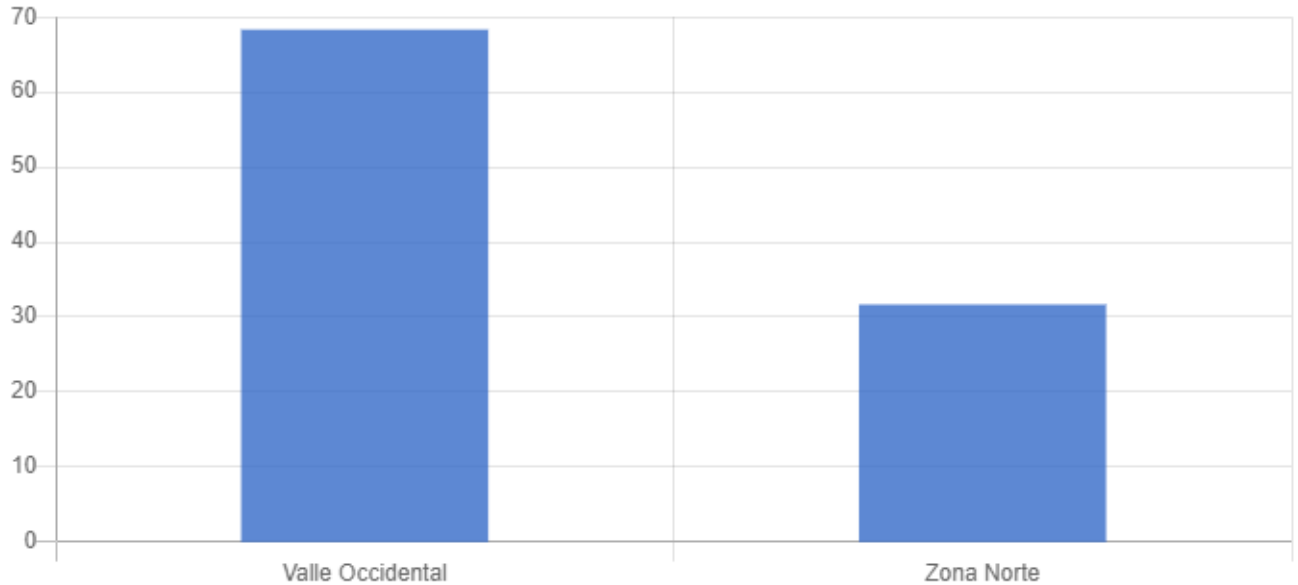
Total de encuestas realizadas en la zona de Valle Occidental y Zona Norte.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.

Porcentaje del total de las encuestas por zona, Valle Occidental tiene 68,3% mientras que Zona Norte tiene 31,7%.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.

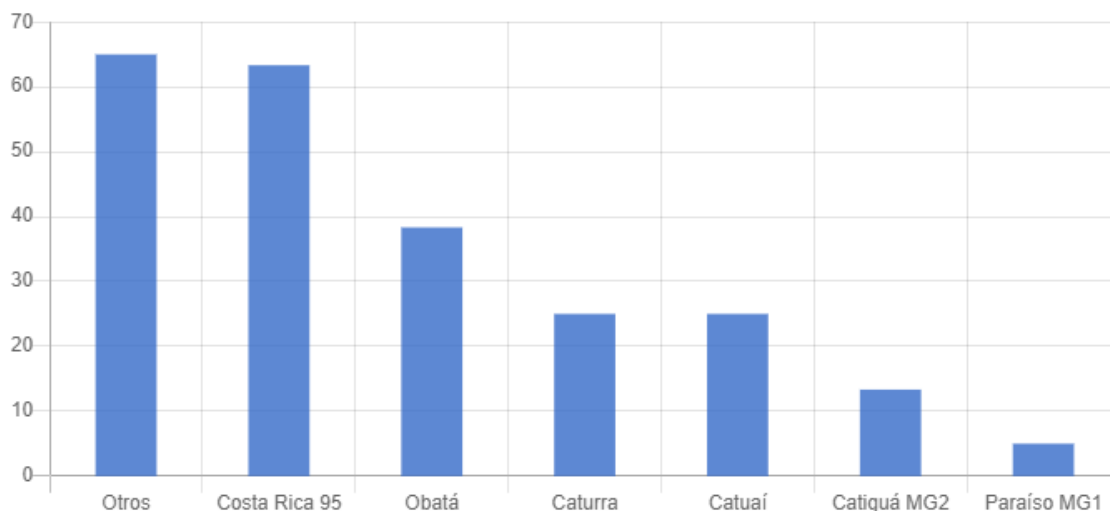
Tabla del porcentaje de número de miembros de la familia que trabajan en el sistema productivo.

