



EL CADMIO

Y SU IMPACTO EN LA

PRODUCCIÓN DE CAFÉ

AUTORES

JAMES TIRADO LARA

ADÁN DÍAZ RUIZ

JOSÉ CELSO PAREDES CARRANZA



**EL CADMIO Y SU IMPACTO EN LA
PRODUCCIÓN DE CAFÉ**

Autores

James Tirado Lara

Adán Díaz Ruiz

José Celso Paredes Carranza

El Cadmio Y Su Impacto En La Producción De Café



Incidencia Del Tratamiento De Aguas Residuales En El Proceso De Curtido, es una publicación editada por la Universidad Tecnocientífica del Pacífico S.C.

Calle Morelos, 377 Pte. Col. Centro, CP: 63000. Tepic, Nayarit, México.

Tel. (311) 441-3492.

<https://www.editorial-utp.com/>

<https://libros-utp.com/index.php/editorialutp/index>

Registro RENIECYT: 1701267

Derechos Reservados © mayo 2023. Primera Edición digital.

ISBN:

978-607-8759-52-1

DOI:

<https://doi.org/10.58299/UTP.125>

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización bajo ninguna circunstancia, salvo autorización expresa y por escrito de la Universidad Tecnocientífica del Pacífico S.C.

Este libro es resultado de una investigación científica en actividades de ciencia y tecnología, llamada “Evaluación de cadmio en granos de café, café tostado molido y esencia de café (Coffea arabica) procedentes de fincas manejadas convencionalmente, en el distrito San Ignacio, Cajamarca, campaña 2020”, realizada en la Universidad Nacional de Jaén.

Este trabajo fue sometido a revisión por pares externos en modalidad doble ciego (double-blind peer review).

Editorial UTP

Tepec, Nayarit, México; a 08 de junio del 2023.

James Tirado Lara
Adán Díaz Ruiz
José Celso Paredes Carranza

Presente:

A través de la presente, me permito saludarle, y al mismo tiempo comunicar a Ud(s) que la Editorial UTP es una editorial indizada, comprometida con publicaciones de alta calidad por lo que su proyecto de investigación titulado “El cadmio y su impacto en la producción de café” ha sido sometido a un riguroso proceso de arbitraje por pares académicos y ajustado de acuerdo a las recomendaciones emitidas por los mismos, con base en lo anterior mencionado se determinó que cumple con los criterios de evaluación del comité editorial de la Universidad Tecnocientífica del Pacífico S.C. por lo que ha sido:

Aceptado para su publicación como libro

con registro ISBN 978-607-8759-52-1, DOI: 10.58299/UTP.125, por lo que está disponible en la plataforma de la editorial UTP en los siguientes enlaces:
http://tecnocientifica.com.mx/editorial_tecnocie/index.php/editorialutp/catalog
<https://www.editorial-utp.com/biblioteca>

Agradecemos su preferencia. Enviamos una felicitación especial por ser parte del equipo de investigadores que está transformando con ciencias a Nayarit, México y el Mundo.

ATENTAMENTE

Transformando con Ciencias



Blanca Elizabeth López Rodríguez
Directora de la Editorial UTP
Universidad Tecnocientífica del Pacífico



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	10
CADMIO: CARACTERÍSTICAS, USOS Y EFECTOS	10
1.1. ¿Qué es el cadmio?	11
1.2. Cadmio: propiedades químicas y físicas	13
1.3. Uso y aplicación del cadmio	15
1.4. Espectrofotometría: detección y análisis del cadmio	17
1.5. Efectos del cadmio	20
1.5.1. En la salud humana	21
1.5.2. En el medioambiente	23
CAPÍTULO II	26
NOCIONES GENERALES SOBRE EL CAFÉ	26
2.1. Definición de café	27
2.2. Café: principales componentes	29
2.3. Tipos de café	31
2.3.1. Según su origen	31
2.3.2. Según su preparación	33
2.3.3. Según la forma de manejo	34
2.4. Valor nutricional del café	36

2.5. Ventajas y desventajas del café en el cuerpo humano	37
2.6. Producción de café en el Perú	39
CAPÍTULO III	42
CULTIVO DE CAFÉ	42
3.1. Caficultura	43
3.2. Proceso de cosecha del café	44
3.2.1. Uso de fertilizantes químicos en el cultivo de café	48
3.3. Poscosecha del café	50
3.3.1. Tratamiento del grano de café: métodos	54
CAPÍTULO IV	57
EVALUACIÓN DE CADMIO EN GRANOS DE CAFÉ, CAFÉ TOSTADO MOLIDO Y ESENCIA DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) PROCEDENTES DE FINCAS MANEJADAS CONVENCIONALMENTE, EN EL DISTRITO SAN IGNACIO, CAJAMARCA, CAMPAÑA	57
CAPÍTULO V	84
PANORAMA GENERAL SOBRE EL CADMIO Y EL CAFÉ	84
5.1. Concentración del cadmio en el café	85
5.2. Buenas prácticas para garantizar la calidad del café	87
5.3. Prevención y mitigación del cadmio en el cultivo de café	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente	58
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente	58
Tabla 3. Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Barrio Nuevo, octubre 2020	65
Tabla 4. Estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Barrio Nuevo, octubre 2020	65
Tabla 5. Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Los Lirios, octubre 2020	67
Tabla 6. Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Los Lirios, octubre 2020	68
Tabla 7. Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío San Martín, octubre 2020	69
Tabla 8. Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío San Martín, octubre 2020	69
Tabla 9. Concentración promedio de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín	71
Tabla 10. Concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café. Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín, octubre 2020	72
Tabla 11. Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café. Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios, San Martín, octubre 2020	73
Tabla 12. Prueba de hipótesis al 0,05 de probabilidad, de la concentración de Cadmio (ppm), octubre 2020	80
Tabla 13. Prueba de hipótesis al 0,05 de probabilidad, de la concentración de Cadmio (ppm). Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín, octubre 2020	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mediana de la concentración de cadmio en el caserío Barrio Nuevo	66
Figura 2. Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío Barrio Nuevo	66
Figura 3. Mediana de la concentración de cadmio del caserío Los Lirios	67
Figura 4. Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío Los Lirios	68
Figura 5. Mediana de la concentración de cadmio en el caserío San Martín	70
Figura 6. Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío San Martín	70
Figura 7. Media aritmética de la concentración de cadmio	71
Figura 8. Mediana de la concentración de cadmio	73
Figura 9. Media aritmética de la concentración de cadmio	74
Figura 10. Desviación Estándar de la media muestral para granos frescos	74
Figura 11. Desviación Estándar de la media muestral para granos oro verde	75
Figura 12. Desviación Estándar de la media muestral para granos tostados	75
Figura 13. Desviación Estándar de la media muestral para café tostado molido	76
Figura 14. Desviación Estándar de la media muestral para bebida de café	76
Figura 15. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos frescos de café	77
Figura 16. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos de café oro verde	78
Figura 17. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos de café tostado	78
Figura 18. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en café tostado molido	79

Resumen

El presente libro es realizado con el objetivo de contribuir a la ampliación de conocimientos teóricos sobre el cadmio y su impacto en la producción del café, de tal manera que los caficultores o personas interesadas en conocer sobre el tema tengan un material de ayuda para incrementar la producción de café de calidad y su venta a nivel nacional e internacional. Para ello, el libro ha sido estructurado en cinco capítulos en los cuales se abordan las bases teóricas del cadmio, que incluye sus características, usos y efectos; también se detallan las nociones generales del café, como sus tipos y producción, y el cultivo de café en el que se describe el proceso de cosecha y postcosecha. Además de la parte teórica también se presenta la investigación realizada en el Distrito de San Ignacio, Cajamarca, respecto a la evaluación del cadmio en granos de café, esencia de café y café tostado molido. En el estudio se analiza el contenido de cadmio mediante el espectrofotómetro y se evidencia un contenido de cadmio en granos frescos de 0.379, granos oro verde de 0.288, en granos tostados de 0.288, en café tostado molido de 0.109 y en bebida de 0.00 ppm; además, en la prueba de hipótesis, se manifestó que el café tostado molido y bebida de café no superaron los límites máximos permisibles mientras que en los restantes fue lo contrario.

Palabras clave: cadmio, café, cultivo, buenas prácticas agrícolas, producción de café

Abstract

The present book is written with the objective of contributing to the expansion of theoretical knowledge on cadmium and its impact on the production of coffee, in such a way that coffee growers or persons interested in learning about the subject have a material of help to increase the production of quality coffee and its sale at a national and international level. For this purpose, the book has been structured in five chapters in which the theoretical bases of cadmium are addressed, including its characteristics, uses and effects; also detailed are the general notions of coffee, such as its types and production, and the cultivation of coffee in which the process of harvesting and post-harvesting is described. In addition to the theoretical part, the research carried out in the District of San Ignacio, Cajamarca, regarding the evaluation of cadmium in coffee beans, coffee essence and roasted ground coffee is also presented. The study analyzes the cadmium content by means of a spectrophotometer and shows a cadmium content in fresh beans of 0.379, green gold beans of 0.288, in roasted beans of 0.288, in ground roasted coffee of 0.109 and in beverage of 0.00 ppm; in addition, in the hypothesis test, it was shown that ground roasted coffee and coffee beverage did not exceed the maximum permissible limits while in the rest it was the opposite.

Key words: cadmium, coffee, cultivation, good agricultural practices, coffee production

Introducción

El café es un producto que genera grandes ganancias en los países productores y exportadores. Se estima que las ventas de este producto ascienden a 200 000 millones de dólares anuales en el mundo, lo cual da a entender que el café es un recurso que aporta en gran medida a la economía de cada país. Debido a esto, todos los países productores de café se esfuerzan por obtener granos de calidad, sobre todo, de las variedades más vendidas a nivel internacional: café arábica y café robusta, pues son consideradas como las mejores por su sabor, textura, olor, cremosidad, entre otras características. Por esto, para seguir elevando las ventas y, por ende, las ganancias, es preciso que los procesos de cultivo y cosecha sean realizados por trabajadores capacitados en el tema; es decir, por los caficultores, quienes han recibido la información necesaria para tratar las plantas cuando están saludables o cuando se enferman por los insectos que dejan sus larvas en las hojas, tallos y frutos.

Otra de las razones por la que los caficultores adquieren una gran relevancia en el cultivo de café, se debe a que saben cuáles son las buenas prácticas que deben aplicarse desde la identificación del terreno, la plantación del café hasta su almacenamiento y tostación. La información que poseen al respecto es fundamental si se pretende obtener granos de calidad capaces de competir con el mercado internacional. Por otro lado, el cuidado brindado al cultivo del café ha evitado que sea contaminado con sustancias químicas, principalmente, el cadmio, pues es un elemento tóxico que limita el desarrollo del café, afecta la fotosíntesis y el contenido de clorofila, además de interferir en el transporte de nutrientes y alterar las actividades enzimáticas.

Por ello, en el Perú, los caficultores tienen una ardua labor que no pasa desapercibida por el mundo, pues es un país que, gracias a la calidad de su producto, ha llegado a ubicarse entre los diez mejores del mundo. Así también, evitan que el ambiente acuático y la vegetación se vea afectada por el uso excesivo de químicos, como los fertilizantes. Por tanto, la producción del café sigue en pie, como resultado de los cuidados que se le otorgan ante el cadmio a fin de evitar su deterioro y, en su defecto, la pérdida de granos y ganancias.

Capítulo I

Cadmio: características, usos y efectos

El cadmio es un elemento químico que se encuentra en la naturaleza (Santander *et al.*, 2021), específicamente, en las rocas y los suelos, y se propaga a través de plantas industriales, las cuales liberan esta sustancia al ambiente por las actividades que realizan, como es la producción de pilas, pinturas, revestimientos, recubridor de reactores nucleares, entre otros. Si bien, no es una sustancia de reciente descubrimiento, puesto que su uso data desde 1817, fecha a partir de la cual el cadmio empezó a cobrar relevancia en diversas industrias, puesto que descubrieron los beneficios que tenía para la producción de productos; no obstante, con el paso del tiempo, su empleo fue disminuyendo porque se descubrió que es un metal altamente tóxico que afecta a las personas que se encuentran expuestas al cadmio por inhalación o contacto con la piel.

Como consecuencia de los daños que ocasiona en los seres humanos y en todo ser vivo, las industrias han tratado de limitar su uso y, en caso de hacerlo, adoptan las medidas necesarias para evitar que su personal se vea perjudicado por la exposición constante que tienen a esta sustancia. Al respecto, se debe señalar que los efectos en la salud del ser humano ocurren a nivel de las células, puesto que incide en diversas proteínas y en sus funciones, de manera que se corre el riesgo de que inhiba la síntesis de ADN y, con ello, produzca roturas independientemente de su exposición (Rodríguez-González *et al.*, 2020).

Además de afectar a los seres humanos, también afecta a los animales y a la vegetación. Para determinar la cantidad de cadmio que ingresa al cuerpo de la planta se utiliza la espectrometría, que es un método de análisis necesario para identificar las sustancias en un cuerpo, lo cual es fundamental, sobre todo, para los cultivos, pues al conocer cuán contaminada está la planta por sustancias químicas, se puede elaborar e implementar estrategias a fin de evitar la pérdida del cultivo y, principalmente, para obtener un producto de calidad que pueda ser vendido sin preocuparse si ocasionará malestares a quienes lo consuma.

1.1. ¿Qué es el cadmio?

El cadmio es un elemento químico que se identifica por tener el símbolo Cd. Este fue descubierto por Friedrich Stromayer en 1817 cuando analizaba una muestra de carbonato de zinc mayormente conocido como calamina (Pérez, 2019). Según la historia, Stromayer realizó este descubrimiento cuando cumplía con una solicitud del gobierno: realizar una inspección a cada una de las farmacias situadas en Hildesheim, Alemania. Al realizar la inspección, el químico alemán se dio con la sorpresa de que los centros farmacéuticos no expedían el óxido de zinc, sino vendían el carbonato de zinc, debido a que cuando lo calentaba se generaba un “óxido de zinc” de color amarillo.

Este cambio de color ocasionó que Stromayer analizara el carbonato de zinc para conocer a que se debía esta variabilidad de color. Fue a partir de los resultados obtenidos del análisis que se concluyó que el nuevo color era el resultado de la presencia de un óxido metálico de un nuevo elemento, el cual era semejante al platino y estaba constituido por diversos compuestos de zinc y zinc purificado. El nombre que se le otorgó en ese momento al nuevo elemento fue *cadmium*, lo que ahora se conoce como cadmio.

Ahora, para saber con exactitud lo que es el cadmio, se detalla tanto su concepto como sus características. En una definición estricta, el cadmio es un metal pesado que se encuentra de manera natural en los suelos, en la corteza terrestre y en las rocas, por ejemplos, fertilizantes minerales y carbón; de manera artificial en las actividades antropogénicas, como la agrícola e industrial. Gramlich *et al.* (2017) sostienen que es un metal pesado tóxico que no tiene funciones biológicas vitales para las personas, animales ni plantas y suele encontrarse como un catión divalente, y debido a su alto nivel de toxicidad y solubilidad se ubica en el 7.º puesto. Dichas características lo han convertido en una preocupación mundial por los efectos que tiene en el medioambiente y en los seres vivos al ocasionar malestares corporales cuando son consumidos mediante alimentos contaminados o por estar expuesto a este elemento, tales como diversos tipos de cáncer, osteoporosis, disfunción renal, entre otros.

Los efectos que genera en el ambiente son diversos, los cuales se deben a que las raíces absorben con facilidad el cadmio. Algunas consecuencias que genera en la vegetación son la clorosis, retraso en el crecimiento y enrojecimiento de las puntas de las raíces. Entre los cultivos o plantas que suelen tener una mayor tolerancia al cadmio se encuentran el pak choi, girasol, *Noccaea*

caerulescens, Mostaza de la India, *Arabidopsis thaliana*, *N. goesingensis*, *Arabis paniculata*, *Arabis gemmifera* y *N. praecox* (Huaraca *et al.*, 2020).

El cadmio no solo afecta al medio terrestre, sino también al acuático, lo cual debe ser solucionado en la menor medida posible porque debe evitarse que todos los seres vivos ingieran agua contaminada. La Organización Mundial de la salud - OMS indica que la concentración máxima de cadmio permitida en el agua potable es 0.003 mg/L. La FAO/OMS en 1972 manifestó, por su parte, que el cadmio puede ser ingerido semanalmente en un intervalo máximo de 0.4-0.5 mg por persona y debe estar presente en el agua hasta 10 mg/L como máximo con el fin de evitar el desarrollo de enfermedades cardiovasculares o cancerosas. El Ministerio de Ambiente en el 2017, señaló, por su parte, que las aguas destinadas para el consumo humano deben tener un contenido de cadmio máximo de 0.005 mg/L (Ramos *et al.*, 2022).

El cadmio es un elemento muy tóxico que daña el ambiente y la salud al provocar diarreas, cáncer, infertilidad, alteración y debilitamiento del sistema nervioso e inmune, entre otros. Pese a ello, las personas se han visto favorecidas al utilizarlo porque ha permitido la elaboración de pinturas, baterías de níquel-cadmio, láseres, paneles solares, pantallas de televisión, fertilizantes, plásticos, pigmentos y cosméticos.

Como se aprecia, el cadmio es un elemento que produce graves efectos en el medio ambiente y en las personas, motivo por el que es necesario aplicar medidas preventivas que garanticen el buen estado del ecosistema como de la población. Algunas medidas son las siguientes:

- Evitar arrojar productos, como baterías, a los vertederos municipales y reciclarlas en los tachos correspondientes.
- Consultar a las autoridades sobre cómo disponer de barnices y pinturas de manera adecuada.
- Evitar exponerse al cadmio o, en el caso de la exposición ocupacional, utilizar el equipo de protección personal y tener prácticas de higiene apropiadas.
- Evitar que los niños jueguen con baterías, ya que su ruptura puede ocasionar la ingesta de pequeñas cantidades de níquel-cadmio.

Entonces, el cadmio es un elemento químico con altos niveles de toxicidad que daña el ambiente y el organismo de las personas, así como de los animales y plantas; sin embargo, es un elemento muy útil porque actúa como un componente que permite la elaboración de baterías, pintura, paneles solares, entre otros, por lo cual no puede dejar de ser utilizado, ya que generaría la falta de ciertos recursos en la población.

1.2. Cadmio: propiedades físicas y químicas

Como es de conocimiento, el cadmio es un elemento químico utilizado para la elaboración de baterías, pinturas, plásticos, revestimientos de metal, entre otros. Suele ser encontrado en la naturaleza, específicamente, en la corteza terrestre y en rocas, de los cuales es extraído con sumo cuidado para su uso posterior porque es un elemento con alta toxicidad capaz de generar desarrollo en el cuerpo de las personas y hasta en animales y plantas.

El cadmio se caracteriza, principalmente, por su nivel de toxicidad, pero no es la única característica que presenta, ya que debido a las propiedades que posee puede ser utilizado para la elaboración de diferentes productos. Por ello, es pertinente dar a conocer las propiedades que posee este elemento químico, las cuales se detallan a continuación (Nordberg *et al.*, 2015; Villalba, 2019):

1.2.1. Propiedades físicas

El cadmio es un metal, blando, sólido, pesado, de color blanco azulado y dúctil situado en el grupo 12, periodo 5 de la tabla periódica con el símbolo Cd. No tiene un olor característico y un sabor metálico, y pertenece a la familia del zinc, por lo cual tiene cierta semejanza con este elemento (Bilski, s/f). Tiene una estructura cristalina que adopta al enfriarse llegando a formar figuras octaédricas y está compuesto por 64 neutrones y 48 protones y electrones. Presenta un alto nivel de maleabilidad, aspecto que permite que el cadmio pueda ser dividido en láminas delgadas para su posterior uso en aplicaciones industriales.

Otra de sus propiedades es la solubilidad, pues no puede diluirse en agua; sin embargo, si actúa con otros elementos se vuelve soluble y puede viajar a través del agua con rapidez. También, es un elemento reactivo ante el oxígeno y los ácidos, e inflamable frente a altas temperaturas, lo que crea el óxido de cadmio (CdO). Por último, es el metal más tóxico en la corteza terrestre que se ha detectado hasta el momento.

1.2.2. Propiedades químicas

La masa atómica del cadmio es 112.4 g/mol, su punto de ebullición es de 756 °C, su punto de fusión de 321 °C (inferior al zinc), su densidad relativa de 8.6 g/cm³ y su temperatura de autoignición de 250 °C. Tiene el número atómico 48 y su configuración electrónica es [Kr] 4f¹⁰5s² (Villalba, 2019). La configuración electrónica de los elementos es muy importante porque depende de esta la forma en que los electrones se estructuran en los átomos de un elemento. El cadmio posee 48 electrones, los cuales se distribuyen en cinco capas: la primera capa está compuesta por 2 electrones; la segunda, por 8 electrones; la tercera, por 18 electrones; la cuarta, 18 electrones; la quinta, por 2 electrones.

Otra de las propiedades químicas se relaciona con los isótopos naturales, los cuales son 116 (7.5 %), 114 (28.86 %), 113 (12.6 %), 112 (24.07 %), 111 (12.75 %), 110 (12.9 %), 108 (0.88 %), y 106 (1.22 %). También posee tres isótopos radioactivos (115, 111 y 109 m) y una serie de radios: un radio medio de 155 pm, un radio de Bohr o atómico de 161 pm, un radio de Van der Waals de 158 pm y un el radio covalente de 148 pm.

El cadmio también posee algunos compuestos comunes, entre los que destacan sulfuro de cadmio, acetato de cadmio, sulfuro de seleniuro de cadmio, óxido de cadmio, estearato de cadmio, sulfato de cadmio, carbonato de cadmio, cloruro de cadmio, nitrato de cadmio e hidróxido de cadmio. Algunos compuestos de los presentados se caracterizan por tener una alta solubilidad en agua, por ejemplo, el cloruro de cadmio, acetato de cadmio y sulfato de cadmio, a diferencia de los sulfuros y el óxido de cambio, que carecen de solubilidad en agua, pero no en un pH gástrico.

Es importante destacar que, debido a las propiedades físicas del cadmio, se ha convertido en un elemento de uso común en las aleaciones y construcciones, así como en el desarrollo de pigmentos y pinturas, lo cual ha sido observado desde la antigüedad en las pinturas rupestre porque, según ciertos estudios, es un arte que se realizaba usando el cadmio en combinaciones con sales de plomo y óxidos ferrosos.

En tal sentido, las propiedades tanto físicas como químicas del cadmio son de gran importancia en las industrias, puesto que pueden amoldarse para ser utilizadas en diversos procesos y elaborar productos de uso cotidiano o laboral.

1.3. Uso y aplicación del cadmio

Según lo expuesto en el acápite anterior, el cadmio es un recurso que, por sus propiedades químicas y físicas (por ejemplo, la maleabilidad), se ajusta a las exigencias que demanda ciertos procesos industriales. En un contexto histórico, el uso y aplicación del cadmio se amplió desde el siglo XIX, específicamente, desde el año 1840. En esta década el cadmio comenzó a ser explotado a nivel comercial como pigmento. En 1907, este elemento adquirió otro uso, pues un farmacéutico británico señaló que el yoduro de cadmio sirva para tratar sabañones, escrofulosas y “articulaciones agrandadas”.

En la década de 1930 y 1940, el cadmio fue ampliamente usado para producir hierro y platinado de acero. Diez años después, su empleo se centró en sus compuestos (selenuro y sulfuro de cadmio), los que fueron destinados a la elaboración de pigmentos anaranjados, rojos y amarillos. En los años 1970 y 1980 se hizo un nuevo descubrimiento del cadmio, pues se comprobó que los compuestos estearato de cadmio y laurato de cadmio servían como estabilizadores del PVC (policloruro de vinilo), lo cual conllevó al aumento de su demanda; sin embargo, tiempo después la demanda disminuyó como consecuencia del alto nivel de toxicidad y las enfermedades que generaba en el cuerpo.

En las dos últimas décadas del siglo XX, el cadmio tuvo una baja oferta y demanda por los peligros que ocasiona en el cuerpo, pero, a fines de este siglo, su producción volvió a incrementar al crearse las baterías recargables de níquel-cadmio, las cuales fueron utilizadas, sobre todo, en Estados Unidos, país en el que las baterías representaron el 80 % de consumo de cadmio por los beneficios que brindaba (Bolívar, 2020).