Valor	Frecuencia	Porcentaje
1	41	68.33
2	10	16.67
0	6	10
3	2	3.33
4	1	1.67

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4.

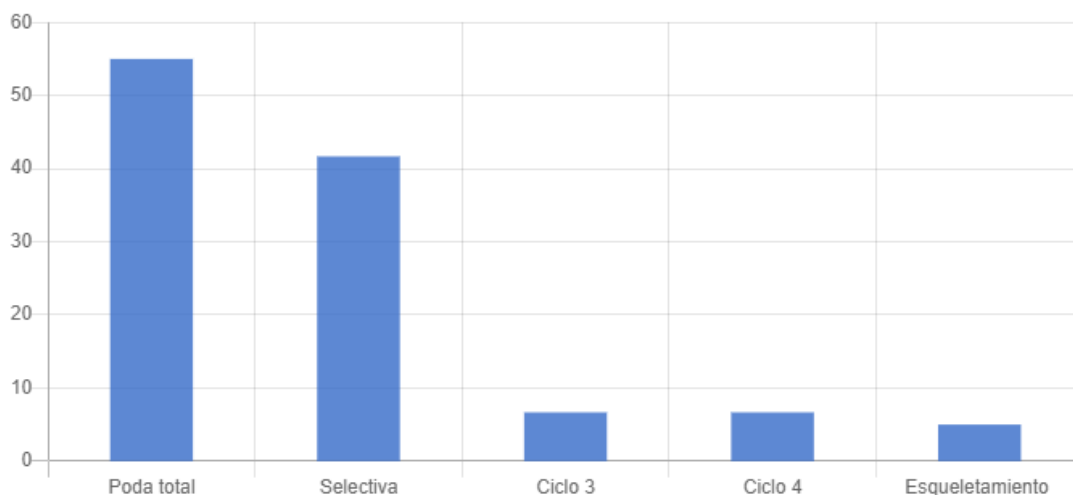
Tabla del porcentaje de variedades utilizados en los sistemas productivos. Otros presentan un porcentaje de 65%, Costa Rica 95 posee un 63,3%, seguidamente se encuentra Obata con un 38%, Caturra y Catuaí obtienen un porcentaje de 25%, Catigua MG2 presenta un porcentaje de 13,3 y finalmente Paraíso MG1 presenta un 5%.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 5.

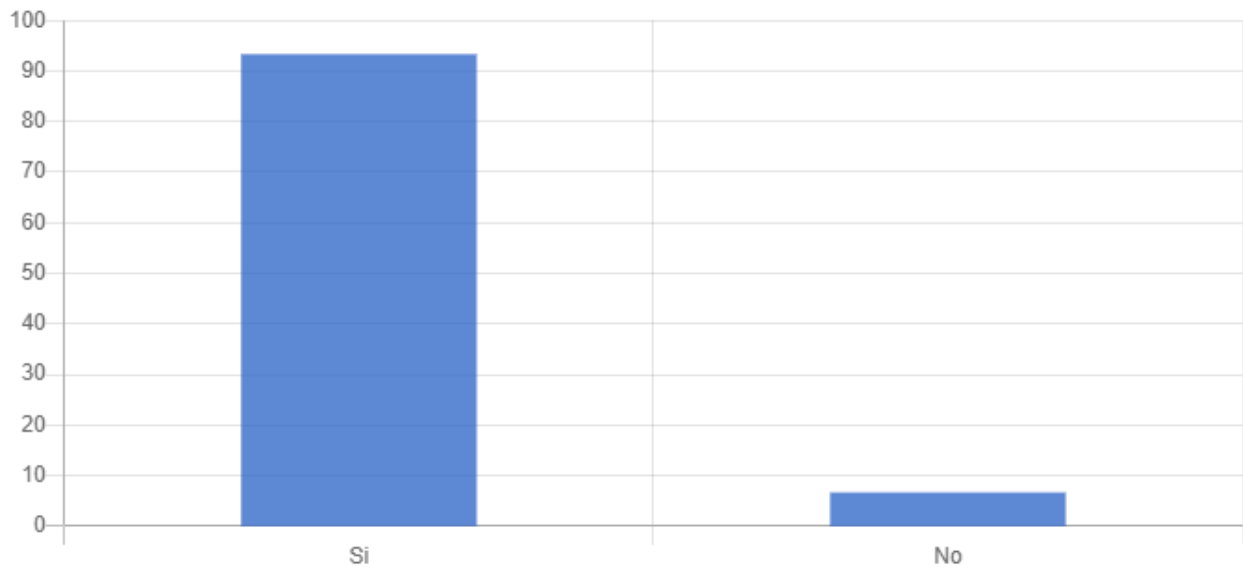
Tabla del porcentaje de poda utilizado en el sistema productivo. La poda total presenta un porcentaje de 55%, la poda selectiva 41,6%, las podas ciclo 3 y ciclo de 4 obtuvieron el mismo porcentaje de 6,6 y la poda de esqueletamiento obtuvo 5%.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 6.

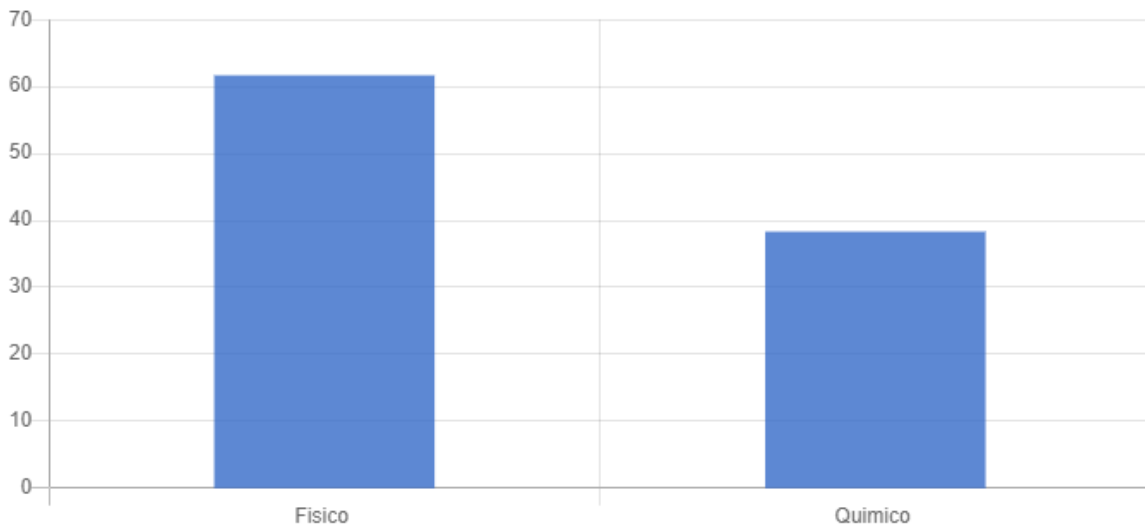
Tabla sobre el porcentaje de los productores que si realizan análisis de suelos (93,3%) y los que no lo hacen (6,6%).



Fuente: Elaboración propia

Anexo 7.