Como se aprecia, en el pasado, el cadmio tuvo un uso comercial a gran escala porque sirvió como cubierta para el acero y hierro, como estabilizador, como un componente para la elaboración de baterías de níquel-cadmio y como pigmento y un reactivo químico. Así también, destacó por su gran capacidad para la absorción de neutrones, en especial, el isótopo 113, el cual se emplea para el recubrimiento y las barras de control de reactores nucleares.

Hoy en día, el uso del cadmio es menor, debido a las restricciones establecidas por los efectos nocivos en las personas, animales y en el medio ambiente; por ello, su uso solo se limita a los siguientes:

- Para la fabricación de placas solares, lo cual se debe a su eficiencia, ductilidad y al costo (es más económico).
- Para las fabricaciones de níquel-cadmio.
- Para la producción de colorantes para cerámicas, plásticos y esmaltes.
- Como estabilizador del PVC.
- Para la elaboración de pigmentos (rojo, naranja y amarillo brillante) y pinturas.
- Para la fabricación de metales.
- Como recubrimiento de rectificadores.
- Como componente de aleación.
- Como cloruro y óxido de cadmio.

El Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social (2018), de España, señala que los usos del cadmio son la fabricación de polvo de óxido de cadmio, el revestimiento anticorrosivo de metales (hierro, acero, aluminio, aleaciones de cobre) y como electrodo negativo para los acumuladores eléctricos de tipo recargable compuestos por níquel y cadmio. Además, señala que las aplicaciones más frecuentes del cadmio son las siguientes:

- Fuente de cadmio para el cadmiado electrolítico (cloruro, óxido y cianuro).
- Pigmentos para plásticos, pinturas, esmaltes (sulfoseleniuro y sulfuro).
- Materias primas para preparar otros compuestos de cadmio, entre los que se incluyen las sales de los ácidos orgánicos.
- Componentes de equipos eléctricos: células fotoeléctricas, semiconductores, baterías, entre otros.

Los usos del cadmio se han reducido y regulado con el paso de los años como consecuencia de los efectos que provoca en el ambiente. Se estima que, en el 2008, el porcentaje de uso disminuyó considerablemente en comparación del año 1991 (10 a 20 %), aunque hay países que todavía lo utilizan en grandes cantidades, como China. La reducción del empleo de cadmio ha reducido de forma exponencial, lo que ha llevado a la pronunciación de una menor cantidad de fugas de emisiones de cadmio a los lodos y al agua en el mundo de Occidente. Un caso particular ocurre en Seine Aval (París), donde las concentraciones de cadmio en los lodos de depuradora han bajado un promedio de 10 veces entre el año 1980 y 2000. Así también, en la Unión Europea se observa

un menor empleo del cadmio en los fertilizantes, lo cual es muy importante porque se registra una correcta acumulación de cadmio en el suelo.

En general, el uso y las aplicaciones del cadmio son un tema indiscutible porque se ha comprobado que brinda grandes beneficios a las industrias al servir como recurso para la elaboración o producción de otros productos, como baterías, recubrimientos de superficies y mordiente en tinturas textiles. No obstante, es usado con sumo cuidado o en cantidad pequeñas por los efectos nocivos que provoca en el ecosistema, además, es monitoreado constantemente en aguas naturales y residuales por los compuestos tóxicos que bota, incluso si se trata de bajas concentraciones, porque causa infertilidad, problemas renales, cáncer, afecta el sistema nervioso e inmunológico, entre otras enfermedades. También daña el ecosistema acuático, principalmente, a peces y crustáceos, lo cual debe evitarse, ya que son alimentos que forman parte de la cadena de alimentación humana. Por ende, las entidades que usan el cadmio deben controlar sus niveles por la alta toxicidad sobre el medio ambiente (Benítez *et al.*, 2021).

1.4. Espectrofotometría: detección y análisis del cadmio

La espectrofotometría es una técnica experimental utilizada para la detección de determinadas moléculas. Se caracteriza por ser sensible, precisa y aplicable en moléculas de diferente estado de agregación (líquidos, sólido y gaseoso) y diferente naturaleza. Hernández y Hernández (2021) afirma que la espectrofotometría es una de las técnicas más requeridas en la investigación y control de calidad con relación al estudio y clasificación de sustancias. Esta técnica se basa en la absorción de la luz por una muestra y en la longitud de la onda absorbida, a partir de los cuales se obtiene información asociada con la pureza y cantidad de la muestra, con la finalidad de identificar las sustancias que conforman la muestra.

La espectrofotometría es realizada por medio de los espectrofotómetros, que es un instrumento de medición usado para medir la relación que poseen los valores de una magnitud fotométrica respecto a las reacciones químicas y radiaciones medidas en una muestra. Al respecto, García (2018) manifiesta que un espectrofotómetro es un instrumento utilizado para proyectar un haz de luz mediante una muestra y para medir la cantidad de luz absorbida o que pasa a través de la muestra. La cantidad que absorbe o transmite una muestra a una longitud de onda específica es proporcional a la concentración que hay en el material. En caso de que el material no haya

absorbido la luz por sí mismo, se podrá mezclar con otros reactivos para la obtención de una solución que sí absorba luz.

Generalmente, suele utilizarse el espectrofotómetro UV/VIS, el cual tiene como componentes principales a la fuente de luz, a un dispositivo de dispersión que se encargue de separar las diversas longitudes de onda que se encuentren en la luz, a un soporte para la muestra y a un detector. Los actuales espectrofotómetros tienen la capacidad de medir casi todos los materiales (plásticos, líquidos, metal, papel, tela, entre otros), de allí que proviene su versatilidad y empleo en diversas disciplinas. Los espectrofotómetros suelen aplicarse para determinar la cantidad de una solución de un determinado compuesto, por ejemplo, la concentración de cobre en un tejido o de hierro en la sangre. El espectrofotómetro también se utiliza para identificar ciertas unidades estructurales, estandarizar los colores de múltiples materiales (pinturas y plásticos), identificar las impurezas presentes en reactivos y alimentos, y detectar los niveles de contaminación que hay en el agua y aire.

Los espectrofotómetros, además de poder ser utilizados para determinar diversos datos, también presentan otras ventajas: tienen mayor precisión en el análisis y obtención de datos, ahorran tiempo, su uso requiere de un breve periodo de adaptación y los resultados son objetivos; sin embargo, este dispositivo tiene como desventaja principal el costo de compra, pues al ser un recurso que brinda varias opciones de uso, es ofertado con un precio que a veces no puede ser costeadado por la persona (Mujica, 2018).

Como se observa, la espectrofotometría es un recurso de gran importancia, la cual ha incrementado por las facilidades que brinda para determinar los metales pesados que se encuentran en el medio ambiente. Para esto, se han desarrollado una serie de métodos selectivos y altamente sensibles, tales como Espectrometría de Fluorescencia de rayos X (XRF), Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) y Espectrometría de Absorción Atómica (AAS). No obstante, el análisis por medio de la espectrofotometría implica instrumentos costosos y sofisticados, además de un mantenimiento de alto costo. Debido a esto, se ha desarrollado el método electroquímico, que es una alternativa de amplio espectro, versátil y económica (Macías *et al.*, 2017).

Los métodos mencionados son opciones que se usan para analizar los metales pesados presentes en el ambiente, como sulfuro, anión, nitrito, nitrato y otros compuestos químicos en el agua y

alimentos, sobre todo, del cadmio y plomo, que son los que más afectan al recurso hídrico. Para tener un mayor conocimiento sobre las características de cada uno, se realiza una breve descripción:

1.4.1. Espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF)

Es una técnica espectroscópica que usa la emisión fluorescente o secundaria de radiación X generada luego de exponer la muestra a una fuente de radiación X. Tiene como propósito el análisis químico elemental a nivel cuantitativo como cualitativo de muestras sólidas como metales, rocas, filtros, entre otros. En un estudio, el XRF es aplicado para el análisis del cadmio, para lo cual se toman en cuenta los valores del cadmio a fin de establecer las curvas de calibración (cinco en total), las cuales son preparadas a partir de soluciones patrones comerciales del metal en cuestión, según lo establecido en el Reglamento Técnico MERCOSUR GMC 55/92. Así también, se consideran ciertas condiciones instrumentales: colimador, atmósfera, voltaje del tubo, filtro, tiempo de integración y líneas de emisión (Torselli *et al.*, 2019).

1.4.2. Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS)

La ICP-MS es un instrumento capaz de determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la tabla periódica cuyo potencial de ionización sea menor al del argón. Para aplicarlo se requiere tomar una muestra de forma líquida, la cual se transporta mediante una bomba peristáltica hacia el sistema nebulizar para que sea transformada en aerosol e introducida en un plasma de gas argón. Es un recurso sumamente útil para medir las concentraciones de los metales pesados, como el cadmio, selenio, plomo, etc. sobre todo, en el agua, mediante una serie de pasos: introducción de la muestra, generaciones de iones, fase de acondicionamiento, discriminador de iones y detector. Cabe precisar que para trabajo con ICP-MS se requiere revisar los niveles de argón para verificar que el estado que posee sea óptimo para para el sistema (Almengor, 2022).

1.4.3. Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)

Es el método más usado para determinar los metales que se encuentren en una muestra y se caracteriza por tener la capacidad de analizar la concentración de más de 70 metales en una solución. Por ello, es una técnica de uso masivo al permitir conocer el nivel de toxicidad de múltiples metales en las aguas contaminadas. La AAS es aplicada mediante proceso de medición clasificado en cuatro fases: nebulización de la muestra objeto de análisis, liberación de los átomos,

traspaso de la luz a través de la muestra y del monocromador, y cuantificación de la luz, el cual debe ir acompañado de la calibración instrumental (Castellanos *et al.*, 2018).

Ahora, para determinar el cadmio, se emplea la AAS utilizando las longitudes de onda de 229 nm, la cual corresponde a la absorción máxima del elemento. Luego de elegir el tipo de espectrometría a usar, se comienza con la cuantificación del metal, para lo cual se construye una curva de calibración utilizando patrones de grado analítico. Cabe precisar que, para la cuantificación del cadmio, se consideran los siguientes valores de concentración: 0.5, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 mg/L (Quero *et al.*, 2017).

1.5. Efectos del cadmio

En las últimas cinco décadas, diversos académicos se han dedicado a investigar los efectos de los metales pesados en el ser humano, como resultado de las enfermedades que genera en este, por las diversas actividades industriales que generan grandes cantidades de desechos no biodegradables, los cuales persisten en el ambiente por un largo periodo de tiempo. De acuerdo con los estudios, el cadmio, el mercurio y el plomo son los elementos químicos que generan más daños en la salud de la población mundial, puesto que millones de habitantes están expuesto a fuentes de agua que contiene estos componentes por encima del límite permitido (Díaz & Arceo, 2017).

Como se ha comentado anteriormente, el cadmio es un elemento muy tóxico que afecta a la salud y al ecosistema. Dicho elemento químico ingresa al cuerpo debido a la exposición que se tiene ante esta mediante la ingesta de alimentos y agua contaminados con cadmio, el vivir cerca de plantas industriales que trabajan con este elemento, fumar cigarrillos, deficiencia nutricional y laborar en plantas donde se elaboran producto con cadmio, por ejemplo, plásticos, revestimientos, baterías y pigmentos.

Para conocer de una manera más precisa de los efectos que provoca el cadmio no solo en las personas, sino también en el medio ambiente, se realiza una subdivisión en la cual se brinda información específica sobre los efectos, los factores que lo provocan, el modo de prevención, el tratamiento, entre otros, con la finalidad de dar a conocer el peligro que supone el cadmio en la población humana y vegetal.

1.5.1. En la salud humana

El cadmio es un metal pesado que se encuentra en las industrias y áreas mineras. Se le considera un gran contaminante, pues su acumulación daña el ecosistema y el cuerpo humano al inhibir los grupos sulfhidrilo que intervienen en los procesos enzimáticos del organismo. Al respecto, Erostequi *et al.* (2020) indica que el cadmio ingresa al cuerpo por medio de los pulmones, de la piel y del sistema digestivo. Gran parte del cadmio que ingresa al organismo se deposita en el hígado y los riñones, lo cual es sumamente peligroso porque lesiona las células tubulares proximales.

De acuerdo con la Superintendencia de Riesgos del Trabajo, el cadmio ocasiona dos tipos de efectos en la salud de las personas: agudos y crónicos, los cuales se detallan a continuación:

1.5.1.1. Efectos agudos.

Los efectos agudos que causan la exposición al cadmio y/o su consumo mediante el recurso hídrico o alimentos provenientes del medio acuáticos, son los siguientes:

- Aparato respiratorio: El humo de cadmio generado por la soldadura causa fiebre, tos, dolor torácico pleurítico, cefalea, dolor de garganta y mialgias. En casos severos, el humo puede desarrollar insuficiencia respiratoria o neumonitis. Los efectos respiratorios suelen presentarse de 4-12 horas luego de la exposición al cadmio y se resuelve en un plazo no mayor a 48 horas.
- Aparato digestivo: El cadmio ocasiona diversos efectos en el aparato digestivo: diarrea (a veces sanguinolenta), vómitos, hepatotoxicidad (en poca frecuencia), efectos cáusticos (en grandes concentraciones).
- Aparato genitourinario: Se genera la insuficiencia renal como resultado de la contracción o depleción del volumen del líquido extracelular, el cual se produce por la reducción de sodio en el cuerpo.

1.5.1.2. Efectos crónicos.

- Aparato genitourinario: La exposición al cadmio ocasiona daños en el túbulo proximal, lo cual genera la aparición de nefrolitiasis, cáncer de riñón, cáncer de próstata, proteinuria anómala y síndrome tipo Fanconi, que es un conjunto de trastornos que incluyen la

proteinuria (proteínas en la orina), aminoaciduria (aminoácidos excesivos en la orina), glucosuria (glucosa en la orina) y reabsorción de fosfatos.

- Aparato respiratorio: El cadmio causa cáncer de pulmón, fibrosis, enfisema pulmonar (dificultad para respirar) e irritación de mucosas.
- Sistema óseo: Las personas desarrollan osteoporosis, osteomalacia (huesos blandos y deformes) y fracturas patológicas.
- Sistema nervioso: Las enfermedades que ocasiona el cadmio cuando afecta al sistema nervioso son Parkinson, neuropatía periférica (funcionamiento inadecuado de los nervios) y anosmia (pérdida del olfato).
- Aparato reproductor: La exposición al cadmio afecta el ciclo reproductor femenino y el aparato reproductor masculino.

El Ministerio de Salud (2015) en su guía para tratar la intoxicación por cadmio detalla que el cadmio en el organismo puede ser prevenido mediante la higiene corporal, la limpieza del hogar en húmedo, las ventanas cerradas para evitar que ingrese el polvo contaminado, una menor cantidad de uso de utensilios de plástico y dejar el hábito de fumar. Así también, recomienda el consumo de alimentos ricos en vitaminas C y E, cereales, nueces, brócoli, kiwi, pimienta y alimentos que contengan hierro, calcio, proteínas, zinc y selenio.

Por otro lado, se sugiere que los empleados que trabajen con cadmio o se encuentran expuestos a este, deben contar con un equipo de protección personal que incluya mascarilla, guantes, lentes, botas largas y ropa de trabajo, además de estar en un ambiente ordenado y limpio de acuerdo a lo establecido por la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Si la persona se ha intoxicado con cadmio, deberá seguir un tratamiento terapéutico considerando la parte afectada.

- En caso de contacto ocular: lavar la zona afectada con agua durante 15 minutos.
- En caso de contacto dérmico: retirar la ropa contaminada y colocarla en una bolsa. Lavar la zona afectada con jabón y agua por 15 minutos.
- En caso de inhalación: llevar a la persona expuesta al cadmio al aire libre y dejarla reposar, previo retiro de la prenda que provoca opresión. Mantener al paciente en observación por uno o dos días.

- En caso de ingestión: corregir el cuadro gastroentérico e ingerir abundante agua mediante la administración de fluidos intravenosos evitando la sobrecarga, ya que podría ocasionar un edema agudo pulmonar.

En ciertos casos suele emplearse el tratamiento quelantes, en especial, si se trata de una intoxicación aguda, ya que brinda un buen resultado. Si es una intoxicación crónica, la única alternativa de solución es retirar al afectado del lugar de exposición del cadmio.

1.5.2. En el medioambiente

El cadmio es un elemento químico tóxico que daña considerablemente a las plantas porque afecta sus procesos fisiológicos, como su crecimiento, el contenido de clorofilas, la transpiración y la actividad fotosintética, además de afectar el ciclo de Krebs por los desequilibrios nutricionales, estrés oxidativo, clorosis y modificación de la actividad enzimática. En el peor de los casos la toxicidad del cadmio puede conllevar a la muerte de la planta, lo cual va a depender del tiempo de exposición y del contenido del metal (Hernández *et al.*, 2019). En este aspecto, al observar que el cadmio es un elemento dañino para las plantas, se han estado buscando alternativas y creando estrategias para minimizar sus efectos, de tal manera que tengan un adecuado desarrollo.

El Ministerio de Agricultura y Riego (2015) da a conocer los factores que determinan la absorción del cadmio por composición vegetal.

1.5.2.1. Factores edáficos.

- pH: la absorción del cadmio aumenta cuando el suelo tiene un mayor nivel de acidez debido a la reducción del pH.
- Salinidad del suelo: la absorción del cadmio aumenta a medida que la corteza terrestre muestra una mayor concentración de salinidad.
- Cantidad de cadmio: la absorción del cadmio aumenta en relación directa con la concentración del Cd.
- Micronutrientes: la absorción del cadmio aumenta cuando las plantas no tienen suficiente manganeso y zinc.
- Macronutrientes: según la cantidad de macronutrientes, la absorción del cadmio puede aumentar o disminuir.

- Temperatura: la absorción del cadmio aumenta cuando las plantas están expuestas a altas temperaturas.

1.5.2.2. Factores de cultivo.

- Especies y cultivares: la absorción del cadmio se da en la siguiente escala descendente; es decir, de mayor a menor absorción: verduras, raíces, cereales y frutos.
- Tejido de la planta: la absorción del cadmio se da en la siguiente escala descendente: hoja, granos, frutos y raíces comestibles.
- Edad de la hoja: la absorción del cadmio se da en la siguiente escala descendente: hojas viejas y hojas jóvenes.

Debido a estos factores, las plantas suelen ser afectadas en su crecimiento y desarrollo ocasionando que no produzcan frutos, y se reduzca la biomasa de las hojas y la raíz. A nivel de la actividad fotosintética, se reduce la tasa fotosintética neta y el contenido de carotenoides y clorofila; a nivel de nutrientes se reducen las concentraciones totales de Ca, P, K, Mn, B, S y Zn en el tejido foliar (Mn, K, Zn y Ca) y en la raíz, hojas y tallo (Cu, Zn, Ca, Fe y Cu) (Hernández *et al.*, 2019).

Cabe precisar que el cadmio en grandes cantidades causa daños a las plantas, pero no en cantidades mundialmente aceptadas. Aguirre *et al.* (2022) manifiestan que los suelos donde se realizan plantaciones deben tener un promedio de cadmio de 0,53 mg·kg⁻¹, de lo contrario, se estaría incurriendo en una contaminación de tipo antropogénica. De manera general, se ha considerado que los metales pesados en los suelos no deben exceder un promedio de 0,8 mg·kg⁻¹, para evitar el estrés oxidativo en las plantas.

En este marco, se demuestra que el Cd afecta de manera negativa al desarrollo de las plantas porque provoca varios efectos en las actividades enzimáticas, las cuales al contener grupos sulfidrilos tienen un mayor riesgo a oxidarse y a destruir los puentes disulfuro, lo cual provoca la desnaturalización de las proteínas y alteraciones en las actividades enzimáticas. Asimismo, el cadmio ocasiona inhibición en las actividades de las metaloenzimas y la disociación de las enzimas en subunidades.

En general, el cadmio es un elemento químico utilizado para la fabricación de diversos productos, tales como las pilas, pigmentos, aleaciones sin fierro, revestimiento de plásticos y metales, entre otros, por lo cual es de uso indispensable para ciertas áreas industriales. Sin embargo, su uso en

exceso y la exposición desmedida que se pueda tener al Cd es motivo de preocupación en la población mundial porque, según investigaciones, ocasionan el desarrollo de enfermedades agudas y crónicas, como resultado de haber ingresado al organismo mediante alimentos o mediante el sistema respiratorio; asimismo, es un elemento que no solo afecta la salud humana, sino también de los animales y de las plantas, las cuales absorben el cadmio por medio de sus raíces, situación que afecta de modo negativo el desarrollo de las plantas e, incluso, su muerte.

Debido a esto, es necesario que las industrias o personas que utilicen el cadmio establezcan una serie de medidas que disminuyan su exposición y daño al medio ambiente, con la finalidad de evitar el desarrollo de enfermedades cancerígenas, respiratorias, digestivos y renal; así como la contaminación al ecosistema que, a futuro, daña el organismo del hombre.

Capítulo II

Nociones generales sobre el café

El café se ha convertido en uno de los productos bebibles con mayor popularidad en el mundo (Orús, 2023). Presenta características que lo convierten en un producto de calidad, tales como el aroma, acidez, color, cremosidad, texturas y por la gran variedad que posee, que da lugar a que las personas escojan aquel que más sea de su agrado. Algunas de las variedades que posee son el café arábica, robusta, excelsa, ibérica, entre otros, de las cuales destacan las dos primeras porque la arábica presenta un mejor equilibrio entre el aroma y la acidez, y la robusta un mayor contenido de cafeína que alcanza el 2.5 % en comparación con la arábica que es de 1.5 %.

Si bien, el café es agradable por su sabor, no es la única razón por la que muchas personas del mundo la consumen. Esto se debe a que se ha demostrado que el café brinda diversas ventajas a la salud porque es rico en antioxidantes (Ormaza-Zapata, 2022), contribuye a la pérdida de peso, combate el Alzheimer y Parkinson, evita el desarrollo de enfermedades hepáticas, combate el cáncer, la diabetes, entre otros. Sin embargo, su uso excesivo ocasiona problemas digestivos (diarreas, vómitos, cólicos), colesterol, insomnio, taquicardia e inquietud, motivo por el que se recomienda que las personas tensas o nerviosas no lo consuman.

Pese a las desventajas que posee, su venta sigue creciendo porque los beneficios que brinda son mayores. Por ello, en el Perú, la producción de café ha incrementado en los últimos años, lo cual se observa en la cantidad de departamentos y fincas que se dedican al cultivo de café, tales como Amazonas, San Martín y Cajamarca. El crecimiento del cultivo de café ha conllevado a que el Perú se convierta en uno de los principales exportadores de café a nivel mundial, lo cual es benéfico no solo para la economía del país, sino también para los ciudadanos porque se generan más puestos laborales a nivel nacional. Por ello, es importante que las personas dedicadas a esta actividad cuenten con los recursos necesarios a fin de garantizar su calidad y, por ende, una mayor exportación y venta.

2.1. Definición de café

El café es una bebida muy popular en el mundo y presenta una gran variedad (Orús, 2023). Se obtiene del cafeto, el cual pasa por un proceso de tostación y molido para convertirse en polvo y ser mezclado con agua para su posterior bebida. En un sentido estricto, Serna *et al.* (2018) manifiesta que el café es una planta tropical que pertenece al género *Coffea*, familia *Rubiaceae* y cuenta con más de 103 especies, de las cuales solamente dos son usualmente destinadas al comercio mundial (*arábica* y *canephora*). La especie *canephora* se caracteriza por tener una mayor resistencia a la roya y un mayor contenido de cafeína.

La variedad *arábica*, por su parte, es el tipo de café que más se comercializa (60 %) en el mundo, debido a que se le considera como el mejor café por sus propiedades organolépticas, tales como su aroma, acidez y dulzor, características que se deben a los compuestos químicos que lo componen, los cuales se encargan de darle una mejor calidad sensorial y estimular al sistema nervioso. Dentro del café *arábica* se encuentran más variedades: bourbon, típica, pache, mundo novo, catimor, catuaí y caturra (World Coffee Research, s.f.).

- Variedad bourbon: se identifica por tener forma cónica, hojas anchas y onduladas en los bordes, y gran cantidad de ramas secundarias. Puede ser plantada en altitudes diferentes, pero se recomienda que esté a una altura de 1070 a 1980 metros para obtener una mejor cosecha. Actualmente, se le considera uno de los cafés más importantes a nivel cultural y genético.
- Variedad típica: es original de Etiopía. Actualmente, las plantaciones de esta variedad se encuentran en Cuba, Santo Domingo, México, Puerto Rico y Colombia. Es la variedad más importante del café *arábica*.
- Variedad pache: proviene de la mutación de la variedad anterior, ya que se relaciona únicamente con el gen SbSb, el cual ocasiona que la planta sea más pequeña. La variedad pache destaca por ser compacta, de buena calidad, de rendimiento bajo a medio y por ser susceptible a la roya.
- Variedad mundo novo: se caracteriza por ser una planta productiva y vigorosa, susceptible a la roya y de buena calidad. Suele ser cultivada en Brasil y, en menor medida, en Centroamérica y el Caribe.