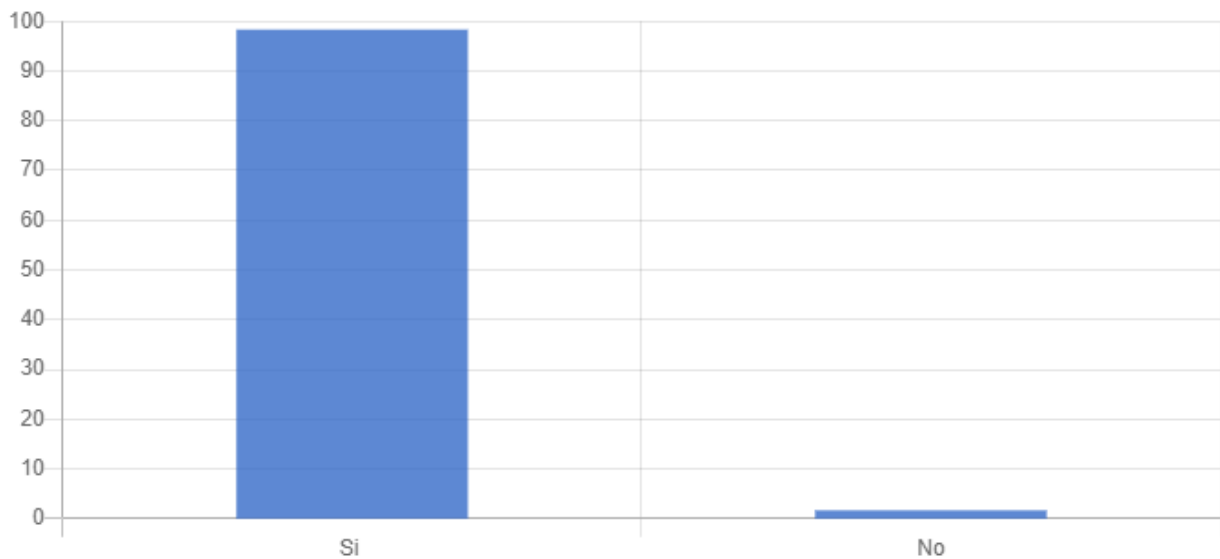
Tabla sobre el porcentaje de los productores que utilizan fórmula química (61,6%) y los que utilizan fórmula física (38,4%).



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8.

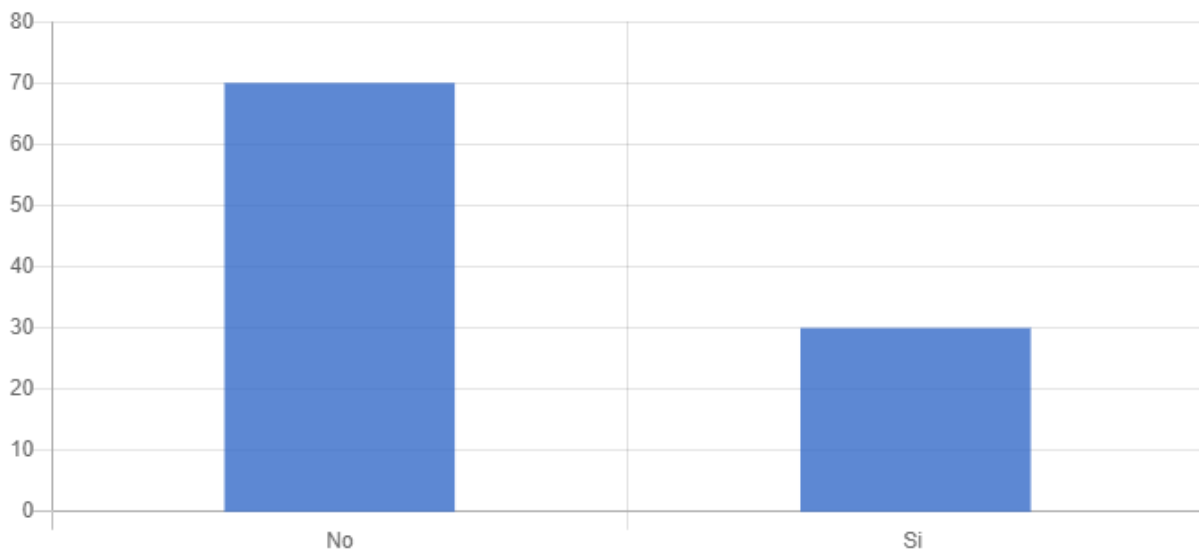
Tabla sobre el porcentaje de los productores que aplican control químico de enfermedades (98,3%) y los que no lo aplican (1,7%).



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9.

Tabla sobre el porcentaje de personas que realizan monitoreo de broca (30%) y los que no lo realizan (70%).



Fuente: Elaboración propia

Anexo 10.

Tabla sobre el porcentaje de personas que realizan control químico de enfermedades (26.7%) y los que no lo realizan (73.3%).