- Variedad catimor: se caracteriza por ser de porte bajo, tener una gran cantidad de ramas laterales, tronco grueso, estructura compacta, entrenudos cortos y por tener tolerancia a la roya amarilla del cafeto.
- Variedad catuaí: es de tamaño pequeño y con densidad alta, lo cual permite un fácil y adecuado tratamiento para enfermedades y plagas. Tiene un rendimiento organoléptico y físico bueno.
- Variedad caturra: es el producto de una mutación natural de la variedad bourbon, la cual ocasiona que la planta crezca menos. Pese a ser compacta, tiene una gran calidad estándar y potencial de rendimiento, además de mostrar susceptibilidad a la roya.

Las variedades del café son una de sus fortalezas porque le ha permitido ser el segundo producto más consumido en el mundo. De acuerdo con López *et al.* (2021), el café posee características organolépticas y una diversidad de compuestos químicos que la responsabilizan de tener una alta calidad sensorial y efectos fisiológicos. Un claro ejemplo es la cafeína, que tiene propiedades capaces de estimular el sistema nervioso central e incidir en el estado de alerta de la persona. Otros de los aspectos que influyen en su consumo es la manera en que se procesa porque, según algunos estudios, el café procesado de forma tradicional; es decir, sin máquinas, permite que los cosechadores puedan elegir los mejores granos de café.

De este modo, el café no pasa desapercibido por ningún país, pues, según lo enunciado por Rufin *et al.* (2021), por lo menos el 30 % de las personas de todo el mundo consumen una taza de café al día, entre los que destacan los habitantes de países europeos, latinoamericanos (Brasil y Colombia) y norteamericanos. Sin embargo, hay fuentes bibliográficas que indican que el café genera efectos que perjudican la salud del individuo y otras que señalan que es beneficioso para el organismo porque evita el envejecimiento, no es cancerígeno, es antioxidante, entre otros.

En general, el café es un producto de alto consumo, pues no hay mercado internacional que no lo ofrezca, lo cual beneficia a la economía del país, principalmente, de aquellas naciones que se dedican a su exportación. Este solo debe ser consumido con moderación, ya que, a pesar de los beneficios que ofrece, puede dañar la salud si se consume con desmesura porque causaría malestar estomacal y otras dolencias.

2.2. Café: principales componentes

El café, como se ha explicado previamente, es una semilla del cafeto, de forma ovalada y de color amarillo verdoso que se bebe luego de tostarse, molerse y mezclarse con agua. Se caracteriza por tener un sabor amargo, ser cremoso, tener un cierto grado de acidez, un aroma complejo por los 800 compuestos que lo conforman, y un sabor claro y seco.

Respecto a sus componentes, el café está compuesto por un aproximado de 1000 sustancias químicas diferentes, entre las que se incluyen aminoácidos, polisacáridos, triglicéridos, azúcares, ácido linoleico, ácidos volátiles (acético y fórmico), diterpenos (kahweol y cafestol), ácidos no volátiles (tartárico, láctico, pirúvico, cítrico), cafeína, compuestos fenólicos (ácido clorogénico), minerales y vitaminas. También está constituido por melanoidinas, que derivan de la caramelización de carbohidratos o de las reacciones de pardeamiento no enzimático. Cortijo (2017) manifiesta que el café está constituido por agua (6-13 %), que se evapora durante el proceso de tostado; también está compuesto por materias grasas (15-20 %); proteínas (11 %); cafeína y alcaloides; cantidades pequeñas de magnesio, calcio, fósforo, potasio y cromo.

Los componentes del café previamente mencionados que más destacan son la cafeína, los ácidos clorogénicos, cafestol y kahweol.

2.2.1. Cafeína

La cafeína es la protagonista del café. Es un compuesto bioactivo que contribuye a mantener el sabor amargo y es el responsable de los efectos fisiológicos, debido a que actúa como estimulante del sistema nervioso central. La cantidad que se ingiera varía en cada taza de café, pues puede de 27 a 150 mg/100 ml, lo cual también incrementa o reduce el impacto que tenga en el cuerpo (Vidal *et al.*, 2021). La cantidad de cafeína también depende de la variedad del café porque la arábica contiene 1.16 % y la robusta 2.15 %. Los niveles de cafeína, en el café preparado, varían entre 29 y 176 mg/taza, lo cual depende de la solubilidad y concentración. En el caso del café instantáneo, el contenido de cafeína es de 60 mg/taza y en el café descafeinado instantáneo es de 3 mg/taza, aproximadamente.

La cafeína suele ser absorbida rápidamente en el tubo digestivo y se distribuye en los tejidos del organismo. El metabolismo de la cafeína ocurre en el hígado, donde se generan más de 25 metabolitos y el 5 % restante se excreta mediante la orina.

2.2.2. Ácidos clorogénicos

Los ácidos clorogénicos, junto con la cafeína, son los componentes bioactivos que se presentan en mayor proporción en el café, principalmente, en la variedad arábica (Vega *et al.*, 2018). Pertenecen al grupo de compuestos fenólicos llamados ácidos hidroxicinámicos, los cuales se caracterizan por derivar de la unión del ácido químico y del ácido cafeico, y por incidir en la formación del aroma, así como del sabor amargo. Los ácidos clorogénicos también son componentes que actúan como antioxidantes, antivirales, hipoglicemiantes, nutracéuticas, hepatoprotectoras, entre otros.

El consumo de ácido clorogénico en el café suele ser de 0.5-1 g/día, cantidad que debe respetarse para evitar que afecte la presión arterial, esencialmente, de sujetos hipertensos, ya que aún no hay estudios que indique que la presión arterial de las personas hipotensas o normotensas bajen; por lo que pueden consumir este ingrediente sin ningún problema.

2.2.3. Cafestol y Kahweol

Son compuestos liposolubles que se encuentran en el aceite derivado del grano de café y se diferencian, solamente, por presentar un enlace doble extra (kahweol). Sirven para incrementar los lípidos séricos y para diversas acciones farmacológicas, por ejemplo, se usa como anticancerígeno, antiinflamatorio, hepatoprotectora y antidiabética (Ren *et al.*, 2019). La concentración de ambos compuestos depende del tipo de café, pues la variedad arábica contiene cafestol y kahweol, en cambio, la robusta contiene solo la mitad de los dos compuestos. En los granos de café arábica también se presencia, pero en 1 %. Cabe precisar que, a diferencia del kahweol, el cafestol ocasiona que el colesterol se eleve, lo cual podría ocasionar daños cardiovasculares en la persona.

En cuanto a la pulpa de café, está constituida por grasa (2.0–7.0 %), proteínas (7.5–15.0 %) y carbohidratos (21–32 %), (15). A nivel química, se compone de materia seca (92 %), extracto libre de nitrógeno (49.2 %), fibra cruda (20.8 %), extracto etéreo (2.6 %), ceniza (8.8 %), proteína cruda (10.7 %) y taninos (1.8 %) (Rivas, 2018).

De manera general, los componentes del café (cafeína, trigonelina, diterpenos, melanoidinas) y los lignanos, taninos y antocianinas condicionan sus acciones antiinflamatorias y antioxidantes, además de la calidad, el sabor y el aroma del café, principalmente en las semillas de café verde.

2.3. Tipos de café

Son diversos los tipos de café que se han registrado hasta hoy en día. Esta diversidad se debe al lugar donde se produce, a la forma en que se prepara y al manejo del cultivo por parte del productor. Para una mejor comprensión de los tipos, se realiza una clasificación, en la cual se realiza la respectiva explicación de manera detallada.

2.3.1. Según su origen

Una de las clasificaciones es según el origen del café, puesto que este puede provenir de América y África, los que, a su vez comprenden la siguiente tipificación:

2.3.1.1. Café de América.

En el café de América están los que provienen de Brasil, Colombia, Costa Rica, Guatemala, Jamaica, México, Nicaragua y Perú. El café que se produce en Brasil es uno de los más cotizados en el mundo debido a su aroma suave y fino, lo que ha conllevado a que en el presente siglo se convierta en el principal productor de café a nivel global (Da Cruz *et al.*, 2021). Los cafés que se cultivan en este país corresponden a la variedad arábica y robusta, motivo por el cual predomina su sabor dulce sin acidez y achocolatado. El café de Colombia es el segundo más exportado en el mundo, el cual se caracteriza por tener la marca Juan Valdez; es un país que posee todos los medios necesarios para su cultivo porque se ha demostrado que su clima tropical, latitud, altitud, fertilidad y luz solar permiten que la tierra adquiera todos los nutrientes necesarios para conseguir el mejor grano posible.

Costa Rica también es un país que se posiciona como uno de los productores de granos café premium más importantes del mundo (Instituto del Café de Costa Rica, s.f.). En esta región se cultiva café arábico por los recursos naturales propios del territorio, ya que todo el año dispone de un clima adecuado y una gran altitud que crean las condiciones perfectas para cultivar. Guatemala produce un café que se caracteriza por tener diferentes grados de acidez y buen cuerpo, lo que se debe a los microclimas y al proceso de cosecha y elaboración. El café de Jamaica es producido bajo ciertos estándares de calidad que regulan cada proceso desde su cultivo hasta proceso; el más reconocido es el Blue Mountain. A México se le considera como uno de los principales países productores de café orgánico, el cual destaca por su calidad gracias al ecosistema de la zona.

Nicaragua es un país que genera café de gran calidad porque cuenta con diversos factores que elevan su calidad, por ejemplo, la tierra fértil, la ubicación, precipitaciones suficientes, cultivos en sombra y mano de obra calificada. Por último, Perú es otro de los países más importantes en la producción de café (especialmente arábica) porque ha demostrado tener una buena combinación de sabores y aromas. De lo expuesto, se puede rescatar que gran parte de los países productores de café tiene un ambiente apropiado para su cultivo, pero no es el único factor que influye en la producción de café porque también es necesario conocer las malezas que afectan su crecimiento, así como su composición florística y las herramientas necesarias para un manejo integrado por parte de los agricultores (Castro *et al.*, 2019).

2.3.1.2. Café de África.

Destacan el café de Tanzania, Kenia, Etiopía y Camerún. Tanzania es el quinto productor de café en África (Perfect Daily Grind, 2022) y se caracteriza por tratar a sus cultivos sin fertilizantes artificiales, lo que da lugar a que el producto sea 100 % orgánico, con mucha acidez y aroma. Kenia se caracteriza por producir un café ácido, de cuerpo denso y rico, y un sabor distintivo por tener un punto de equilibrio de dulzura y sabor a cítricos. Etiopía se identifica por tener uno de los cafés más complejos del mundo porque sus características varían de acuerdo a la región y al proceso de producción. Camerún vende un café fuerte y amargo, y ocupa el puesto 21 como uno de los países que más produce café en el mundo.

2.3.1.3. Café de Asia.

En este continente está el café de Célebes, India, Java, Sumatra, Vietnam y Yemen (La Nación, 2022). Célebes (Indonesia) es famoso por su café de acidez elevada y fuerte sabor. India es la región donde se cosecha más del 90 % de café nacional, el cual se caracteriza por su poca acidez, sabor vinoso y ligero; asimismo, ocupa el séptimo puesto de productor de café a nivel mundial. El café de Java se particulariza por producir granos de café con aromas y un sabor fuerte, como picante y dulces, lo que se debe a las condiciones geográficas y climáticas donde se realiza el cultivo. Sumatra es conocido por ofrecer cafés con una acidez delicada. Vietnam es conocido por ser el segundo país productor de café a nivel mundial y primero en la variedad robusta. Yemen destaca por el café moka, que ha demostrado ser de gran calidad y muy apreciado en el mundo islámico.

2.3.2. Según su preparación

El origen del café es uno de los componentes que garantiza un buen café, pero no es el único que destaca, ya que un buen sabor también depende de la forma en que prepara; es decir, la calidad sensorial tiene una relación directa con los protocolos de preparación y evaluación de los atributos (Osorio, 2021). A continuación, se detallan los tipos de café según su preparación:

- *Café espresso*: tipo de café de color negro fuerte elaborado con agua caliente. Se caracteriza por tener más cafeína (80 mg) que el café normal.
- *Café capuccino*: compuesto por un *espresso* (25 ml), crema de leche y leche para lograr una acidez equilibrada.
- *Café ristretto*. Del italiano ‘restringido’. La preparación es similar a un *espresso* corto porque se usa la misma cantidad de café, pero con la mitad de agua.
- *Café turco*: café de molienda muy fina y apariencia oscura. Tiene un sabor agradable por su consistencia espesa, la cual estimula las papilas gustativas.
- *Café americano*: tiene mayor popularidad en Estados Unidos. Su sabor es ligero y suave, es decir, es menos amargo.
- *Café largo*: también se le conoce como Lungo. Destaca por su forma de preparación, ya que los granos de café que usa entran en un contacto prolongado con el agua, lo cual lleva a una mayor cantidad de infusión.
- *Café macchiato*: es uno de los cafés con mayor demanda. Su preparación parte del *espresso* al cual se le añade leche hasta que tiña el café.

Estos son los tipos de café más resaltantes según su preparación, los cuales deben ser elaborados con cantidades exactas de café y leche a fin de producir el sabor y texturas adecuadas. Para esto, también es fundamental que los granos sean de buena calidad, de tal manera que la mezcla presuma sus matices aromáticos y sabores especiales.

2.3.3. Según la forma de manejo

Según la forma de manejo es el tercer tipo de clasificación del café que se presenta. Se ha dividido en orgánico (sin sustancias químicas) y no orgánico (con sustancias químicas), los cuales se describen a continuación.

2.3.3.1. Café orgánico.

Es el tipo de café que se produce sin la necesidad de usar sustancias químicas artificiales (herbicidas, aditivos y pesticidas) u otro tipo de alteración para su cultivo y producción. Se siembra en la sombra para proporcionar humedad al cultivo y contribuir a una producción de café de calidad alta mediante la aplicación de técnicas agrarias. El café orgánico tiene grandes beneficios para el medio ambiente y la salud porque no contiene sustancia química, aporta antioxidantes, beneficia el cultivo, y contribuye a tener un ecosistema más limpio y a la reducción de emisión de gases que dañan la capa de ozono. En el Perú, el café orgánico es cultivado bajo sombra de árboles, como el plátano, naranja, aguacate y mandarina.

Ahora, este tipo de café está regido por los siguientes principios de producción (Inagro, 2021):

- Económicamente viable: tiene por finalidad mejorar los ingresos del productor debido al sobreprecio que se paga para adquirir el café orgánico.
- Ambientalmente amigable: protege y respeta el ambiente a través del uso de técnicas e instrumentos que armonizan con la naturaleza. De este modo, se evita la destrucción de los recursos naturales de las áreas subtropicales y tropicales.
- Socialmente justa: está dirigida a mejorar la calidad de vida y el bienestar del consumidor y del productor.

Cabe precisar que el cultivo ecológico del café se planta en pequeñas parcelas y está regido por las normas internacionales de producción e industrialización, las cuales son verificados por un sistema de certificación con el propósito de garantizar la trazabilidad de cada grano de café desde su plantación hasta su consumo final con el objeto de comprobar que no haya sido alterado con productos químicos. Dicha certificación otorga el título de café certificado para dar a conocer que el producto tiene una certificación orgánica, pues el café fue producido en un terreno que cumplió con las regulaciones orgánicas y evitó el uso de pesticidas u otros químicos. Algunas de las

entidades encargadas de certificar son las siguientes: CAAE (Francia), Ecocert (Brasil) y Bio Latina, que fue formada por la unión de cuatros instituciones independientes de América Latina. Las tres certificaciones se enfocan en contribuir con un planeta más resiliente y sostenible, y en promover la agricultura orgánica para hacerla más accesible a los pequeños productores. Otro de las certificaciones que también pueden obtenerse es *Fair Trade* (certificación FLO), la cual garantiza el comercio justo, en otros términos, el desarrollo económico y sostenible entre los agricultores

2.3.3.2. Café convencional.

El café convencional es el café que se trata de forma química. Está compuesto por cafeína (1.3-2.4 %), ácidos alifáticos (2.4-2.5 %), ácido clorogénico (2.7-3.1 %), minerales (4.5- 4.7 %), proteínas (10 %), lípidos (11-17 %), melanoidinas (23 %) y, principalmente, carbohidratos (38- 42 % base seca). Entre los componentes mencionados, el que más destaca es la cafeína, pese a encontrarse en una menor proporción, lo cual se debe a los diversos efectos que produce en el cuerpo, tales como bloquear los receptores de adenosina y actuar como un receptor competitivo antagonista.

Para su cultivo se usan fertilizantes sintéticos, herbicidas, pesticidas, insecticidas y fungicidas, los cuales afectan la salud del agricultor al estar expuesto a altas cantidades de sustancias químicas durante el cultivo y la manipulación de la cosecha (Cabaní, 2019). Usualmente, se cultiva la variedad arábica por los beneficios económicos que trae consigo, ya que es una de las más vendidas en el mundo por su sabor y aroma. Tiene como principal competidor a la variedad robusta, la cual tiene un mayor nivel de cafeína (Di Donfrancesco *et al.*, 2019).

Considerando lo expuesto, se observa que ambos tipos de café muestran ciertas similitudes, sobre todo, en lo que respecta al uso de sustancias químicas para su cultivo, pero no es la única diferencia que destaca porque también está el impacto que genera en el ambiente, el cual es dañado en mayor proporción por el café convencional debido a la gran cantidad de químicos que se usa (pesticidas, fungicidas, herbicidas, entre otros); a su vez, estos productos también afectan en la salud de las personas pudiéndoles ocasionar problemas digestivos o enfermedades crónicas. El café orgánico, en cambio, no contamina el agua y combate el cambio climático al emitir menos carbono al ambiente.

2.4. Valor nutricional del café

Si bien, el café tiene componentes que no aportan nutrientes al cuerpo; sin embargo, juegan un rol fundamental en la nutrición, pues de las 1000 sustancias químicas naturales que poseen, algunas ofrecen calorías, proteínas, grasas, entre otros, lo cual va a depender y variar por ciertos factores, tales como el origen geográfico y la especie (Gómez *et al.*, 2018).

Según las investigaciones, el café en general tiene el siguiente valor nutricional en una cantidad de 100 gramos: energía 256.67 Kcal, potasio 3051.33 mg, fósforo 276.00 mg, proteínas 14.00 g, hidratos 30.13 g, fibra 19.40 g, vitamina B2 0.55 mg, vitamina B3 22.18 mg, vitamina B6 0,07 mg, vitamina B9, 8.33 µg, calcio 155.33 mg, hierro 8,40 mg, magnesio 300.67 mg, yodo 1.10 µg y AGP 1.81 g (Espinoza, 2022). Así también, proporciona ácidos grasos saturados (0.002 g), monoinsaturados (0.0 g), poliinsaturados (0.002 g) y trans (0.0 g).

De manera específica, en las variedades más resaltantes (arábica y robusta), (Gómez *et al.* (2018) señalan lo siguiente:

- Proteínas: la variedad robusta contiene en sus granos de 12 a 16 %, mientras que la arábica, de 12 a 15 %.
- Carbohidratos: la variedad robusta contiene en sus granos un 61 %, mientras que la arábica, solo un 57 %.
- Azúcares libres (sacarosa, fructosa y glucosa): la variedad robusta contiene en sus granos de 3.5 a un 7.5 %, mientras que la arábica, de 5 y 9 %.
- Grasas o lípidos: la variedad robusta contiene en sus granos de 10 a un 15 % en base seca, mientras que la arábica, más de 15 %.
- Fibras: la variedad robusta contiene en sus granos de 17 a 20 %, mientras que la arábica solo un 16 %

En este aspecto, el café tiene diversos componentes nutricionales beneficios para el organismo, lo cual no quiere decir que se consuma en grandes cantidades, en vista que ingerirlo en exceso provoca daños en la salud: dolores de cabeza, insomnio, temblores, malestar estomacal, cambios en las horas de sueño, entre otros.

2.5. Ventajas y desventajas del café en el cuerpo humano

El café, como se ha demostrado, es una bebida popular a nivel internacional, y, debido a que su consumo es masivo, ha sido necesario la realización de numerosos estudios para identificar cuáles son los efectos que produce en el cuerpo, independientemente si son benéficos o no. Salmerón (2021) señala que el café brinda ventajas y desventajas en la salud porque hay personas que no deben tomarlo, debido a que los ocasiona problemas cardíacos, como la hipertensión, que contribuyen a la elevación de la presión arterial, lo que, a su vez, provoca ataques cardíacos, derrame cerebral, vasos sanguíneos debilitados, entre otros. Por lo expuesto, se aconseja que las personas que padecen de enfermedades cardíacas, digestivas, de insomnio, epilepsia, estrés y ansiedad no lo consuman hasta que hayan recibido el tratamiento adecuado, según sea el caso.

No obstante, no todos los efectos que ocasiona son negativos, puesto que se han reportado que algunos de los compuestos que constituyen el café (ácido clorogénico, kahweol, cafestol) tienen propiedades vasodilatadoras y antioxidantes, que impactan de modo favorable en la salud cardiovascular y disminuye la mortalidad general al facilitar el transporte de la sangre. Con relación a la mortalidad por afecciones cardiovasculares, hay investigaciones que reportaron que el riesgo es menor para las personas que consumen diariamente tres a cuatro tazas comparados con aquellos individuos que no los consumen, pues el riesgo de mortalidad disminuye en un promedio de 12 a 17 %.

También se ha mencionado que uno de los componentes del café, la cafeína, puede tener efectos positivos en el sistema inmune, pero aún faltan investigaciones que demuestren este postulado, sin embargo, hasta el momento, sí se ha demostrado que la cafeína es un activo que mejora la concentración y la atención, reduce la incidencia de diabetes, disminuye la fatiga mental, retarda la aparición de Alzheimer, aumenta la frecuencia y contractilidad cardíaca, y alivia la migraña. Cabe precisar que, a nivel cognitivo, los beneficios del café se le atribuyen a la cafeína, la cual optimiza la atención y la alerta; no obstante, también puede perjudicar el comportamiento por los diversos compuestos que posee.

Otras de las ventajas son explicadas por Gómez *et al.* (2021), quienes detallan que el café previene el desarrollo de fibrosis hepática debido a las propiedades hepatoprotectoras y antivirales; así también, porque reduce el estrés oxidativo y mejora la homeostasis de las grasas. Por otro lado, se asocia con la reducción del cáncer de mama, cutáneo, de próstata y endometrial, y con las

enfermedades neurológicas, específicamente, la enfermedad de Parkinson y depresión. Los autores también especifican que el café ayuda a la mejora del equilibrio energético, al aumento de la tasa basal y a la estimulación del sistema nervioso simpático.

Pese a las ventajas que demuestra, también debe tomarse en cuenta que su consumo puede resultar perjudicial si no se toma moderadamente. Bonilla (2017) afirma que si se ingiere en exceso puede resultar perjudicial para el sueño, la función mental, el aparato cardiovascular y digestivo. El café en exceso también afecta a los hijos de madres que suelen ingerirlo porque ocasiona que nazcan desnutridos; por ello, si se detectan estos casos, los profesionales de la salud indican que los niños no deben tomar energizantes o bebidas gasificadas por el alto contenido de xantinas, que equivale a cuatro tazas de café.

Al respecto, Gómez *et al.* (2021) sostienen que se ha detectado que son numerosas las mujeres embarazadas que consumen una gran cantidad de café, a pesar que los efectos adversos que este produce. Por esto, dan a conocer que, en un estudio, se encontró una relación positiva entre el embarazo y el riesgo de aborto, sobre todo, en aquellas gestantes que consumían más de 400 mg/día comparadas con aquellas que consumían menos de 50 mg/día. Asimismo, en un metaanálisis se evidenció que el consumo de 300 mg/día incrementaba de manera significativa el riesgo de aborto espontáneo.

Otra de las desventajas del café se vincula con la fertilidad. En una revisión sistemática se muestra que la ingesta de cafeína afecta negativamente la función reproductiva masculina, aunque las pruebas que se han realizado todavía no son del todo consistentes. Por tanto, es menester que se analicen las muestras de semen con criterios prediseñados y bien definidos para verificar si, efectivamente, perjudica la fertilidad del hombre.

En general, el café es un recurso que no pasa desapercibido en cuanto a las ventajas y desventajas que tiene sobre la salud, pues, como se ha observado, se asocia con diferentes enfermedades crónicas, tales como el cáncer; sin embargo, se sugiere que su consumo sea dentro la cantidad normal (cuatro tazas como máximo) o sumamente moderado para las embarazadas a fin de evitar alteraciones en el crecimiento del feto. Con lo expuesto, queda demostrado que el café es un excelente recurso natural para la prevención de diversas enfermedades, además de que, en temas económicos, supone un gran ingreso monetario a los países productores y exportadores.

2.6. Producción de café en el Perú

La producción de café se ha incrementado con el paso del tiempo por las ganancias que pueden obtenerse de este, lo que ha conllevado a que más países se sumen a la producción y venta de dicho producto considerando la calidad (selección de los granos), pues es un factor clave para el acceso a mayores y mejores mercados de carácter nacional e internacional (Rosas *et al.*, 2019). En esta misma línea, Buendía *et al.* (2020) afirman que, para una buena venta del café, este debe tener buenas características organolépticas y físicas, dicho de otro modo, para que se produzca y venda una mayor cantidad es preciso considerar el perfil que debe tener cada variedad del café común o especial, para su posterior revisión por la Asociación de Cafés Especiales de América.

En el Perú, la producción de café se encuentra en una etapa de auge porque la calidad que ha demostrado en sus granos es excelente. En este país, el café que se produce de forma exclusiva es la arábica, del cual el 70 % pertenece a la variedad Typica; el 20 %, a la variedad Caturra; el 10 %, a otras variedades (Junta Nacional del Café, 2020).

Gran parte de la producción se concentra en la región andina y amazónica. Para tener una idea más clara de las zonas cafetaleras en el Perú, se cita al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo y Grupo Banco Mundial (2016), el cual explica que los clústeres productivos son tres: del norte, Junín y Cusco, tal como se detallan a continuación:

- Clúster del norte: es la zona cafetalera de mayor importancia porque abarca el 50 % de la producción del total nacional. Está constituido por las regiones de Amazonas, San Martín, y Cajamarca, precisamente, en las provincias de Moyobamba (San Martín) con 6.7 %, Rodríguez de Mendoza (Amazonas) con 8.3 %, San Ignacio y Jaén (Cajamarca) con 12.6 % y 7.3 %, respectivamente. Las otras provincias que producen café en menor proporción de San Martín son Rioja (3.4 %), Lamas (3 %), Tocache (2.3 %), Huallaga (1.7 %), San Martín (1.4 %), Bellavista (1.3 %), Picota (1 %), El Dorado y Mariscal Cáceres (0.6 %); de Amazonas son Uctubamba (3.2 %) y Bagua (1.1 %); de Cajamarca son Cutervo (0.6 %), San Miguel (0.2 %) y Chota (0.1 %).
- Clúster de Junín: es la segunda zona cafetalera de mayor importancia porque abarca más de 17 % de la producción del total nacional. La producción es realizada en las provincias de Chanchamayo (17.1 %) y Satipo (10.4 %), de los cuales, el primero es el nodo principal del

clúster en cuestión.

- Clúster del Cusco: es la tercera zona cafetalera de mayor importancia porque abarca más de 14 % de la producción del total nacional. La producción se concentra en la provincia La Convención con 14 % seguida del Calca con 2.8 %.

Para que la producción del café sea efectiva, en el 2019 se decretó la aprobación del Plan Nacional de Acción del Café Peruano 2019-2030 cuyo objetivo es mejorar los niveles de sostenibilidad y competitividad social y ambiental de la cadena de valor del café. En este plan se dan a conocer las acciones estratégicas, así como el seguimiento y evaluación de los indicadores del producto y su resultado (Presidencia de la República, 2019).

En un informe del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2022), se expuso que el Perú y Etiopía se convirtieron en los productores y exportadores principales a nivel mundial del café orgánico. Ambos países han logrado posicionarse como líderes mundiales de la oferta de café orgánico, el cual es cultivado por pequeños agricultores (95 %) según lo reportado por entidades oficiales, como el Instituto de Investigación de Agricultura Orgánica (FIBL) y de Agricultura Orgánica (IFOAM).

Según la Junta Nacional del Café, representante de los productores peruanos de café, Etiopía es la nación que reporta la mayor área de café orgánico certificado, pero es Perú el que cuenta con la mayor oferta de granos, lo cual fue demostrado en el 2021, periodo en el que la producción nacional de café ascendió a un aproximado de un millón 200 mil quintales. Como consecuencia de la gran cantidad de pedidos, la producción del café se ha convertido en una fuente de empleo de más de 230 mil familias, lo cual no solo ha conllevado al incremento de la productividad, sino también de la calidad del grano.

Además, gracias a los productores cafetaleros, la calidad del grano ha conquistado mercados internacionales y ha obtenido el noveno puesto en producción y exportación mundial, superado por México, India, Honduras, Etiopía, Indonesia, Colombia, Vietnam y Brasil. En el 2020, las exportaciones registraron 760 millones de dólares y en el 2022, la cantidad de café exportado incrementó un 174 % durante los seis primeros meses.

En suma, el café es un producto de escala mundial producido en Asia, América y África. Está constituido por numerosos componentes, algunos de los cuales aportan grandes beneficios a la salud, pues es rico en antioxidantes y otros compuestos, como el magnesio; además, sirve como estimulante para mantener la concentración y la energía. Por otro lado, es uno de los productos agrícolas de mayor importancia mundial y nacional porque genera ingresos anuales de más de 15 millones de dólares y bolsas laborales a más de 20 millones de trabajadores a nivel internacional. Por ello, muchos países se esfuerzan por producir café de calidad según los estándares establecidos y, en el caso de Perú, bajo la supervisión de la Junta Nacional del Café, que es la encargada de acreditar a los inspectores y verificar que los productores cumplan con las buenas prácticas orgánicas a fin de garantizar la venta del producto y su expansión en el mercado nacional e internacional.

Capítulo III

Cultivo de café

El café es el primer producto agrícola de exportación en el Perú, lo cual se refleja en la cantidad de ventas anuales que genera este producto, la cual asciende a 770 millones de dólares (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, s.f.). Estas ganancias son uno de los motivos por el que diversas provincias del país (67) han destinado una mayor cantidad de hectáreas al café que, en conjunto, suman 425 416 ha, a fin de seguir potenciando y fomentando el cultivo de esta planta. Para lograr dichos objetivos no solo se requiere disponer de grandes cantidades de tierra, sino también de personas que conozcan el proceso de cultivo del café (caficultores) porque un manejo inadecuado en uno de sus procesos puede ocasionar granos de baja calidad, que serán desechados por no cumplir con los estándares de calidad.

Es así que los caficultores cumplen una gran labor en el proceso de cultivo y cosecha del café, que comprende desde el diagnóstico de la tierra hasta el proceso de tostado, pues tienen los conocimientos necesarios de las labores y recursos que deben utilizar para evitar la pérdida de granos, por ejemplo, sobre el uso de fertilizantes, los cuales son químicos que no deben emplearse en cantidades excesivas o si fuese posible evitarlo. Esto se debe a que existe cierta preocupación por su composición química, la cual afecta el crecimiento de la planta y la salud del caficultor a nivel respiratorio. Ahora, la misma importancia que poseen los caficultores también la adquiere el ambiente porque depende en gran medida del clima, la temperatura, el agua, la altura, entre otros, para que el cafeto se desarrolle sin complicaciones.

Entonces, hay varios factores que influyen en el proceso de cultivo y cosecha de café. Por esto, es una práctica que requiere del conocimiento humano y de materiales que permitan cuidarlo de enfermedades o ataques de insectos. Solo de este modo, la producción de café tendrá buenos resultados y se podrán obtener granos de alta calidad, independientemente de la variedad que haya cultivado, lo cual traerá mayores ganancias a los caficultores e industrias, además de mejorar la economía del país.

3.1. Caficultura

En las últimas décadas, el cultivo de café se ha convertido en una de las actividades agrícolas más importantes en el mundo por los altos ingresos que genera anualmente, por su valor social e importancia ambiental, debido a que no solo genera trabajo a las familias del campo, sino también a aquellos trabajadores que se enfocan en la producción de fertilizantes y otros químicos utilizados en los cultivos para evitar las plagas y enfermedades que solo ocasionan la reducción de la producción de café (Cardeña *et al.*, 2019). Para evitar este tipo de situaciones nefastas, los caficultores aplican una serie de estrategias, técnicas y herramientas con el propósito de evitar el deterioro de la cosecha para su posterior comercio. A este proceso, que comprende desde la actividad de producción y comercialización se denomina *caficultura*.

La caficultura es una de las ramas de mayor importancia en la actividad agrícola porque su aplicación genera numerosas ganancias. En un sentido estricto, la caficultura se define como la actividad agrícola que incluye la producción y comercialización del café, considerado como el segundo producto básico de mayor valor comercial según lo enunciado por la Organización Internacional del Café (Acevedo *et al.*, 2021). La caficultura también es entendida como un sistema socioecológico completo que atraviesa por diversas crisis, las cuales ocasionan el desarrollo de estrategias tecnológicas y organizativas por parte de los campesinos para implementar un proceso multifacético y dinámico para mantener o elevar el nivel de producción (Venegas *et al.*, 2020).

A las personas que se dedican a la caficultura se les denomina caficultores. La situación de caficultores puede tornarse complicada en ciertas ocasiones porque depende en gran medida de cuánto se impliquen en el cultivo y el país donde planten el café, puesto que hay países productores de café que suelen estar bajo conflictos armados y sociales, los cuales complican la formación de nuevas técnicas agrícolas. Otro factor que también incide es el cambio climático, fenómeno que agrava la situación de los caficultores porque ocasiona que el sembrío de café sea más difícil de realizar al no tener un clima adecuado para su desarrollo, afectando, de este modo, a las pequeñas explotaciones cafeteras (Giraldo *et al.*, 2018).

Es importante destacar que, en las últimas décadas, la caficultura ha sido abordada desde la complejidad de los estilos de manejo de esta actividad, partiendo de tres enfoques: la estructura de

la vegetación, la biodiversidad, y los recursos y la tecnología agrícola. Desde la vegetación porque es importante que los caficultores conozcan los recursos naturales de los cuales disponen para poner en práctica ideas innovadoras; desde la biodiversidad, pues es imprescindible que se conozcan si la zona está expuesta a altas pendientes, erosiones o fenómenos climatológicos, y a una tierra fértil; desde la tecnología agrícola y los recursos, puesto que se requiere investigar e implementar nuevas estrategias que mejoren la caficultura en término de eficacia, eficiencia y efectividad.

En general, la caficultura es una actividad económica de gran importancia mundial, lo cual se demuestra en la cantidad de personas que obtienen sus ingresos de la producción y venta de café (Merlin & Charbonnier, 2018). Asimismo, para que la caficultura no se vuelva inestable y afecte la economía y los puestos laborales de diversos trabajadores, se han creado cooperativas de caficultores; es decir, una agrupación de caficultores cuyo fin es mejorar el acceso a los recursos y negociar en los tratos comercial, por ejemplo, la Junta Nacional del Café (Perú).

De este modo, se intenta que la caficultura, la cual es duramente golpeada por el cambio climático, tenga un correcto avance a través del desarrollo de tecnologías, previa evaluación del entorno, para favorecer a una agricultura más sostenible y se garantice la producción de café. Así también, se ponen en marcha estrategias orientadas a la formación de caficultores en torno a la aplicación de técnicas agrícolas sostenible, con el propósito de obtener granos de café de alta calidad que permitan una mayor venta en el mercado nacional e internacional.

3.2. Proceso de cosecha del café

Antes de explicar el proceso de cosecha del café, es menester detallar las condiciones básicas que este sembrío requiere para una buena plantación y obtención de granos. La condición más importante para el cultivo de café son el calor y la lluvia, las cuales se presentan en gran medida entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Ambos son esenciales en la fertilidad de la tierra, pero es la lluvia, la que adquiere mayor importancia porque de esta depende la maduración de los frutos. También debe considerarse la temperatura que, usualmente, debe variar entre los 15 a 24 °C a fin de obtener suelos permeables, húmedos y ricos en nutrientes; la humedad, que no debe alcanzar niveles superiores a 85 %, debido a que un alto nivel de humedad ocasiona el ataque de enfermedades fungosas; el viento, pues los fuertes vientos ocasionan daños al tejido vegetal y favorecen la incidencia de enfermedades.

Ahora, el proceso de cosecha del café abarca una serie de pasos que comprende desde el diagnóstico de la finca hasta la cosecha del producto en cuestión, tal como se detalla a continuación.

3.2.1. Diagnóstico del terreno

El diagnóstico del terreno exige conocer las características de la zona, esto es, identificar el potencial que posee para el desarrollo del cultivo, así como las dificultades o puntos débiles que puedan presentarse en el proceso a fin de hacer frente a las situaciones adversas con base en las capacidades internas. La forma más práctica de abordar el diagnóstico es a través del análisis de cuatro aspectos claves: biofísicos, económico-productivos, administrativos y financieros-contables (Consejo Salvadoreño del Café *et al.*, 2020)

- Aspectos biofísicos: comprende la ubicación geográfica, precipitación, vegetación, temperatura, topografía y tipo de suelo. El suelo es muy importante porque las necesidades nutricionales de las plantas y la fertilidad del suelo depende de sus características químicas, biológicas y físicas.
- Aspectos económico-productivos: una de las debilidades que se ha identificado en la caficultura es la falta de registros, que sirven como apoyo para conocer los resultados obtenidos a nivel productivo y económico. El registro es importante para todas las empresas que se dedican a la producción de café porque mediante este se puede tener una mayor claridad sobre la extensión del cultivo y las personas que prestan sus servicios.
- Aspectos administrativos: las actividades deben ser planificadas de forma cuidadosa; paralelamente, debe identificarse la disponibilidad de los recursos financieros y humanos. A partir de la planificación de labores, es posible conocer las necesidades de la empresa, que incluye materiales, insumos y equipos.
- Aspectos financieros-contables: para una buena y correcta gestión financiera, se requiere conocer los costos de producción (control de plagas, por ejemplo), ventas, gastos administrativos, presupuesto, entre otros.

3.2.2. Cultivo del café

El cultivo del café es un proceso que demanda la inversión de trabajo humano y de recursos durante todo el año para la ejecución de actividades de poda, fertilización, limpia del cafetal, manejo de sombra, cosecha, renovación de plantas, entre otros, de tal manera que la producción de café, sobre todo, orgánico tenga un manejo agroecológico integral para obtener productos rentables (Henderson, 2019). Ahora, el cultivo de café sigue un proceso que debe ser aplicado por todos los caficultores, el cual se describe a continuación (Cuya, 2013):

a) Manejo de plantaciones

La plantación varía según el tipo de suelo, pero el hoyo suele tener una profundidad de 25 a 30 cm y un ancho de 20 cm. Una vez colocada la semilla, se aplica fertilizante alto en fósforo, también se recomienda usar insecticida para prevenir el ataque de insectos y un tapaviento para contrarrestar el viento durante los primeros meses de crecimiento.

b) Podas y deshijas del cafeto

Luego de un tiempo considerable de haber realizado la cosecha, la planta requiere el inicio de la poda. Para esto, es necesario conocer que la planta de café crece de dos maneras: hacia arriba o vertical (ortotrópico) y hacia los lados (plagiotrópico). Dependiendo del tiempo de crecimiento y agotamiento la poda variará. Cabe precisar que existen tres sistemas de poda: selectiva, sistemática y total por lote. La primera consiste en seleccionar las plantas agotadas, la segunda sigue un orden estricto y en la tercera se poda lotes completos, independientemente de la condición de la planta o extensión.

Es importante destacar que para lograr una aplicación eficiente del sistema se debe eliminar ciertos retoños de la planta, lo cual se realiza 2 o 3 meses después de haber podado; posteriormente, se seleccionan los brotes y se eligen a los más vigorosos. Por último, al haber una separación, se deshijan o se eliminan los retoños que brotaron juntos.

c) Proceso floración-maduración (FM)

Es el tiempo que transcurre desde que el cafeto florea hasta su maduración. El periodo estimado es de 6 a 8 meses, lo cual depende de la región donde se ha cultivado.

d) Floración del café

Es la época en la que la planta se prepara para producir los granos. Para esto, debe haber un buen manejo de la fertilización, riego, sombrero y otras labores de cultivo. Esta fase dura de dos a tres meses y en los días 90 y 120 después de la floración puede ocasionar los ataques de Broca, el cual puede prevenir con el recojo de los frutos caídos luego de la cosecha.

e) Época de cosecha

A nivel nacional la época de cosecha varía según la zona de producción. Para ejemplificar, se presentan las zonas cafetaleras más relevantes del Perú: en Rodríguez de Mendoza (Amazonas), la cosecha es en los meses de mayo a junio y el tipo de café más cosechado es el tradicional (85 %) seguido del selectivo (15 %); en San Ignacio (Cajamarca), la cosecha es en los meses de marzo hasta agosto, dependiendo de la altura, y el tipo de café más cosechado es el tradicional (75 %) seguido del selectivo (25 %); en Chanchamayo (Junín) la cosecha es en los meses de febrero hasta julio, dependiendo de la altura, y ambos tipos de café son cosechados en la misma cantidad; en Lamas (San Martín), la cosecha es en los meses de marzo hasta julio, dependiendo de la altura, y el tipo de café más cosechado es el tradicional (60 %) seguido del selectivo (40 %)

- Cosecha de los granos de café: es la cosecha más importante y consiste en el recojo de los frutos ya maduros de la planta. La actividad es realizada de forma reiterativa porque el café tiene floraciones escalonadas.
- Cosecha selectiva: consiste en el recojo de frutos maduros uno por uno. Es una actividad realizada en mayor proporción en Chanchamayo (50 %), seguido por Villa Rica y Lamas (40 %), lo que significa que no todos los agricultores tienen el cuidado requerido para recolectar y seleccionar los frutos, lo cual debería ser considerado para evitar deficiencias en la calidad del producto. Para una correcta selectiva, se siguen una serie específica de pasos: proveerse de canasta y costales, cosechar de arriba hacia abajo en zigzag, arrancar los frutos uno a uno, dejar caer los frutos a la canasta, luego de terminar con la planta seguir con la recolección de los frutos caídos y pasar los frutos de la canasta al saco.

En la cosecha en general, los granos de café que cayeron deben ser recogidos del suelo para evitar que se propague la broca, los frutos cosechados no deben estar mucho tiempo en el campo y deben

colocarse bajo la sombra para evitar su fermentación, que afecta la calidad de producto y, por ende, su venta.

3.2.3. Uso de fertilizantes químicos en el cultivo de café

Los fertilizantes se han convertido en un recurso muy importante en las actividades agrícolas porque permiten obtener una mayor producción y de calidad. Usualmente, se utilizan los fertilizantes químicos en lugar de los orgánicos, puesto que reducen en gran medida las bacterias que suelen aparecer en el desarrollo de las plantas.

Los fertilizantes químicos son nutrientes artificiales que derivan de animales, minerales, sintético o plantas, y se caracterizan por ser elaborados con nutrientes principales para la tierra que son fósforo, nitrógeno y potasio a diferencia del fertilizante orgánico, que comprende harina de pescado, abono verde, compost y harina de hueso. Sin embargo, el costo puede ser un poco elevado porque los fertilizantes químicos incluyen costos de fabricación más el contenido energético del producto (Rosado *et al.*, 2021).

Ahora, la fertilización del café es una de las prácticas más importantes en este cultivo, pues depende de esta la calidad del grano que se extraiga y de las ganancias que obtenga el caficultor. Para ello, el café requiere tener los nutrientes necesarios para su crecimiento y resistencia a enfermedades, lo cual demanda la presencia de 16 elementos químicos esenciales que se encuentran en los fertilizantes químicos, entre los que destacan nitrógeno, fósforo y potasio. El nitrógeno porque favorece el crecimiento de la planta e incrementa la producción de hojas y el contenido de proteínas; el fósforo, pues aumenta las raíces y desarrolla el fruto; el potasio, puesto que fortalece las defensas del cafeto para evitar enfermedades, también mejorar la calidad del grano y ayuda a la fotosíntesis.

Si la planta no tiene estos elementos, se presentan deficiencias nutritivas. Si hay deficiencia de nitrógeno, las hojas verdes comienzan a amarillarse desde su ápice hasta el borde; si hay deficiencia de fósforo, las hojas tienden a presentar áreas necróticas y manchas amarillas, lo que termina en la caída de las ramas y hojas; si hay deficiencia de potasio, las hojas muestran bordes necróticos y un color amarillento, lo cual ocasiona la defoliación, es decir, una caída prematura de las hojas.

El uso de fertilizantes es realmente útil para el desarrollo de la planta del café, pero su aplicación excesiva solo ocasiona un desequilibrio ecológico en el suelo, lo que conlleva a afectar las propiedades del suelo, como la conductividad eléctrica, el pH y el balance entre iones de sodio, calcio y magnesio. Cuando los contenidos de estas tres sustancias están desequilibrados, la planta no podrá absorber los nutrientes necesarios para su desarrollo, por lo que presentará deficiencias nutricionales y la obtención de granos de baja calidad.

Por otro lado, el uso de fertilizantes químicos no solo es perjudicial para la tierra y la planta, sino también para las personas que lo emplean al ser un elemento tóxico. El caficultor al estar expuesto a los componentes químicos del fertilizante, corre el riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias, por lo cual, cuando se siente algunos síntomas, como mareos, picazón en la piel, ardor en la piel, presión arterial baja, dolor de estómago, ardor en la garganta y nariz, entre otros, es preciso que el afectado consiga ayuda médica para tratar el problema. En caso de que el trabajador haya ingerido el fertilizante, se le deberá suministrar leche o agua para limpiar el organismo de los químicos ingeridos.

Si bien, el uso de fertilizante es indispensable para asegurar una buena cosecha del café; no obstante, debido a que alrededor del 40 % de las plantaciones son fertilizadas con nitrógeno, la situación se torna grave porque, desde una perspectiva ambiental, la contaminación del agua por nitrato está muy extendida y a niveles peligrosos (Montes & Anaya, 2019). En este aspecto, el uso de fertilizantes en el cultivo de café debe ser moderado porque su aplicación excesiva ocasiona que la tierra sufra daños que pueden perjudicar el desarrollo de la planta, además el residuo que se desecha cae en aguas subterráneas o de la superficie, lo que ocasiona que microorganismos terrestres y acuáticos no sirvan como alimento y se destruya la vida animal y acuática.

Entonces, los fertilizantes químicos son benéficos para la agricultura, pero su uso desmedido resulta perjudicial para esta porque generan residuos que producen acidificación, salinización, compactación del suelo, problemas en el drenaje y emanación de gases tóxicos. Por ello, para evitar dañar el medio ambiente, se han desarrollado medidas, tales como la producción de fertilizantes y el compostaje de materia orgánica a fin de favorecer la producción agrícola sustentable y la recuperación de los suelos (Serrano *et al.*, 2022).

3.3. Poscosecha del café

La poscosecha del café es la práctica realizada para beneficio del caficultor que consiste en un conjunto de operaciones en el que el cerezo cosechado pasa por un proceso determinado hasta convertirse en un café pergamino, el cual se obtiene después de quitarle al grano de café la cáscara y el mucílago. En el Perú, se suele utilizar agua para el lavado de café.

Ahora, el proceso comprende seis pasos: recolección, despulpado, fermentado, lavado, secado y almacenamiento, los cuales producen cambios irreversibles en la calidad del producto. Por ello, el proceso de poscosecha es considerado como un punto crítico en el proceso de café, ya que depende del buen manejo de las etapas para evitar el deterioro del grano de café, caso contrario, no se obtendrá un producto de calidad para ser vendido en el mercado a buen precio. Por esta razón, es fundamental aplicar buenas prácticas agrícolas y de manufactura, y controles sistemáticos con el fin de prevenir las fallas y mejorar la calidad y consistencia del café (Puerta, 2015).

Los pasos de la poscosecha se detallan a continuación (Leguizamo *et al.*, 2018):

3.3.1. Recolección

El inicio de este paso depende de la variedad del café y se caracteriza por ser prolongado y minucioso. La variedad arábica comienza en un rango de 6 a 8 meses y la robusta, en un rango de 9 a 11 meses después de la floración. En ambos casos, la recolección inicia cuando las cerezas maduran y tienen un color amarillo y rojizo. Rodríguez *et al.* (2022) indican que la recolección se realiza manualmente, grano a grano, extrayendo solo los granos maduros hasta obtener el café de todas las ramas y ser depositado en un canasto. Otra de las tareas que se relacionan con este paso es el traslado del grano en sacos de 45 a 0 kg y las posiciones ergonómicas que adoptan los caficultores durante dicha labor, las cuales comprenden situaciones de esfuerzo estático, tensión muscular, torsión de tronco y cuello, repetitividad y cargas excesivas.

En este proceso debe llevarse un registro de la floración con el fin de conocer con anticipación cuándo ocurrirán los mejores pases y contar con los recursos necesarios (costales y recipientes recolectores) para la ejecución del proceso, con el objetivo de recolectar oportunamente los frutos maduros superándolos en pintones, verdes, secos y maduros para continuar con la fase de despulpado.

3.3.2. *Despulpado*

Para el despulpado, el caficultor debe disponer de una máquina denominada *despulpadora*. Esta herramienta está compuesta por cilindros dentados que sirven para separar la pulpa de la semilla o granos. Es un paso que debe ser realizado como máximo a las 10 horas luego de haber recolectado los granos para evitar dañar la calidad del producto y clasificar los granos extrayendo los granos pequeños, vanos, verdes y/o secos.

En este proceso, como en el lavado que será posteriormente detallado, se generan grandes cantidades de residuos líquidos y sólidos ricos en nutrientes como potasio, fósforo y materia orgánica, que son usados por los productores para ser convertidos en fuente de fertilización (Maradiaga *et al.*, 2021).

3.3.3. *Fermentado*

En esta etapa se observa que los granos de café todavía están cubiertos por una dura segunda cáscara apergaminada y por el mucílago, el cual se es retirado al ponerse en agua en un lapso de 24 a 36 horas dependiendo de la temperatura. Así también, a partir de este remojo se estimula una suave fermentación en los granos de café y se descompone el mucílago que cubre el pergamino del café, lo que facilita el proceso de lavado y garantiza un sabor y aroma agradable del café. Para que se identifique cuan optimizada está la fermentación, se procede a frotar un puñado de granos de café; si el grano tiene una textura áspera y un sonido de piedrecitas o cascajo significado que el pergamino está limpio para comenzar con el lavado.

3.3.4. *Lavado*

Para el proceso de lavado, es necesario que la finca tenga un suministro de agua inocua, del acueducto o nacimiento, a fin de efectuar el lavado del grano. Asimismo, debe calcularse la cantidad de agua necesaria que, por lo general, suele ser de 150 litros por cada 100 kg de café, además de separarse los granos vanos y flotes. Muriel (2019) señala que el lavado de café es una práctica realizada, usualmente, al café fermentado de manera natural, en el cual se utilizan tanques de fermentación para lavar y clasificar los granos simultáneamente

Cabe precisar que el proceso de lavado está incluido en el proceso de retirar el mucílago cuando este es realizado mecánicamente, pero, si el lavado es realizado manualmente luego de comprobar

el desprendimiento del mucílago durante la fermentación, se procede a lavar el grano repetidas veces hasta comprobar que no haya residuos del mucílago. Los granos obtenidos son transportados y distribuidos para iniciar con la fase de secado.

3.3.5. Secado

De acuerdo con Acuña *et al.* (2022), el secado del café es una de las fases más importantes para obtener un producto de calidad y se caracteriza por depender de diversos factores, tales como las condiciones ambientales, los controles de procesos (espesor de la capa de café) y la cantidad de café a secarse. Es en esta etapa donde se reduce la humedad que, según la normativa, no debe bajar de 10 % ni subir del 12 % de humedad.

El secado puede ser realizado de dos formas: secado al sol y secado mecánico. El secado al sol es el tipo más utilizado y se aplica en patios de cemento, casa elbas, carros secadores o marquesinas. Consiste en revolver el café hasta que el aire y el sol lo seque, para lo cual se hace uso de una herramienta llamada rastrillo revolvedor. El tiempo promedio necesario para que el café se seque varía de 7 a 15 días, lo cual depende de las lluvias y de la temperatura del lugar; los granos de un mismo lote no deben ser secados con diferentes humedades y los granos deben estar distribuidos en capas delgadas de 3 a 4 cm de espesor. El secado mecánico se aplica en el secador de dos pisos, secador estático sin cámara de presecado, el silo secador, entre otros. Este tipo de secado suele demorar de 25 a 30 horas y se sugiere escurrir toda el agua en los canales o en el tanque.

Entonces, el secado de café se realiza con la finalidad de conservar la calidad del grano y reducir su contenido de humedad hasta 10-12 %, pues inicialmente es 55 %. Otro de los propósitos de esta fase es evitar daños físicos y cambios en la composición química del fruto para obtener condiciones que permitan su almacenamiento y venta.

3.3.6. Almacenamiento

Es la última fase del proceso de poscosecha del café. Anacafé (s/f) manifiesta que la variedad del clima afecta a todas las regiones del país y las actividades que se realizan en este, como es el cultivo de café y su proceso de almacenamiento. Bajo estas condiciones, es preciso definir y establecer controles y registros de calidad que permitan conservar las características físicas y químicas del grano de café. Para cumplir esta meta, los caficultores que se dedican al almacenamiento del café deben seguir las siguientes recomendaciones:

- La humedad del grano debe ser entre 10 a 12 %.
- Las condiciones ambientales para el almacenamiento del café son las siguientes: 20 °C de temperatura y 65 % de humedad relativa.
- Utilizar costales limpios, preferentemente de yute. Los sistemas herméticos también se consideran una buena opción para almacenar.
- Envasar el café en pergamino para proteger la semilla hasta que se venda al tostador.
- La bodega debe estar limpia y el espacio debe estar destinado solamente al almacenamiento del café para evitar contaminar el producto.
- El café envasado debe ser colocado sobre tarimas de maderas para que no tenga contacto con el suelo; así también, debe estar separado por un mínimo de 50 centímetros de las paredes.
- Evitar la iluminación en la bodega, salvo que sea para garantizar el equilibrio de las condiciones óptimas.
- Reposar el café por tres o a semanas para estabilizar la humedad y saber el potencial sensorial que tendrá en la taza.
- Realizar un registro sobre el control de calidad de cada uno de los lotes de café para asegurar su calidad.

Este paso es significativo, ya que, dependiendo de cómo se realice, se obtendrán granos de café de mejor calidad. Por tanto, es fundamental que se sigan las recomendaciones para mejorar las prácticas realizadas durante el almacenamiento porque, si los granos no son tratados como se debe, se puede producir un lote decepcionante y, en el peor de los casos, la pérdida del café como consecuencia del deterioro.

En general, cada paso del proceso de poscosecha es indispensable y, en ciertos casos, más exigente, debido a que un error provocaría daños irreversibles. Por esta razón, las personas que se dedican a esta labor deben tratar con cuidado los granos de café a fin de asegurar su sabor aromático que solo se consigue si se han seguido los pasos correctamente e, incluso, el transporte hasta su lugar de venta.

3.4. Tratamiento del grano de café: métodos

Los granos de café pueden ser tratados mediante tres métodos: húmedo, semiseco y seco, los cuales se detallan a continuación (Osorio & Silva, 2019).

3.4.1. Método húmedo o lavado

Es un método que involucra el uso de agua, la eliminación del mucílago y pulpa del café, y el lavado antes de que el café sea sometido al proceso de secado. Este método se aplica solo cuando no hay abundante agua y se caracteriza por ser más económico, simple y por procesar el café robusto y de baja calidad, lo cual no quiere decir que este método sea exclusivo de café de menor calidad.

En el método húmedo, no se realiza el proceso de secado, debido a esto, los residuos que se generan son los granos defectuosos, pergamino, mucílago y la pulpa de café, que contiene la piel externa del grano y la pulpa (Urrego y Godoy, 2021).

3.4.2. Método semiseco

Es el método que da lugar al café honey, que es un tipo de café caracterizado por tener una textura pegajosa similar a la miel. Es un método intermedio entre el proceso húmedo y seco, y consiste en despulpar, eliminar la cáscara y dejar expuesto el mucílago para que el grano sea, posteriormente, sometido al proceso de secado.

El porcentaje de mucílago que tenga el grano define la categoría a la que pertenece: yellow honey (25 %), red honey (75 %) y black honey (100 %). Cabe precisar que la clasificación se realiza luego de conocer el color del pergamino después del secado.

3.4.3. Método seco

El método seco da lugar a los cafés naturales y se identifica por ser el método más antiguo de transformación, más simple y por requerir menos maquinaria (Matos & Rodríguez, 2018). Después de completar la recolección del café, se clasifican los granos para eliminar los defectuosos y las impurezas, y proseguir con el secado. Generalmente, para la primera fase de este método se usa el secado solar, en el cual el café es colocado en el patio sobre una capa delgada para ser sometido a movimiento, manteniendo la temperatura adecuada a fin de lograr un proceso homogéneo.

De manera más precisa, el método consiste en poner a secar las cerezas recién cosechadas, las cuales, una vez que se han secado en su totalidad, se procede a moler los granos para eliminar el pergamino, la piel de cereza y la piel de plata. Luego de efectuado este paso se obtiene un café de cuerpo complejo y pesado. Cabe precisar que el método húmedo se utiliza, mayormente, en Yemen, Etiopía, Indonesia y en una parte de Brasil.

Cualquiera de los métodos presentados es válido para tratar el café antes de pasar a la fase de tostación, que es la penúltima etapa antes de su comercialización, seguida por el molido. El proceso de tostado de los granos de café consiste en transformar los granos verdes mediante la aplicación del calor para obtener diferentes sabores, aromas, acidez y cualidades de cuerpo.

En el tostado influyen diversos factores, por ejemplo, la humedad, que inciden de forma directa en la relación tiempo-temperatura, y la variedad, de la cual depende el tiempo que el grano deberá pasar en el tostador. En este paso se desarrolla el sabor ligeramente ácido, específicamente, en la pirólisis, que es la descomposición térmica del ácido clorogénico del café y de otros productos ácidos (Sánchez *et al.*, 2020).

El tostado es realizado mediante un sistema que se divide en dos grandes grupos: tostadoras por cargas y tostadoras en continuo (Ramírez, 2018). La tostadora por cargas es el sistema más extendido y utilizado. Tiene un abanico de máquinas cuya capacidad de tueste varía de 5 a 600 kg y contempla tres sistemas. El primero es el sistema tambor, el cual demora de 12 a 18 minutos y se tuesta por aire caliente, que varía de acuerdo con las características de la tostadora. El segundo es el sistema turbo, que deriva del convencional con la diferencia que la aportación del calor es efectuada por conducción y sin conducción para acelerar el proceso de tostado. El tercero es el sistema lecho fluido, el cual resulta de la combinación de los dos sistemas anteriores; es un sistema que realiza el proceso de tostación de 5 a 6 minutos, además de permitir la ejecución de diversos tipos de tueste.

El segundo grupo, tostadoras en continuo, se usa para producciones elevadas, rápidas y continuas de un mismo producto, y se caracteriza por requerir grandes cantidades de aire y temperaturas elevadas. Posterior al grupo elegido, se procede con la última fase: el molido. En este se muele el grano al tamaño adecuado por medio de un molino para obtener partículas de café que permitan el incrementar el contacto con el agua para ser pasado e ingerido.

En efecto, el cultivo del café es una ardua labor realizada por los caficultores, quienes, al conocer los procesos y sus fases, pueden obtener un café de calidad. Para esto, no solo basta con tener los conocimientos sobre el cultivo, sino también encontrar un terreno que se adecue a la siembra del café y que se ubique a una altitud y temperatura que no afecte el desarrollo del café. Así también, los caficultores requieren tener a su disposición las herramientas necesarias para prevenir enfermedades en las plantaciones, tales como los pesticidas u otros productos químicos, los cuales deben ser usados con responsabilidad y en el momento adecuado, ya que su empleo desmesurado no solo daña la planta, sino también el suelo, al ocasionar la acumulación excesiva de elementos químicos. Es así que el proceso de cultivo requiere dedicación por parte de los caficultores porque un solo error puede afectar el desarrollo de la planta de café y la calidad de los granos que se obtengan durante la recolección, lo que ocasionaría pérdidas económicas, no solo a nivel de ganancias, sino del capital.

Capítulo IV

Evaluación de cadmio en granos de café, café tostado molido y esencia de café (*Coffea arabica* L.) procedentes de fincas manejadas convencionalmente, en el distrito de San Ignacio, Cajamarca, 2020

El café es el producto bandera del Perú porque es uno de los cultivos que más aporta a la economía peruana e influye en el ámbito social, puesto que es una de las industrias que más genera trabajo, debido a esto, no pasa desapercibido por las grandes empresas, las cuales han mostrado una mayor dedicación al desarrollo de esta actividad para obtener mayores ganancias y posicionarse en lo más alto de los mercados a nivel nacional e internacional. En Perú, el café que se utiliza es la variedad arábica; además, según la forma de manejo, se trabaja con el café orgánico y convencional. La producción del café orgánico se caracteriza por no utilizar insecticidas, fertilizantes, fungicidas, herbicidas, nematocidas sintéticos o químicos; en cambio, la producción del café es muy diferente porque se emplean sustancias químicas para el desarrollo de la planta.

Debido al uso de fertilizantes, existe una alta probabilidad de que se acumulen metales pesados, lo cual se ha convertido en uno de los problemas actuales en el cultivo de café porque no solo representa un peligro para la salud humana, sino también para el mismo cultivo y el medio ambiente, lo cual se debe a que es un metal que produce enfermedades cardiovasculares, hepáticas, anemia, cambios metabólicos del calcio, entre otros, en el hombre, y al no ser biodegradable se bioacumula en las plantas de cultivo hasta entrar a la cadena trófica y dañar la composición de la planta.

Por lo expuesto y por las exigencias de calidad en inocuidad del grano de café, es preciso realizar un estudio donde se observe cuánto es el contenido de cadmio presente en la planta de café, a fin de tomar las medidas necesarias que garanticen un producto de calidad libre de sustancias químicas que solo dañan la naturaleza y la vida del ser humano.

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo general

Evaluar el contenido de cadmio en granos de café, café tostado molido y esencia de café (*Coffea arabica L.*) procedentes de fincas manejadas convencionalmente en el distrito de San Ignacio, Cajamarca, 2020.

4.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de cadmio en granos frescos, granos de café oro verde, granos de café tostado, café tostado molido y esencia de café, procedentes de fincas manejadas bajo el sistema convencional, del distrito de San Ignacio, Cajamarca, 2020.
- Comparar el contenido de cadmio, en granos frescos, granos de café oro verde, granos de café tostado, café tostado molido y esencia de café, con los límites máximos permisibles dados por la Mercosur.

4.2. Operacionalización de variables

Se consideró el uso de tres variables: independiente, dependiente e interviniente. Solo las dos primeras presentan el cuadro de operacionalización en el cual se detallan las dimensiones e indicadores.

4.2.1. Variable independiente (X)

Esta variable contiene tres elementos: los granos de café, el café tostado molido y la bebida de café.

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente

Variable (X)	Dimensiones	Indicadores
Granos de café (frescos, café oro verde y café tostado)	Granos de café de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín	Granos de café con presencia de cadmio en las fincas de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín
Café tostado molido	Café tostado molido de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín	Café tostado molido con presencia de cadmio, procedentes de las fincas de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín
Bebida de café	Bebida de café de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín	Bebida de café con presencia de cadmio a partir de los granos de café procedentes de las fincas de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

4.2.2. Variable independiente (Y)

La segunda variable es la concentración de cadmio.

Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente

Variable (Y)	Dimensiones	Indicadores
Concentración de Cadmio	Concentración de cadmio en ug/g	0.1 ug/g, dado por la Mercosur

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

4.2.3. Variable interviniente

Fincas cultivadas bajo el sistema convencional (las prácticas culturales no son aplicadas según el enfoque orgánico).

4.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptiva porque describe las características del fenómeno.

4.4. Diseño de investigación

El tipo de investigación fue no experimental, pues no hubo manipulación de la variable dependiente.

4.5. Población, muestra y muestreo

4.5.1. Población

La población se correspondió con 384 plantas de cada una de tres parcelas (caseríos Los Lirios, Barrio Nuevo y San Martín). Cada una de estas tiene una superficie de 1.0 ha y contiene plantas de cafeto de 5 a 7 años de edad. Para la elección de la población, se consideró que las plantas tuvieran el mismo manejo desde su plantación en el campo hasta la realización del muestreo; así también, se tuvieron en cuenta las condiciones ambientales, las cuales fueron uniformes desde el inicio del cultivo. De esta manera, se garantiza la homogeneidad de las unidades experimentales.

4.5.2. Muestra

En vista de que no se encontraron investigaciones sobre el cálculo de la desviación estándar en torno al tema propuesto, se calculó el tamaño de muestra con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2 pq}{d^2(N - 1) + Z^2 pq}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población (10,073.22 ha x 5000 plantas)

Z = valor de Z crítico (Z=1.96)

p = proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia. (p=0.5)

q = proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1 -p). (q=0.5)

d = nivel de precisión absoluta (d=0.05)

Es importante precisar que el distrito de San Ignacio tiene 10 073.22 ha. Se asumió que en cada hectárea de café se cultiva 5 mil plantas, por lo que, luego de aplicar la fórmula, el tamaño de muestra fueron 384 plantas a muestrear (cosechadas), de las cuales se consideró que cada una de estas produce 500 g de café cerezo, en otros términos, habría una producción de 192000 g de café cerezo. A esta cantidad también se le aplicó la fórmula y obtuvo el tamaño de muestra que fue de 383.39 g, razón por la que el tamaño de muestra fue adecuado.

- Granos frescos: 5 muestras de 250 gramos frescos de café cerezo para su análisis de cadmio, por cada parcela.
- Granos de café beneficiados: Las muestras corresponden a los granos que pasaron por el proceso de despulpado, fermentado y secado.
 - Granos de café oro: 5 muestras de 250 gramos para su análisis de cadmio, por cada parcela.
 - Granos de café tostados: 5 muestras de 250 gramos para su análisis de cadmio, por cada parcela.
 - Café tostado molido: 5 muestras de 250 gramos para su análisis de cadmio, por cada parcela.
 - Bebida de café: 5 muestras de 250 ml cada una, para su análisis de cadmio, por cada parcela.

4.5.3. Muestreo

Para la elección de las localidades se realizó un muestreo probabilístico estratificado, el cual fue de utilidad porque permitió conocer el número de plantas a muestrear; es decir, la cosecha de los cerezos.

En cada parcela se usó el muestreo probabilístico aleatorio simple, debido a que la población fueron plantas homogéneas en cuanto a edad, variedad y manejo del cultivo. En el muestreo se obtuvieron los granos frescos, a partir de los cuales se consiguieron los granos de café oro verde, café tostado molido, granos tostados y esencia de café.

4.6. Procesamiento de datos

Para la obtención de datos y su posterior análisis, se utilizaron una serie de materiales. Estos se detallan a continuación:

4.7. Material biológico para análisis

- 250 gramos de granos de café tostado por cada parcela
- 250 gramos de café tostado molido por cada parcela
- 250 gramos de granos frescos por cada parcela.
- 250 ml de esencia de café por cada parcela.
- 250 gramos de granos oro verde por cada parcela.

4.8. Materiales para muestreo

- Bolsas herméticas
- Cajas térmicas
- Guantes quirúrgicos
- Plumero

4.9. Materiales para laboratorio

- Fiola
- Matraz Erlenmeyer
- Molino
- Placas Petri
- Tubos de ensayo

4.10. Equipos para laboratorio

- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico
- Agua destilada
- Balanza analítica modelo ESJ-210-4 (Digital precisión).
- Digestor
- Espectrofotómetro de absorción atómica.
- Estufa
- Insumos
- Solución estándar de cadmio
- Trillador.

4.11. Traslado de la muestra al laboratorio

Las muestras (granos oro verde, granos de café frescos, tostados) fueron colocadas en bolsas de polietileno herméticas a temperatura ambiente. Posteriormente, las bolsas fueron colocadas en una caja térmica y trasladadas al laboratorio del ICT-Tarapoto.

Para el caso de la esencia de café, las muestras fueron colocadas en envases de botella descartables a temperatura ambiente para, después, ser llevadas al laboratorio para el análisis respectivo.

4.12. Proceso del análisis del cadmio

El cadmio fue analizado en el Laboratorio del Instituto de Cultivos Tropicales de Tarapoto. El proceso fue realizado aplicando el método de Espectrofotometría, que consistió en medir las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular. La técnica de atomización que más uso tuvo fue la absorción atómica con llama o flama, la cual nebuliza y disemina la muestra en forma de aerosol dentro de una llama de aire de óxido nitroso-acetileno o acetileno.

Para el efecto se siguió la metodología propuesta por Barrueta (2013).

a) Preparación de la solución estándar de cadmio

Los 1000 mg de Cd fueron disueltos en 14 ml de agua desionizada + 7 ml de HNO₃ al 65 %, en una Fiola de 1 L, después fueron diluidas a volumen con agua desionizada, para obtener un patrón de 1000 mg/L.

b) Curva de calibración para cadmio

La curva de calibración fue efectuada en el espectrómetro de absorción atómica.

- Se tomaron 5 ml de un patrón de cadmio 1000 mg/L y se colocaron en un balón aforado de 500 ml con el fin de aforar con HNO₃ al 1 %. Se rotuló la solución de 10 mg/L de cadmio como “solución madre”, los cuales fueron aforados a 100 ml con agua destilada en HNO₃. Por último, se preparó un blanco que contenía agua destilada en HNO₃ al 1 %.

4.13. Análisis de datos

4.13.1. Análisis estadístico

Una vez realizada la determinación de cadmio, en granos de café, café tostado molido y esencia de café, se aplicó la estadística descriptiva del contenido de cadmio en los granos de café, café tostado molido y esencia de café.

Los datos recogidos fueron presentados a fin de realizar una descripción de la población en función de la acumulación de cadmio y de los objetivos del estudio. Para ello, se establecieron las siguientes medidas de los datos:

- 1) De Tendencia Central (Mediana, Promedio o Media aritmética y Moda), la cual permitió que se conozca un solo valor partiendo del conjunto de valores (datos recolectados), en otros términos, es la representación de un valor central respecto al conjunto de datos.
- 2) De Dispersión (Varianza, Rango, Desviación Estándar, Valor Mínimo, Valor Máximo), que fue necesario para calcular un número que brinde información sobre el grado de variabilidad de la variable de investigación, a fin de evaluar cómo los datos se diferencian entre sí y determinar cuál es la distancia de los valores de la variable respecto a cierto valor central. Las medidas de dispersión y de tendencia central tiene que actuar en conjunto porque brindan información necesaria para la toma de decisiones, en torno al manejo del cafeto.
- 3) De Posición (Cuartiles, Deciles y Percentiles), para conseguir la información contenida en la muestra, que detallan el comportamiento proporcional del contenido de cadmio en el café tostado molido, los granos de café, la esencia de café, a la vez que reconoce otras características de distribución no central.

Para predecir las características de la población a partir de la muestra, fue necesario recurrir al uso de las probabilidades, las cuales también permitieron establecer la confianza para aceptar o rechazar la hipótesis. Para el efecto, basándose en los supuestos de distribución normal o aproximadamente normal de la población, se estableció el límite inferior de confianza (LIC) y el límite superior de confianza (LSC). Así también, la hipótesis fue comprobada por medio de los métodos de contraste de hipótesis, sin dejar de lado el objetivo principal: verificar si la presencia

de cadmio en la población escogida se relaciona con el contenido de cadmio en la muestra de café (esencia de café, café tostado, granos).

Para contrastar la hipótesis, se tomó en cuenta la hipótesis nula (H_0) porque soporta la carga de la prueba y tiene el supuesto de que el parámetro adquiere un valor determinado (menor a 0.10 ppm de cadmio). El rechazo de la hipótesis nula dependió de la concentración de cadmio contenida en cada muestra y del nivel de significancia (5 %) del contraste. Por lo previamente señalado, se aplicó la prueba de hipótesis y la inferencia estadística intervalar de una muestra, utilizando la distribución de Z (se partió de la variancia poblacional calculada y se consideró que la muestra es superior a 30).

Los datos obtenidos también fueron presentados mediante gráficos para facilitar la comprensión del comportamiento de la variable de investigación. Para observar las medidas de tendencia central, se recurrió al empleo de gráficos en barras o líneas; para observar las medidas de dispersión y posición, se recurrió al uso de diagramas de caja y bigotes.

4.13.2. *Contrastación de datos*

Los datos fueron contrastados con los diferentes manejos realizados en la finca, para lo cual fue necesario usar una encuesta, la cual fue aplicada al agricultor propietario de la parcela. Es preciso señalar que, debido a la falta de investigaciones, la encuesta fue válida y confiable

4.14. **Análisis e interpretación de resultados**

Tabla 3. *Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Barrio Nuevo, octubre 2020*

Muestra	Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
M1	0.53	0.77	0.24	0.14	0.00
M2	0.48	0.25	0.30	0.04	0.00
M3	0.70	0.54	0.19	0.10	0.00
M4	0.77	0.24	0.28	0.14	0.00
M5	0.39	0.14	0.13	0.14	0.00

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

4.14.1. Contenido de cadmio

En la Tabla 3 se presenta la concentración de cadmio (ppm) en el caserío Barrio Nuevo de la provincia de San Ignacio, 2020

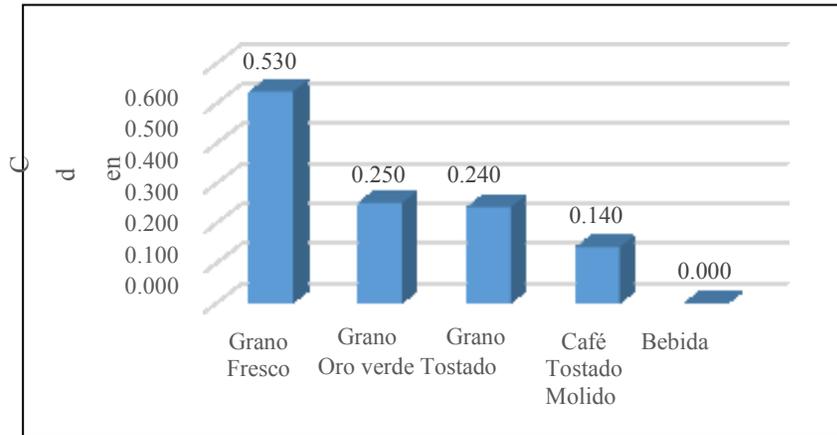
Tabla 4. Estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Barrio Nuevo, octubre 2020

Parámetros Estadísticos		Concentración de cadmio (ppm) (n=5)				
		Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
De Tendencia Central	Mediana	0.530	0.250	0.240	0.140	0.000
	Media Aritmética	0.574	0.388	0.228	0.112	0.000
De Dispersión	Rango	0.380	0.630	0.170	0.100	0.000
	Varianza	0.025	0.068	0.005	0.002	0.000
	Desviación Estándar	0.157	0.261	0.069	0.044	0.000
	Error Estándar (s)	0.070	0.117	0.031	0.020	0.000
	Valor mínimo	0.390	0.140	0.130	0.040	0.000
	Valor máximo	0.770	0.770	0.300	0.140	0.000

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Tabla 4 muestra las medidas de tendencia central y de dispersión de la concentración de cadmio en ppm. En la tabla se aprecia que el promedio es 0.000 ppm, 0.112 ppm, 0.228 ppm, 0.388 ppm, y 0.574 ppm, para la bebida de café, café tostado molido, grano tostado, grano oro verde y grano fresco, correspondientemente. El rango fue disperso y alcanzó valores de 0.38 (granos frescos), 0.63 (grano oro verde), 0.17 (granos tostados), 0.10 (café tostado molido) y 0.00 (bebida).

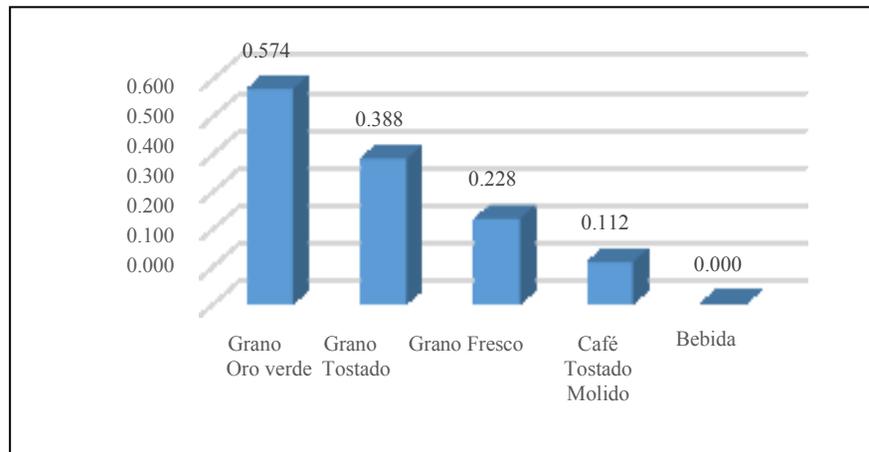
Figura 1. Mediana de la concentración de cadmio en el caserío Barrio Nuevo



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 1 muestra las medianas de los granos frescos, grano tostado, grano oro verde, bebida de café y café tostado molido, del caserío Barrio Nuevo, 2020.

Figura 2. Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío Barrio Nuevo



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 2 presenta la media aritmética o el promedio de la concentración de cadmio (ppm) en cada una de las etapas de procesamiento del café, del caserío Barrio Nuevo.

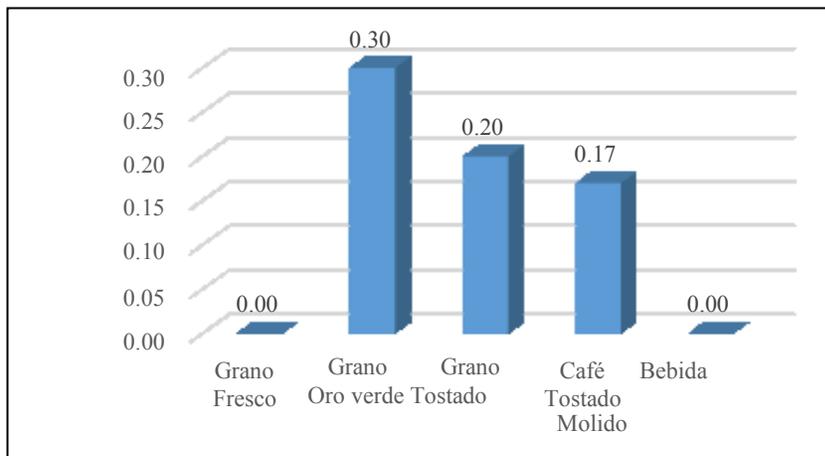
Tabla 5. Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Los Lirios, octubre 2020

Muestra	Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
M1	0.00	0.40	0.20	0.00	0.00
M2	0.00	0.31	0.20	0.39	0.00
M3	0.00	0.30	0.04	0.28	0.00
M4	0.00	0.18	0.35	0.17	0.00
M5	0.00	0.10	0.17	0.00	0.00

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Tabla 5 presenta la concentración de cadmio en el caserío Los Lirios, en la cual se evidenció que los granos frescos ni la bebida de café tuvieron rastros de la presencia de cadmio.

Figura 3. Mediana de la concentración de cadmio del caserío Los Lirios



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 3 se aprecia que la mediana alcanzó valores de 0.30 (grano oro verde), 0.20 (grano tostado) y 0.17 (café tostado molido) ppm; en cambio, en los granos frescos y bebida, la mediana fue cero.

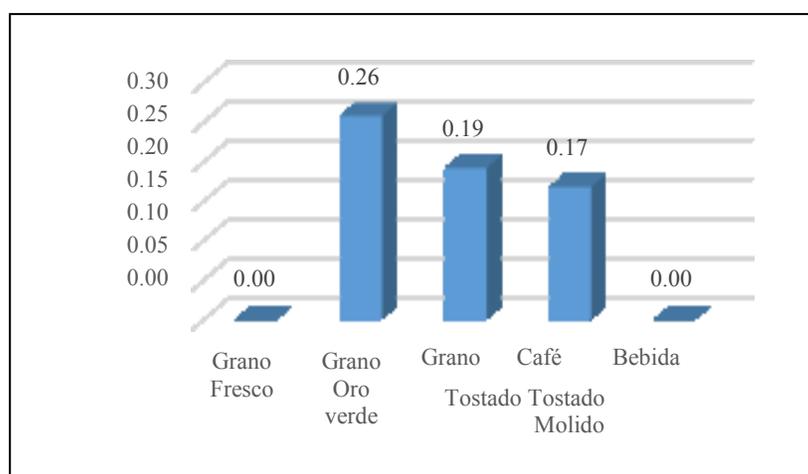
Tabla 6. *Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío Los Lirios, octubre 2020*

Parámetros Estadísticos		Concentración de cadmio (ppm) (n=5)				
		Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
De Tendencia Central	Mediana	0.000	0.300	0.200	0.170	0.000
	Media Aritmética	0.000	0.258	0.192	0.168	0.000
De Dispersión	Rango	0.000	0.300	0.310	0.390	0.000
	Varianza	0.000	0.014	0.012	0.030	0.000
	Desviación Estándar	0.000	0.118	0.110	0.172	0.000
	Error Estándar (s)	0.000	0.053	0.049	0.077	0.000
	Valor mínimo	0.000	0.100	0.040	0.000	0.000
	Valor máximo	0.000	0.400	0.350	0.390	0.000

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Tabla 6 se observan las medidas estadísticas de dispersión y tendencia central. En las diferentes fases del café, la mediana comprendió valores de 0.00 a 0.30 ppm. En la bebida de café y granos frescos, el rango y la media aritmética mostraron valores de cero de cadmio.

Figura 4. *Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío Los Lirios*



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 4 se aprecia el promedio en bebida (0.17 ppm), grano tostado (0.19 ppm) y granos oro verde (0.26 ppm). La bebida y los granos frescos no evidenciaron trazas de cadmio.

Tabla 7. Concentración de cadmio en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío San Martín, octubre 2020

Muestra	Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
M1	0.59	0.40	0.35	0.00	0.00
M2	0.57	0.00	0.16	0.00	0.00
M3	0.61	0.00	0.52	0.23	0.00
M4	0.47	0.19	0.12	0.00	0.00
M5	0.57	0.50	0.17	0.00	0.00

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Tabla 7 se aprecia que la concentración de cadmio en ppm en las muestras de estudio tuvo valores numéricos que sobrepasaron los límites máximos permisibles (ppm); pese a esto, la bebida de café no tuvo indicios de presencia de cadmio.

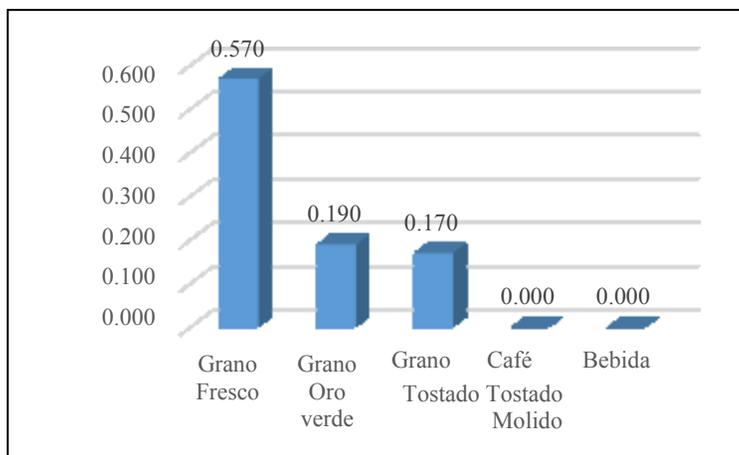
Tabla 8. Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, caserío San Martín, octubre 2020

Parámetros Estadísticos		Concentración de cadmio (ppm) (n=5)				
		Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
De Tendencia Central	Mediana	0.570	0.190	0.170	0.000	0.000
	Media Aritmética	0.562	0.218	0.264	0.046	0.000
	Rango	0.140	0.500	0.400	0.230	0.000
De Dispersión	Varianza	0.003	0.052	0.028	0.011	0.000
	Desviación Estándar	0.054	0.228	0.168	0.103	0.000
	Error Estándar (s)	0.024	0.102	0.075	0.046	0.000
	Valor mínimo	0.470	0.000	0.120	0.000	0.000
	Valor máximo	0.610	0.500	0.520	0.230	0.000

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Tabla 8 se aprecian las medidas de dispersión y de tendencia central para la concentración de cadmio. En la tabla también se observa que el rango fue disperso y los valores fueron de 0.14 (granos frescos), 0.5 (granos oro verde), 0.4 (granos tostados), 0.23 (café tostado molido) y 0.00 (bebida).

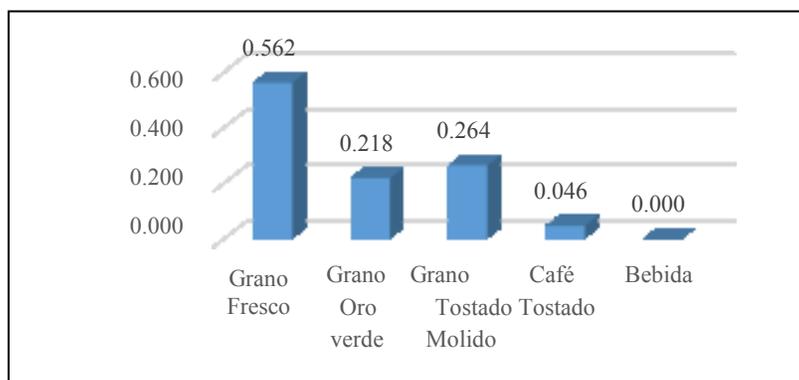
Figura 5. Mediana de la concentración de cadmio en el caserío San Martín



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 5 muestra que la mediana obtuvo valores de 0.57 (granos frescos), 0.19 (granos oro verde) y 0.17 (granos tostados). La bebida ni en el café tostado evidenciaron presencia alguna de cadmio.

Figura 6. Media aritmética de la concentración de cadmio en el caserío San Martín



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 6 se observa que la media aritmética alcanzó valores de 0.562 (granos frescos), 0.218 (granos oro verde), 0.264 (granos tostados), 0.264 (café tostado molido) y 0.00 (bebida de café) ppm.

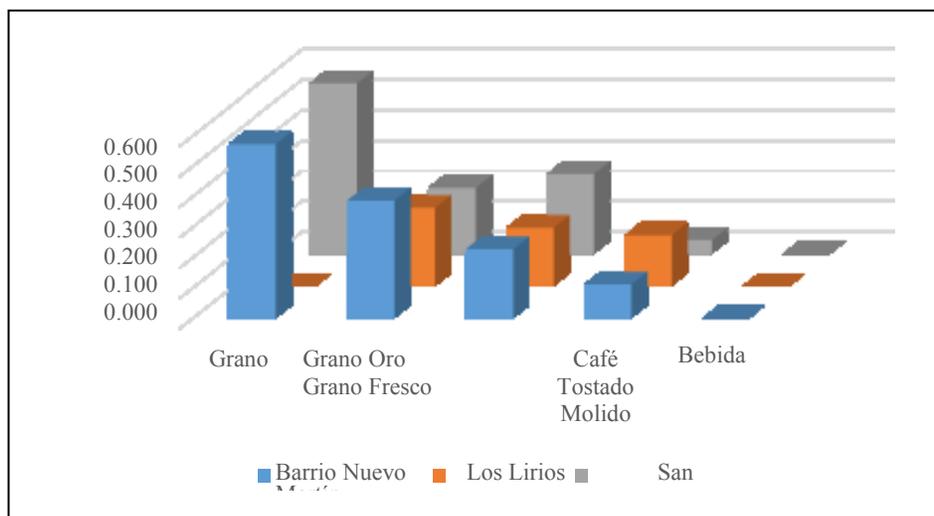
Tabla 9. Concentración promedio de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café, de los caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín

Estado de café en pos cosecha	Caserío		
	Barrio Nuevo	Los Lirios	San Martín
Granos frescos	0.574	0.000	0.562
Granos de café oro verde	0.388	0.258	0.218
Granos de café tostado	0.228	0.192	0.264
Café tostado molido	0.112	0.168	0.046
Bebida de café	0.000	0.000	0.000

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Tabla 9 muestra los promedios de cada uno de los caseríos muestreados. La concentración de cadmio cambia de 0.00 a 0.574 ppm, aunque no hubo presencia alguna de cadmio en la bebida de café en todos los caseríos. También se observó que los menores valores de cadmio fueron obtenidos por el caserío Los Lirios.

Figura 7. Media aritmética de la concentración de cadmio



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 7 se muestra la media aritmética de cada caserío y en cada etapa del proceso del grano de café. Esta figura da a conocer que en el caserío Los Lirios, el café presenta menores valores en comparación con los demás caseríos.

Tabla 10. *Concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café. Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín, octubre 2020*

Zona	Muestra	Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
Barrio Nuevo	M1	0.53	0.77	0.24	0.14	0.00
	M2	0.48	0.25	0.30	0.04	0.00
	M3	0.70	0.54	0.19	0.10	0.00
	M4	0.77	0.24	0.28	0.14	0.00
	M5	0.39	0.14	0.13	0.14	0.00
	M6	0.00	0.40	0.20	0.00	0.00
Los Lirios	M7	0.00	0.31	0.20	0.39	0.00
	M8	0.00	0.30	0.04	0.28	0.00
	M9	0.00	0.18	0.35	0.17	0.00
	M10	0.00	0.10	0.17	0.00	0.00
	M11	0.59	0.40	0.35	0.00	0.00
San Martín	M12	0.57	0.00	0.16	0.00	0.00
	M13	0.61	0.00	0.52	0.23	0.00
	M14	0.47	0.19	0.12	0.00	0.00
	M15	0.57	0.50	0.17	0.00	0.00

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

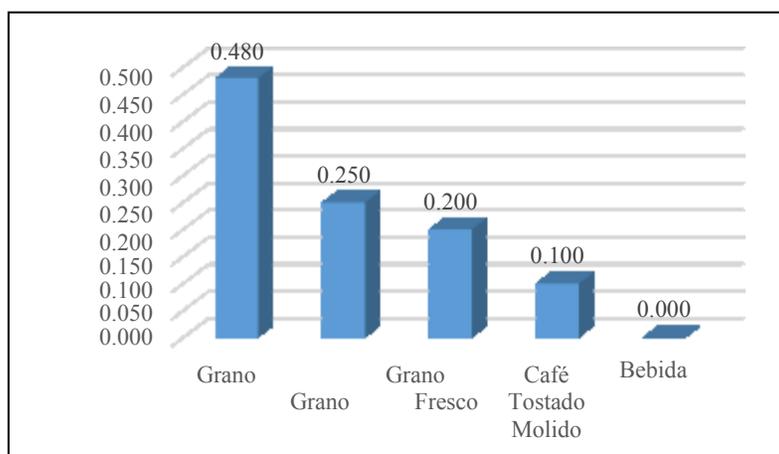
Los datos de la Tabla 10 muestran las medidas de dispersión y de tendencia central de la concentración de cadmio de los tres caseríos (Tabla 11). La mediana (Figura 8) y la media aritmética (Figura 9) disminuyeron en cada etapa del proceso del café. El rango fue disperso cuando se trató de granos tostados; en cambio, en las demás fases (grano oro verde, granos frescos y café tostado molido) obtuvieron el mismo valor que el valor máximo observado.

Tabla 11. *Parámetros estadísticos de la concentración de cadmio (ppm) en granos de café, café tostado molido y bebida de café. Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios, San Martín, octubre 2020*

			Concentración de cadmio (ppm) (n=5)				
Parámetros Estadísticos			Grano Fresco	Grano Oro verde	Grano Tostado	Café Tostado Molido	Bebida
De Tendencia Central	Mediana		0.480	0.250	0.200	0.100	0.000
	Media Aritmética		0.379	0.288	0.228	0.109	0.000
	Rango		0.770	0.770	0.480	0.390	0.000
De Dispersión	Varianza		0.085	0.044	0.014	0.015	0.000
	Desviación Estándar		0.291	0.210	0.118	0.121	0.000
	Error Estándar (s)		0.075	0.054	0.030	0.031	0.000
	Valor mínimo		0.000	0.000	0.040	0.000	0.000
	Valor máximo		0.770	0.770	0.520	0.390	0.000

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

Figura 8. *Mediana de la concentración de cadmio*

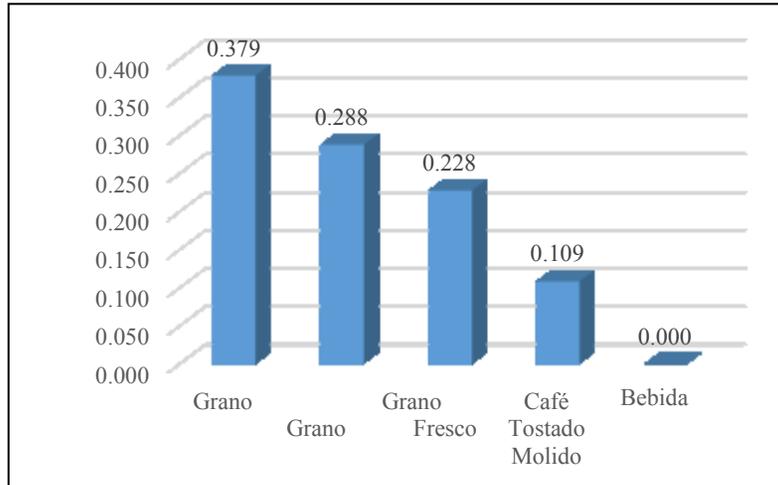


Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 8 muestra la mediana en ppm, la cual fue obtenida de la Tabla 11. Se aprecia que en San Ignacio (en los caseríos Los Lirios, Barrio Nuevo y San Martín), la concentración de cadmio descendió a medida que se avanzaba con el proceso del café. En los granos frescos, se observó una mayor concentración de cadmio, de grano oro verde, de grano tostado, de café tostado molido y

de bebida de café con valores de 0.48 ppm, 0.25 ppm, 0.20 ppm, 0.10 ppm y 0.00 ppm, respectivamente

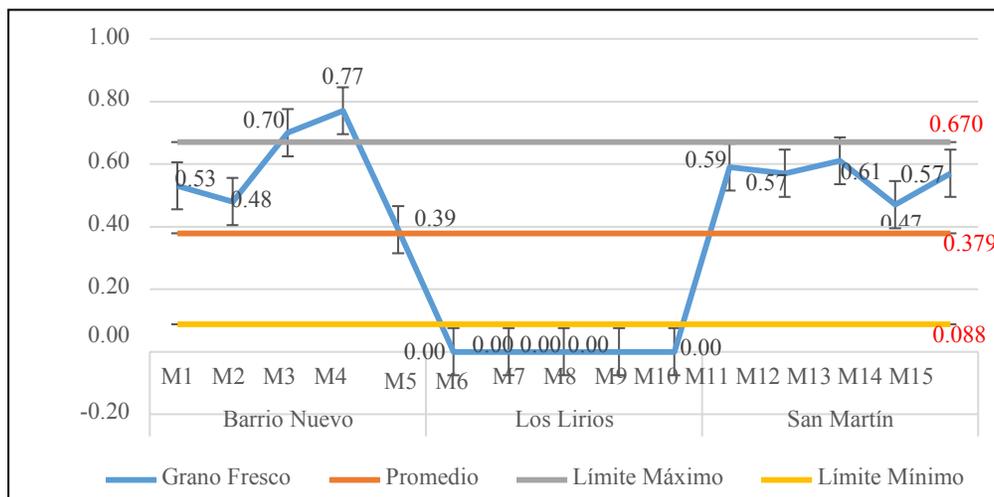
Figura 9. *Media aritmética de la concentración de cadmio*



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 9 se puede notar el promedio o media aritmética de las 15 muestras procedentes de los tres (San Ignacio), que evidencia una reducción a medida se avanzaba con el proceso del café. Esto quiere decir que hubo una mayor concentración de cadmio en los granos frescos y cero indicios de cadmio en la bebida de café.

Figura 10. *Desviación Estándar de la media muestral para granos frescos*

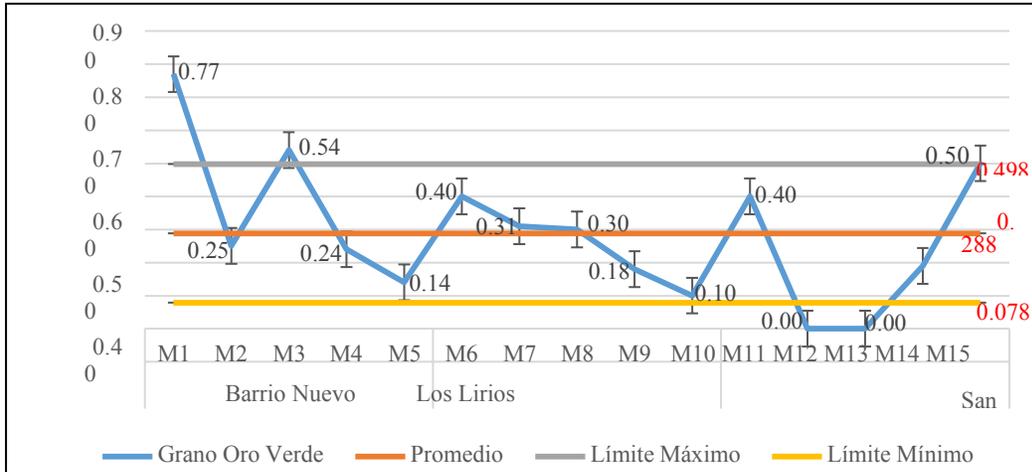


Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 10, se aprecia la dispersión de la media muestral para la concentración de cadmio en granos frescos, la cual, en gran parte de las muestras, superaron el promedio o la media aritmética.

Las muestras correspondientes al caserío Los Lirios (M6, M7, M8, M9 y M10) alcanzaron valores muy por debajo de la media muestral.

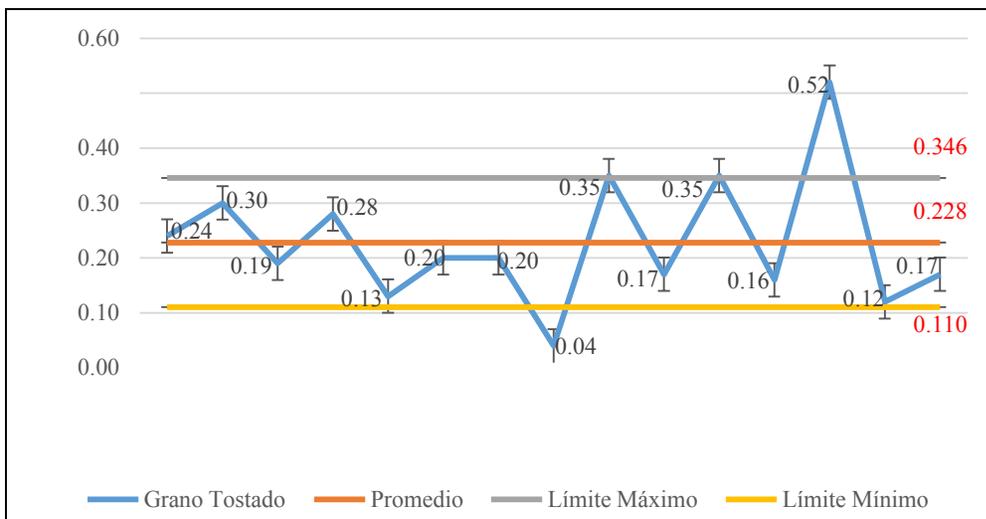
Figura 11. *Desviación Estándar de la media muestral para granos oro verde*



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 11 se manifestó, en torno a la dispersión de los promedios de la concentración de cadmio en granos oro verde, que la muestra 1 y 3 del caserío Barrio Nuevo y la muestra 15 del caserío San Martín, superaron el límite superior. También se observó una dispersión del contenido de cadmio, puesto que algunos casos superaron el valor de la media y otros fueron menores al valor de la media muestral.

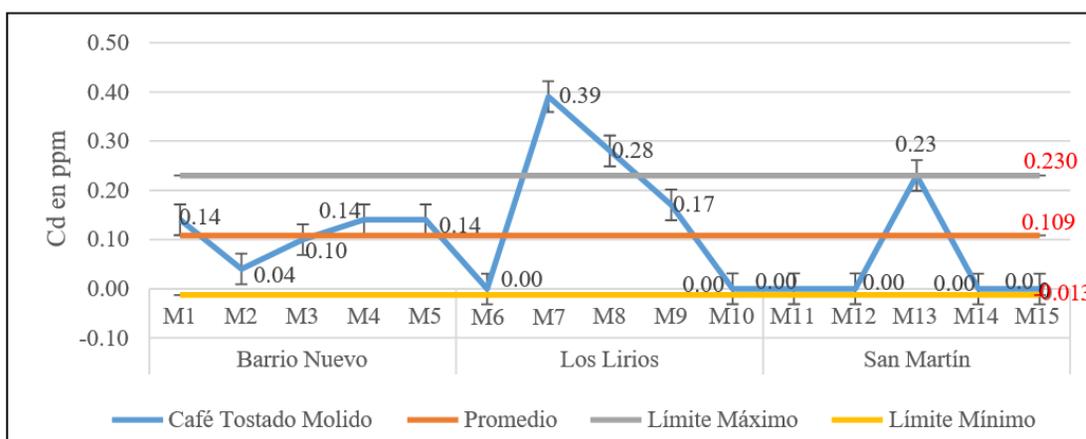
Figura 12. *Desviación Estándar de la media muestral para granos tostados*



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

Respecto a la desviación estándar de los granos tostados (Figura 12), se aprecia que la muestra 13 (San Martín) superó el límite máximo y la muestra 8 (Los Lirios) fue menor al límite mínimo. Por otra parte, la muestra 11 (San Martín), muestra 9 (Los Lirios) y muestra 1, 2 (Barrio Nuevo) superaron el valor de la media muestral; en cambio, las muestras 6, 7 y 10 (Los Lirios), muestras 2 y 5 (Barrio Nuevo) y muestras 12, 14 y 15 (San Martín) tuvieron valores inferiores a la media muestral.

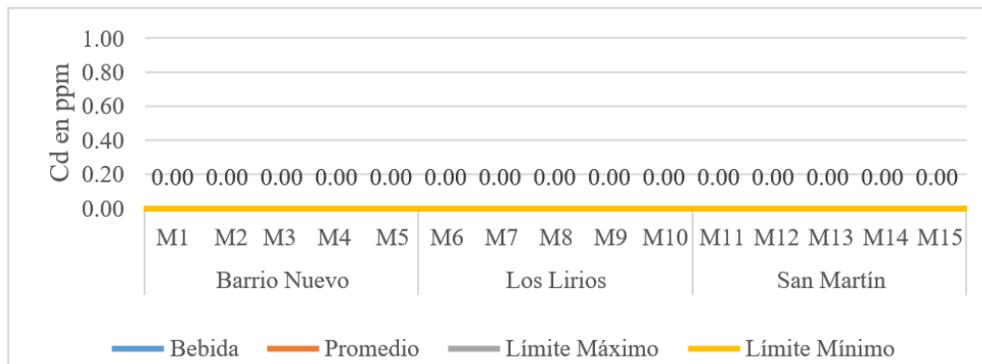
Figura 13. Desviación Estándar de la media muestral para café tostado molido



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 13, respecto a la desviación estándar para el café tostado molido, se aprecia que en ciertos casos en Barrio Nuevo sobrepasa el valor de la media, pero en otros es menor a dicho valor. En Los Lirios fue diferente porque la concentración de cadmio (muestra 6 y 10) se encontraron por debajo de la media muestral, pero la muestra 7, 8 y 9 superaron el valor de la media, por lo cual no se descartó la posibilidad de que pueda existir presencia de cadmio. En San Martín, todas las muestras presentaron valores muy por debajo de la media, excepto la muestra 13.

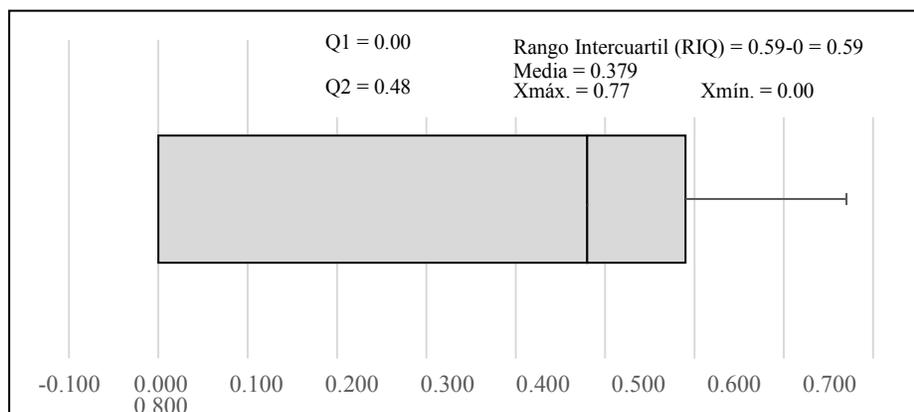
Figura 14. Desviación Estándar de la media muestral para bebida de café



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Figura 14 se muestra que la dispersión para la bebida de café fue nula, pues no hubo presencia de cadmio.

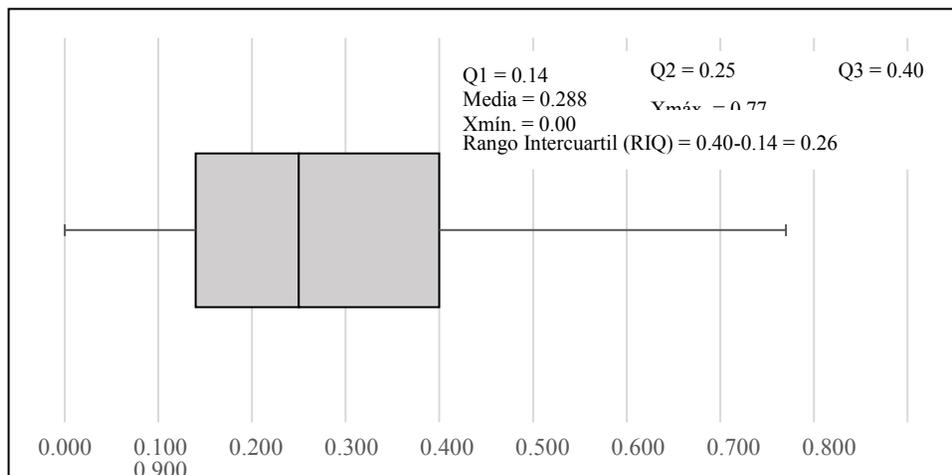
Figura 15. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos frescos de café



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 15 evidencia las medidas de posición de la concentración de cadmio en granos frescos. El cuartil 1 (Q1) fue igual a cero y tuvo el 25 % de los datos. El segundo cuartil (Q2) fue igual a 0.48 ppm y tuvo el 50 % de los datos. El cuartil 3 (Q3) fue igual a 0.59 ppm y tuvo el 75 % de los datos. El 50 % de los datos presentaron un promedio de 0.59 ppm de cadmio. El rango fue grande, razón por la cual los datos fueron dispersos y mostraron una variabilidad mayor, comparado con los parámetros restantes (grano tostado, grano oro verde y café tostado molido). La distribución de la mediana fue asimétrica negativa, debido a que se situó más cerca al tercer cuartil y la media aritmética fue menor a la mediana.

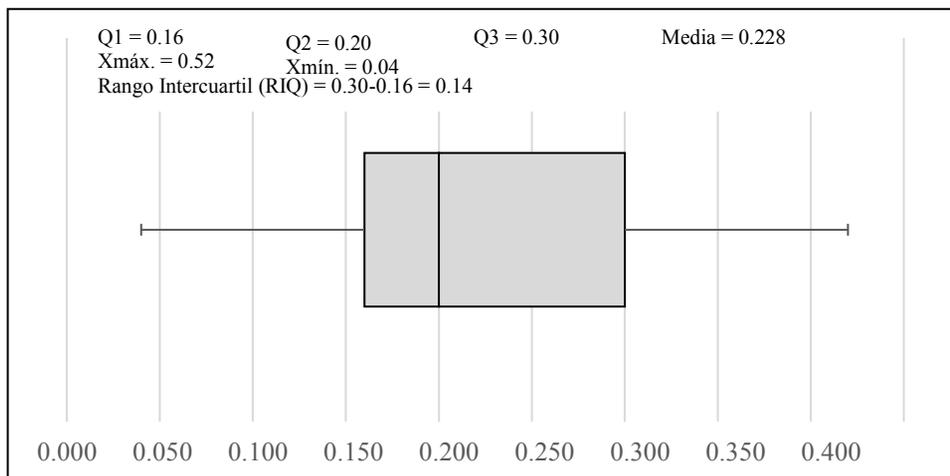
Figura 16. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos de café oro verde



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 16 muestra las medidas de posición de la concentración de cadmio en granos oro verde. El cuartil 1 (Q1) fue igual a 0.14 ppm y tuvo el 25 % de los datos. El segundo cuartil (Q2) fue igual a 0.25 ppm y tuvo el 50 % de los datos. El cuartil 3 (Q3) fue igual a 0.40 ppm y tuvo el 75% de los datos. El 50 % de los datos obtenidos tienen un promedio de 0.26 ppm de cadmio. El rango evidenció menor dispersión que en granos frescos. La distribución de la mediana fue asimétrica positiva, pues se situó más cerca al primer cuartil; la media aritmética obtuvo un mayor valor que la mediana.

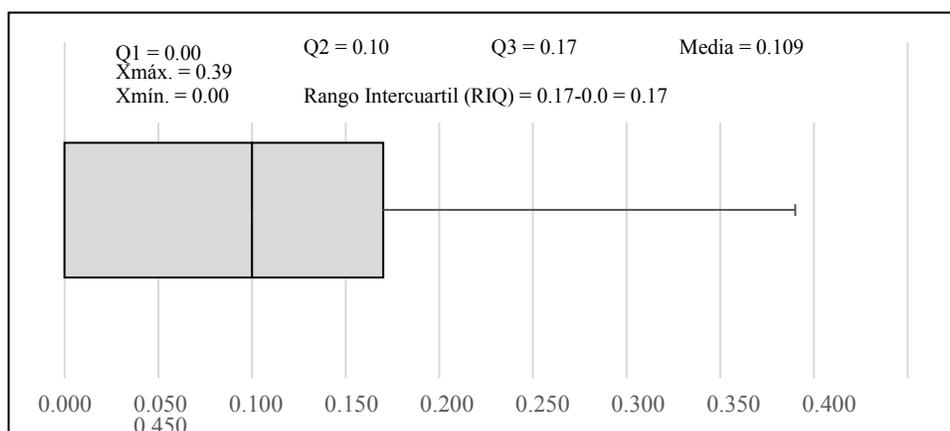
Figura 17. Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en granos de café tostado



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 17 expone las medidas de posición de la concentración de cadmio en granos tostados. El cuartil 1 (Q1) tuvo el 25 % de los datos, los cuales fueron iguales a 0.16. El segundo cuartil (Q2) fue igual a 0.20 ppm y tuvo el 50 % de los datos. El cuartil 3 (Q3) fue igual a 0.30 ppm y tuvo el 75% de los datos. El 50 % de los datos obtenidos presentaron un promedio de 0.14 ppm de cadmio. El rango también mostró menor dispersión que en granos frescos. La distribución de la mediana es asimétrica positiva, pues se sitúa más cerca al primer cuartil y, la media aritmética obtuvo un mayor valor que la mediana

Figura 18. *Diagrama de cajas y bigotes para los cuartiles de cadmio en café tostado molido*



Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

La Figura 18 presenta las medidas de posición de la concentración de cadmio en granos frescos. El cuartil 1 (Q1) fue igual a cero y tuvo el 25 % de los datos. El segundo cuartil (Q2) fue igual a 0.10 ppm y tuvo el 50 % de los datos. El cuartil 3 (Q3) fue igual a 0.17 ppm y tuvo el 75 % de los datos. El 50 % de los datos obtenidos presentaron un promedio de 0.17 ppm de cadmio. El rango mostró menor dispersión que en granos frescos. La distribución de la mediana fue asimétrica positiva, pues se situó más cerca al primer cuartil y la media aritmética fue mayor que la mediana.

4.15. Prueba de hipótesis

Cuando se realizó la prueba de hipótesis (Tabla 12), se observó que, en granos tostados y granos frescos, excepto los del caserío Los Lirios, el valor de hipótesis tuvo valores que sobrepasaron los límites máximos permisibles (LMP=0.10 ppm), razón por la que se rechazó la hipótesis nula y se

afirmó que en estos caseríos hay presencia de cadmio. En grano oro verde, se superan los LMP, exceptuando el caserío San Martín. En bebida y café tostado molido, se rechazó la hipótesis alternativa porque no superaron el valor máximo tabular y se indicó que las muestras no muestran contenido de cadmio que sean mayores a los límites máximos permisibles.

Tabla 12. Prueba de hipótesis al 0,05 de probabilidad, de la concentración de Cadmio (ppm), octubre 2020

	Valor observado			Valor Tabular	Valor de hipótesis ($\mu = \text{LMP de Cd}$)
	Barrio Nuevo	Los Lirios	San Martín		
	$t = \frac{-\mu}{(s^2/n)^{1/2}}$				
Grano Fresco	6.740	0.000	19.118	2.132	0.10 ppm
Grano Oro verde	2.472	2.994	1.156	2.132	0.10 ppm
Grano Tostado	4.144	1.865	2.179	2.132	0.10 ppm
Café Tostado Molido	0.612	0.884	-1.174	2.132	0.10 ppm
Bebida	0.000	0.000	0.000	2.132	0.10 ppm

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

Tabla 13. Prueba de hipótesis al 0,05 de probabilidad, de la concentración de Cadmio (ppm). Caseríos Barrio Nuevo, Los Lirios y San Martín, octubre 2020

	Valor observado	Valor Tabular	Valor de hipótesis ($\mu = \text{LMP de Cd}$)
	$t = \frac{-\mu}{(s^2/n)^{1/2}}$		
Grano Fresco	3.708	1.761	0.10 ppm
Grano Oro verde	3.475	1.761	0.10 ppm
Grano Tostado	4.211	1.761	0.10 ppm
Café Tostado Molido	0.277	1.761	0.10 ppm
Bebida	0.000	1.761	0.10 ppm

Nota. Tomado de Mundaca y Huamán (2021)

En la Tabla 13 se aprecia que únicamente en granos oro verde, granos frescos y granos tostados la hipótesis alternativa fue aceptada, debido a que los valores superaron el valor máximo tabular, además se indicó que hay un alto contenido de cadmio que superan los límites máximos

permisibles (0.10 ppm). En bebida y café tostado molido, la hipótesis nula fue aceptada, pues sus valores fueron menores al valor máximo tabular, es decir, no superaron los límites máximos permisibles de cadmio (0.10 ppm).

4.16. Discusión de resultados

Los suelos de las parcelas analizadas, caracterizados por ser arcillosos, contienen bajo contenido de materia orgánica. En este marco, Cueva y Urquizo (2020) expusieron que, si se incrementa el contenido de materia orgánica, el contenido de cadmio disminuye y, a medida que el pH aumenta, también lo hace la concentración de cadmio.

Los resultados, en los caseríos San Martín (Tabla 7) y Barrio Nuevo (Tabla 3), de los granos frescos recientemente cosechados mostraron presencia de cadmio que sobrepasó los Límites Máximos Permisibles (0.10 ppm), lo cual coincidió con la investigación de Condezo y Huaraca (2018) y Tezotto (2011), que mostraron un contenido de cadmio, en granos de café, de 0 a 1.5 ppm y 0.11 ppm. Al respecto, es importante señalar que los suelos contienen cadmio proveniente, en su mayoría, de actividades antropogénicas –aplicación de fertilizantes sintéticos–, que acumula y bioacumula en el suelo por ser no biodegradables (Prieto *et al.*, 2009). Estos resultados también indicaron que el suelo, por la fertilización con insumos sintéticos (Bonomelli *et al.*, 2003; Herrera, 2020) y por el empleo de herbicidas (Metrohm, citado por Menchaca y Ríos, 2020) han generado el incremento de los niveles de cadmio que fueron asimilados y translocados hasta los cerezos del café.

En el caserío Los Lirios (Figura 4 y Tabla 5), los granos frescos no mostraron presencia de cadmio, lo cual dio a entender que el suelo no estuvo expuesto a insumos químicos; no obstante, en grano tostado y grano oro verde, todas las muestras mostraron acumulación de cadmio por encima o igual a los Límites Máximos Permisibles (0.10 ppm); en el caso de café tostado molido, excepto por dos muestras, se presentaron niveles superiores a los 0.10 ppm. Dicho de otro modo, pese a que al momento de la cosecha no hubo presencia de cadmio, existió la posibilidad de que ocurriese contaminación con cadmio durante el proceso de despulpado; tomando en cuenta que la tolva de la máquina despulpadora tuvo rastros de óxido u orín; en otros términos, existió la posibilidad de que en el proceso de despulpado pudo generarse la contaminación con cadmio, como consecuencia de la presencia de óxidos de hierro (Barragan, 2008).

De acuerdo con la contrastación de datos (pruebas de hipótesis al 0.05 de probabilidad) realizada en el conjunto de caseríos (Tabla 12) y para cada caserío (Tabla 10), se observó que el contenido de cadmio en bebida y café tostado molido, al no superar los límites máximos permisibles, puede dar a conocer que cuando el cadmio se somete a altas temperaturas se convierte en óxido de cadmio y se transporta a la atmósfera (Agencia para Sustancias Tóxicas y el registro de Enfermedades, s.f.) y, en la bebida de café, el cadmio fue adsorbido eficientemente por el sedimento (borra del café) (Ángeles, 2018). Lo expuesto coincidió con otro estudio donde se reportó que, en la bebida, el contenido de cadmio no superó los LMP (0.10 ppm) (Mego & Pintado, 2019). No obstante, en granos tostados, pese a que fueron sometidos a altas temperaturas, el contenido de cadmio llegó a superar los LMP (Tabla 10), por lo cual se aseveró que el cadmio es un metal de baja volatilidad.

4.17. Conclusiones

- El contenido de cadmio en los granos tostados, granos oro verde y granos frescos superó los límites máximos permisibles en el caserío Barrio Nuevo.
- El contenido de cadmio en el grano oro verde superó el límite máximo permisible a diferencia de granos frescos en el caserío Los Lirios, donde hubo presencia alguna de cadmio.
- El contenido de cadmio en los granos tostados y granos frescos superó los límites máximos permisibles en el caserío San Martín.
- El contenido de cadmio en la bebida de café y café tostado molido no superó los límites máximos permisibles en los tres caseríos.

4.18. Recomendaciones

- Se recomienda que los tesisistas de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la UNJ realicen estudios más exhaustivos desde la cosecha, almacenamiento, procesamiento y beneficiado con la finalidad de determinar la dinámica de la concentración de cadmio en cada una de las etapas de postcosecha del café.

Capítulo V

Panorama general sobre el cadmio y el café

El cadmio es un metal tóxico que no puede ser pasado por alto en los cultivos porque se ha demostrado que es una sustancia peligrosa que perjudica el desarrollo de las plantas y, por tanto, reduce su productividad; además, amenaza el ecosistema del suelo, influye en los microorganismos que habitan en la corteza y afecta el organismo del ser humano al ser inhalado o ingerido por medio de las plantas contaminadas por el metal. Por ese motivo, se requiere evitar que las plantas de café estén expuestas al cadmio o, en su defecto, conocer cuál es el límite permisible en el cultivo y en los suelos agrícolas. Dicha información es brindada por organismos internacionales, como la OMS en el documento *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Dueñas & Hinojosa, 2021), o por entidades nacionales, como el Ministerio del Ambiente (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

A partir de los datos proporcionados por tales entidades, es posible conocer si la planta de café tiene altos o bajos niveles de cadmio, lo cual podrá ser corroborado por medio de la espectrometría, con el fin de tomar las medidas necesarias para contrarrestar el cadmio. Otra de las formas para lograr que el cadmio no ingrese al cultivo o al suelo agrícola es aplicando las buenas prácticas, las cuales han sido diseñadas e implementadas considerando los problemas que surgen durante el proceso de cultivo y cosecha. Además, es una de las mejores opciones en el ámbito agrícola porque son un conjunto de recomendaciones técnicas que aseguran la inocuidad y calidad del producto cafetal; el bienestar social, laboral y animal; la protección del ambiente y la salud humana al estar expuestos por un largo tiempo al cadmio.

En este aspecto, se observa que ya se tiene un panorama más detallado sobre la relación del cadmio con el café debido a las investigaciones realizadas hasta hoy en día, las cuales permiten que los caficultores amplíen sus conocimientos sobre cómo pueden cuidar la planta y evitar que las sustancias químicas dañen su composición. De este modo, no solo se estaría cuidando la calidad del producto, sino también la salud de los trabajadores y del medio ambiente al saber los productos que deben usarse y cómo contrarrestar las sustancias que perjudican el desarrollo del cultivo de café.

5.1. Concentración del cadmio en el café

Como es de conocimiento, el cadmio es un metal pesado tóxico que afecta el desarrollo de las plantas y su productividad. Esto se debe a que el cadmio incide negativamente en los suelos agrícolas, lo cual es producto del uso excesivo de fertilizantes, riego con aguas residuales, abonos, deposición atmosférica por actividades industriales y lodos de depuración. De las causas expuestas, la acumulación del cadmio en el suelo se debe, principalmente, a los fertilizantes fosfatados porque son los que más concentración de este elemento químico poseen y, una vez que es utilizado en el cultivo, es absorbido rápidamente por la tierra y la planta hasta distribuirse en su sistema vascular ocasionando efectos negativos, tales como la reducción de la biomasa, la inhibición del crecimiento de las raíces, inhibición de la síntesis de clorofila y, en el peor de los casos, la muerte de la planta. Sumada ello, a ello, hay estudios que señalan que el cadmio ocasiona síntomas de toxicidad (clorosis y atrofia), como consecuencia de la interacción indirecta y directa del cadmio con el zinc, manganeso, hierro y fósforo (Pernía *et al.*, 2021).

Otras causas que generan una alta concentración en las plantas de café son las actividades industriales y sus productos, entre los que se encuentran la minería, pirotecnia, soldaduras, pilas eléctricas, pinturas industriales, gasolina y aleaciones, pues contaminan el agua y dañan los suelos que se usan para regar y plantar el café, lo cual se tendría que evitar, sobre todo, porque una de las características de las plantas de café es su capacidad bioadsorbente, que ocasiona que las soluciones acuosas con cadmio sean captadas y acumuladas en el organismos vegetal con mayor rapidez.

Un estudio de Oliva *et al.* (2021) explica que la concentración de cadmio va en orden decreciente: suelos, hojas y frutos con un promedio de 0.72, 0.7 y 0.1 mg kg⁻¹, correspondientemente, según el sistema convencional del sistema de producción orgánico. Los autores señalan que el café no absorbe el cadmio del suelo en grandes cantidades, lo cual muestra semejanza con otros estudios porque en estos se reporta que los niveles de cadmio son menores en la planta (0.06 mg kg⁻¹) y mayores en el suelo (0.096 mg kg⁻¹). Esta absorción mínima por parte del cafeto es consecuencia de que las plantas, en general, no tienen mecanismos para transportar elementos no esenciales, como el cadmio, motivo por el cual el transporte es efectuado a través de los mecanismos de nutrición esenciales.

En el 2017, mediante el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, se promulgaron los Estándares de Calidad Ambiental para el suelo. En este documento se dieron a conocer los límites permisibles de los elementos químicos en suelos agrícolas, residenciales y comerciales, entre los cuales destacan (Presidencia de la República, 2017):

- Cadmio: Para suelos agrícolas, máximo 1.4 mg/kg PS; para suelos residenciales o parques, máximo 10 mg/kg PS; para suelos comerciales; máximo 22 mg/kg PS.
- Arsénico: Para suelos agrícolas, máximo 50 mg/kg PS; para suelos residenciales o parques, máximo 50 mg/kg PS; para suelos comerciales; máximo 140 mg/kg PS.
- Cromo total: Para suelos agrícolas, no se aplican medidas; para suelos residenciales o parques, máximo 400 mg/kg PS; para suelos comerciales; máximo 1000 mg/kg PS.
- Plomo: Para suelos agrícolas, máximo 70 mg/kg PS; para suelos residenciales o parques, máximo 140 mg/kg PS; para suelos comerciales; máximo 8000 mg/kg PS.
- Mercurio: Para suelos agrícolas, máximo 6.6 mg/kg PS; para suelos residenciales o parques, máximo 6.6 mg/kg PS; para suelos comerciales; máximo 24 mg/kg PS.

Por otro lado, el contenido de cadmio en los suelos, según la legislación estadounidense, chilena y holandesa es de 1-20 mg kg⁻¹; el contenido de este mismo elemento en los frutos y hojas es como máximo 1 mg kg⁻¹, de acuerdo con lo decretado por la Unión Europea. Cabe precisar que para conocer la cantidad de cadmio en la planta de café se utiliza la espectrometría porque es una técnica a través de la cual se pueden medir las sustancias químicas y conocer si el cadmio se encuentra dentro de los límites permisibles o requiere de la aplicación de medidas para reducir el contenido de dicha sustancia.

Para la implementación de tales medidas, se han realizado múltiples investigaciones con el propósito de decidir y dar a conocer cuál es la mejor opción que solucione la concentración de cadmio en el café. De este modo, se puede obtener un mejor rendimiento de la producción y de la calidad del grano para su posterior venta en el mercado nacional e internacional, a fin de obtener grandes ganancias y recuperar el capital invertido.

5.2. Buenas prácticas para garantizar la calidad del café

Las Buenas Prácticas Agrícolas se refieren a la forma de producir y procesar los productos agropecuarios en sus diferentes fases sin dañar el medio ambiente; es decir, consisten en utilizar los recursos necesarios para garantizar una producción segura, sana y amigable con el ecosistema. También son definidas como el conjunto de principios, normas y recomendaciones aplicadas a cada una de las etapas que constituyen la producción agrícola. Méndez *et al.* (2018) señalan que las buenas prácticas tienen por objetivo asegurar la sostenibilidad económica, ambiental y social de los procesos de la explotación agrícola para evitar la pérdida de la calidad del producto y la inocuidad de los alimentos y de los productos no alimenticios.

Ahora, con el paso del tiempo se han establecido diversas prácticas que los caficultores deben considerar durante el cultivo del café a fin de obtener granos de calidad. Algunas de las buenas prácticas instituidas hasta en el momento son las siguientes (Puerta, 2015):

5.2.1. Personal caficultor

- El personal debe usar elementos de protección personal, conocer su estado de salud y haber recibido capacitación de las labores agronómicas.
- Todos los trabajadores deben pasar por un reconocimiento médico para identificar si padecen de una enfermedad contagiosa o tienen alguna lesión en la piel.
- La finca o donde sea el área de sembrío debe aplicar normas de seguridad industrial y un lugar donde los caficultores puedan asearse, sobre todo, después de haber aplicado sustancias químicas.

5.2.2. Requisitos higiénicos

- Los trabajadores deben quitarse cualquier objeto colgante antes de comenzar con sus labores.
- El personal debe usar un equipo de protección adecuado que incluya caretas, guantes, gafas de seguridad, calzado cerrado o botas.
- Debe evitarse contaminar el café con aguas residuales, tierras, ropas sucias, sustancias

químicas y equipo sucios.

5.2.3. Prácticas agronómicas

- Evitar el uso de agroquímicos e insecticidas de alto nivel de toxicidad para evitar la disminución de la calidad de la cosecha.
- Evitar que el contenido de humedad de los granos de café se ubique por encima del 12 %, en el proceso de secado, almacenamiento y transporte, puesto que es un factor decisivo para evitar el deterioro por mohos.

5.2.4. Prácticas de manufactura

- El café cosechado debe empaquetarse para evitar su mezcla con los granos y frutos recogidos del suelo.
- Para el transporte del café debe usarse el pergamino húmedo y agua limpia, inocua y no recirculada.
- El café almacenado no debe ser expuesto a la luz ni a altas temperaturas y/o humedad.
- Para el empaque y almacenamiento deben aplicarse los procesos de control y evaluaciones para conocer la calidad física de los granos, así como su aspecto, estado y olor, a fin de garantizar su calidad.

Otras de las prácticas que es necesario aplicar en el cultivo de café se relaciona con las plagas porque estas amenazan la calidad del grano al causar enfermedades por atacar a las raíces, tallos, ramas, hojas y frutos. Algunas de las medidas que se aplican para este tipo de situaciones son las siguientes (Meneses *et al.*, 2021)):

- Plagas de las raíces: Las especies que atacan esta zona de la planta son *M. coffeicola*, *Meloidogyne*, *M exigua*, *M. javanica* y *M. hapla*, las cuales dejan sus huevos dentro de las raíces. Para contrarrestarlo, se sugiere aplicar medidas que reduzcan o eliminen los nematodos fitoparásitos, como productos químicos. Para prevenir este tipo de plagas se sugiere que los caficultores produzcan sus plántulas en cada finca con la finalidad de evitar la introducción de las plagas de una tierra infectada a otra sana.
- Plagas del tallo: Las especies que atacan esta zona de la planta son de la familia

Ceranbycidae, las cuales taladran la zona central del árbol o de las raíces y retrasan el crecimiento de la planta, y muchas veces causan su muerte. Para contrarrestarlo, se sugiere revisar constantemente las plantaciones y escoger aquellas que tengan aserrín al pie del tallo. También se recomienda identificar y marcar el cafeto afectado para su posterior evaluación; eliminar las plantas marchitas o secas; fertilizar de manera adecuada el café; retirar las malezas; aplicar insecticidas y controladores biológicos.

- Plagas de las ramas, hojas, flores y frutos: Las especies que atacan esta zona de la planta son las cochinillas, las cuales succionan la savia hasta ocasionar su caída, deforman el fruto, marchitan la hoja y detienen el crecimiento de la planta provocando su muerte. Para contrarrestarlo, se sugiere podar las zonas afectadas y aplicar insecticidas solo en las áreas afectadas.

Otras de las especies que atacan al café son *Aphis coffeae* Nietne y *Toxoptera aurantii*, las cuales succionan la savia de las ramas, tallos y hoja nuevas, hasta ocasionar un deterioro en su color y retardar el crecimiento de la planta. Para controlarlos, se usan insecticidas únicamente en las zonas afectadas.

Estas prácticas son fomentadas por la OMS y la FAO, pues se busca que los cultivos de café y de otros productos sean fabricados y elaborados en adecuadas condiciones sanitarias, no solo para proteger el medio ambiente, sino también la salud de la población al ser uno de los productos más consumidos en el mundo.

5.3. Prevención y mitigación del cadmio en el cultivo de café

El cadmio es un metal altamente tóxico que genera efectos crónicos y agudos sobre la salud de los animales, los seres humanos y las plantas. Debido a las consecuencias que produce en todos los seres vivos expuestos a este químico, es uno de los metales más tóxicos, principalmente, en las plantas porque, de acuerdo con diversos estudios, reduce el crecimiento, la transpiración, la actividad fotosintética y el contenido de clorofilas, además de ocasionar estrés oxidativo, clorosis, modificación de la actividad enzimática, desequilibrios nutricionales y cambios en el ciclo de Krebs.

Por ello, para lidiar con la contaminación del cadmio en las plantas y sus efectos, la comunidad científica ha buscado diversas alternativas para evitar que la planta de café siga siendo dañado por

este elemento químico. Es así que se han diseñado e implementado una serie de técnicas, entre las que destacan la biorremediación por no demandar un presupuesto elevado. Esta consiste en mitigar las concentraciones de contaminantes antropogénicos mediante el uso tecnológico de plantas, enzimas o microorganismos (Montenegro *et al.*, 2020); es decir, es una técnica que aprovecha los organismos vivos para la degradación de sustancias contaminantes, como el cadmio, y se caracteriza por ser eficaz y económico. Otros de las técnicas que se han estado implementando son las siguientes (Agronoticias, 2019):

5.3.1. En plantaciones nuevas

- Las plantaciones deben ser instaladas en suelos agrícolas que tenga una cantidad de cadmio total menor a 1.4 mg/kg.
- Las plantaciones deben ser instaladas en áreas alejadas de carreteras, asimismo, debe prevenirse que entren en contacto con los gases emitidos por la combustión vehicular, ya que existe la probabilidad de que contengan cadmio.

5.3.2. En plantaciones ya instaladas

- Aumentar los niveles de manganeso y zinc en el suelo, pues se ha demostrado que la deficiencia de estas sustancias en el suelo ocasiona que el cadmio tenga mayores posibilidades de ingresar a la planta.
- Evitar el uso de roca fosfórica sedimentaria y fertilizantes fosfatados porque suelen estar compuestos por altos contenidos de cadmio.
- Emplear fertilizantes potásicos y nitrogenados, puesto que tienen un bajo contenido de cadmio. Así también, se recomienda utilizar abonos compuestos como el 20-20-20 (N-P2O5-K2O), previa análisis para saber qué metales pesados contiene. Se ha demostrado que los suelos que tienen grandes cantidades de nutrientes evitan la bioacumulación de cadmio.
- Aplicar encalado en bajas dosis con el fin de aumentar de forma gradual el pH e incorporar magnesio y calcio para garantizar el crecimiento de la planta.
- Usar micorrizas, preferentemente, de la zona y otros biorremediadores capaces de “capturar” el cadmio de suelo.

- Preparar y usar carbono activado usando biomasa residual para aplicarlo a la planta a reducir el mecanismo de absorción del cadmio.
- Instalar hongos formadores de micorrizas en las raíces para fortalecer la resistencia de las plantas hacia las sequías y enfermedades.

En efecto, el cadmio es un compuesto peligroso para el desarrollo de las plantas de café porque tienen componentes que afectan su composición, crecimiento, actividad fotosintética, desequilibrios nutricionales, entre otros, por ello, se han realizado múltiples estudios para contrarrestar estos problemas, lo cual se ha reflejado en la implementación de buenas prácticas agrícolas. A partir de estas prácticas, los caficultores pueden cuidar sus plantas y mantenerlas en buen estado hasta culminar todo el proceso, de tal manera que se eviten grandes pérdidas de granos y el producto que se obtenga sea de calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M., Peñaloza, I. & Morales, D. (2021). Aprovechamiento de los polisacáridos de la pulpa de café residual para la obtención de bioetanol como estrategia hacia la bioeconomía. *Gestión y Ambiente*, 24(Supl3), 100–113. <https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.99983>
- Acuña, W., Bravo, D. & Pito, J. (2022). Prototipo para el control de temperatura y humedad en el secado mecánico del café. *Ingeniería y Desarrollo*, 40(01), 28–46. <https://doi.org/10.14482/inde.40.01.621.004>
- Agronoticias. (2019, noviembre 23). *Estrategias para reducir el contenido de cadmio en el cacao*. <https://agronoticias.pe/ultimas-noticias/estrategias-para-reducir-el-contenido-de-cadmio-en-el-cacao/>
- Aguirre, H., Viteri, P., León, P., Mayía, Y., Cobos, P., Mero, M. & Pernía, B. (2022). Fitotoxicidad del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de variedades de maíz ecuatorianas. *Bioagro*, 34(1), 3–14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8224726>
- Almengor, Z. (2022). Determinación de metales pesados en agua embotellada en Panamá. *Centros Revista Científica Universitaria*, 11(2), 43–59. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros/article/view/3081>
- Anacafé. (s/f). *Recomendaciones básicas para el almacenamiento adecuado del café*. Anacafé. Recuperado el 14 de enero de 2023, a partir de <https://www.anacafe.org/uploads/file/c7f288147af14bd883dbde676899f1fd/Recomendaciones-almacenamiento.pdf>
- Ángeles, L. (2018). *Adsorción de cadmio y plomo en efluentes acuosos mediante borra de café peruano* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10007>
- Barragan, O. (2008). Estudio de diferentes metodologías para determinar la biodisponibilidad de cadmio y arsénico en suelos y su relación con la concentración en plantas. *Nova*, 6(9), 35. <https://doi.org/10.22490/24629448.394>

- Barrueta, S. (2013). *Guía Metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados*. DEVIDA
- Benítez, B., Vilasó, J., Arada, M., Arce, J. & Rodríguez, H. (2021). Método voltamperométrico para el análisis de cadmio en aguas residuales. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 415-436. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212021000300415&script=sci_arttext&tlng=pt
- Bilski, E. (s/f). *Características del Cadmio*. Recuperado el 5 de enero de 2023, a partir de <https://www.caracteristicass.de/cadmio/>
- Bolívar, G. (2020, abril 7). *Cadmio (Cd): historia, propiedades, estructura, usos*. <https://www.lifeder.com/cadmio/>
- Bonilla, J. (2017). Los beneficios del consumo de café. *Revista de La Facultad Ciencias de La Salud*, 19(2), 47-48. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/rfcs/article/view/177>
- Bonomelli, C., Bonilla, C. & Valenzuela, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(10), 1179–1186. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001000007>
- Buendía, J., Maldonado, R., Amador, L. & Álvarez, M. (2020). Identificación de elementos discriminatorios para caracterizar el *Coffea arábica L.* empleando componentes principales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2207>
- Cabaní, M. (2019, marzo 15). Diferencias entre café orgánico y café convencional. *Bio Emprendedores*. <https://bioemprendedores.com/diferencias-entre-cafe-organico-y-cafe-convencional/>
- Cardeña, I., Ramírez, B., Juárez, J., Huerta, A. & Cruz, A. (2019). Campesinos y sistema de producción de café ante el problema de la roya en el municipio de Hueytamalco, Puebla, México. *Espacio Abierto*, 28(2), 51–70. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/espacio/article/view/29574>
- Castellanos, I., Vargas, P., Varón, J., Velandia, J. & González, M. (2018). Diseño de una metodología de calibración para cuantificación por absorción atómica de cobre, zinc,

- plomo, cromo, níquel, hierro y manganeso partiendo de soluciones patrón multicomponente. *EIEI ACOFI*. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/416>
- Castro, V., Alvarado, L., Tejada, J., Borjas, R., Bello, S., da Costa, P., Helfgott, S. & Julca, A. (2019). *Manual de maleza asociadas al cultivo de café en la Selva Central del Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://bit.ly/3W5gBIY>
- Condezo, S., & Huaraca, C. (2018). *Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (Theobroma cacao L.) y café (Coffea arabica L.) de la zona de Japen- Cajamarca, durante el periodo febrero-julio 2028* [tesis de licenciatura, Universidad Norbert Wiener]. <https://bit.ly/3iH6JBs>
- Consejo Salvadoreño del Café, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Unión Europea, Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café & Catholic Relief Services. (2020). *Guía Práctica de Caficultura*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://ica.int/sites/default/files/2020-11/impresion%20GPCAFI%2010.2020.pdf>
- Cortijo, J. (2017). *El mundo del café*. Infocafes. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/cafe.pdf>
- Cueva, J. & Urquiza, N. (2020). *Presencia de Metales Pesados (Cadmio y Mercurio) bajo distintos usos del Suelo en la Comunidad Boayacu Perteneciente a la Parroquia Teniente Hugo Ortíz*. [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal Amazónica]. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/816>
- Cuya, E. (2013). *Asistencia técnica dirigida en “cosecha y postcosecha en el cultivo de café”*. UNALM. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/011-r-cafe.pdf>
- Da Cruz, P., dos Reis, J., de Araújo, F., Bonette, L. & de Souza, A. (2021). Cadena productiva del café: un estudio de caso del flujo logístico de granos del campo para exportación. *Revista Cubana de Ingeniería*, 12(3), 1-12. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/788>
- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. (21 de marzo de 2019). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Diario Oficial El Peruano, 7 de junio de 2017.

- Di Donfrancesco, B., Gutierrez, N. & Chambers, E. (2019). Similarities and differences in sensory properties of high quality Arabica coffee in a small region of Colombia. *Food Research International*, 116, 645–651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.090>
- Díaz, J. & Arceo, E. (2017). Daño renal asociado a metales pesados: trabajo de revisión. *Revista Colombiana de Nefrología*, 5(1), 43. <https://doi.org/10.22265/acnef.5.2.254>
- Dueñas, C. & Hinojosa, L. (2021). La calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*, 1(3), 11–20. <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i3.19>
- Erostegui, C., Oporto, C., Zalles, L., Sevilla, R. & Romero, A. (2020). Evaluación del daño renal por cadmio en población expuesta a contaminación por éste en agricultores de Quila-Quila, Potosí. *Gaceta Médica Boliviana*, 43(2), 143-146. <https://doi.org/10.47993/gmb.v43i2.191>
- Espinoza, S. (2022). *Producción y comercialización de café (Coffea Arábica l.) en la asociación Agroartesanal de caficultores río Intag “Aacri” de la zona de Intag, cantón Cotacachi* [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12555>
- García, R. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. *Avances En Química*, 13(3), 79–82. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87008>
- Giraldo, M., Quiroga, A., García, A. & Postali, J. (2018). *Sistema experto para broca del café y minador de las hojas del café: Colombia y Brasil*. Congreso SOCOLEN. <https://bit.ly/3GFfofL>
- Gómez, B., Díaz, M., Valdés, R. & Miguel, M. (2021). Efectos del consumo de café sobre la salud. *Medisur*, 19(3), 492–205. <https://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/4951>
- Gómez, F., Trejo, L., Morales, V., Marín, T. & Crosby, M. (2018). Valoración nutricional de granos de café robusta (*Coffea canephora*) de diferentes orígenes procesados en México. *Agro Productividad*, 11(4), 25-29. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i4.264>
- Gramlich, A., Tandy, S., Andres, C., Chincheros, J., Armengot, L., Schneider, M. & Schulin, R. (2017). Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. *Science of The Total Environment*, 580, 677–686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.014>

- Henderson, T. (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista Mexicana de Sociología*, 81(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032019000200389
- Hernández, E. & Hernández, L. (2021). Espectrofotometría UV como método confiable para la cuantificación de vitamina C. *ECBTI Working Papers*, 2(2), 1–7. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/wpecbti/article/view/4777>
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y. & Cartaya, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3), 1-19. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010
- Herrera, T. (2020). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Venesuelos*, 8(1), 42–47. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112/1040
- Huaraca, J., Pérez, L., Bustinza, L. & Pampa, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139–152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Inagro. (2021, marzo 24). *Qué es el café orgánico*. <https://inagro.org.pe/2021/03/24/que-es-el-cafe-organico/>
- Instituto del Café de Costa Rica. (s.f.). *El mejor café del mundo*. Instituto del Café de Costa Rica. <https://www.icafe.cr/nuestro-cafe/el-mejor-cafe-del-mundo/>
- Junta Nacional del Café. (2 de septiembre de 2020). *El café de Perú*. Junta Nacional del Café. <https://bit.ly/3N7Ir05>
- La Nación. (1 de octubre de 2022). *Día Internacional del Café: el preferido en todo el mundo y con mil años de historia*. La Nación. <https://vos.lanacion.com.py/2022/10/01/dia-internacional-del-cafe-el-preferido-en-todo-el-mundo-y-con-mil-anos-de-historia/>
- Leguizamo, P., Perdomo, A., Medina, L. & Ducuara, A. (2018). Prácticas en la post cosecha del café y su influencia en las finanzas del caficultor. *Crece Empresarial Journal of Management and Development*, 2, 16–28. <https://journalusco.edu.co/index.php/cempresarial/article/view/1877>

- López, G., León, L. & Molina, C. (2021). Identificación de actitudes y atributos por parte de los sonorenses con relación al café de grano no industrializado. *Revista Vértice Universitario*, 23(89), 24-32. <https://doi.org/10.36792/rvu.vi89.28>
- Macías, C., García, M. & Chaparro, P. (2017). Determinación electroquímica de plomo y cadmio en aguas superficiales. *Luna Azul*, 44, 27–38. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.3>
- Maradiaga, W., Pêgo, A., Lima, L. & Júnior, J. (2021). Irrigación en plantaciones de café y su efecto en el agua residual del procesamiento de los frutos. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2), 356–364. <https://doi.org/10.15517/am.v32i2.43420>
- Matos, A. & Rodríguez, S. (2018). *Elaboración de un proyecto de reforestación con café para la Empresa Cafeteros Unidos SRL (Cafe Ideal) en beneficio de los productores de café del río Jura y zonas aledañas en el Municipio Peralta, Provincia Azua* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña]. <https://repositorio.unphu.edu.do/handle/123456789/615>
- Mego, R. & Pintado, M. (2019). *Determinación del nivel de concentración de cadmio en granos y esencia de café (Coffea arabica L.), en el Distrito de Chirinos, Provincia de San Ignacio* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/46>
- Menchaca, S. & Ríos, L. (2020). Análisis diacrónico de la contaminación por cadmio en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz. *UVserva*, 9, 8–19. <https://doi.org/10.25009/uvs.v0i9.2644>
- Méndez, N., Murcia, G. & Rincón, L. (2018). Proceso de Certificación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) Según Norma ICA 30021, en cultivo de aguacate Hass (Persea americana Mill), municipio de Isnos – Departamento del Huila. *Working Papers Ecapma*, 2(2), 1-18. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2945>
- Meneses, N., Ordoñez, M., Morales, Y., Napoleón, O., Pineda, J., Jiménez, G., Leonel, A., Trejos, Á., Lizardo, C., René, M., Oseguera, F., Hernández, J. & Ruiz, J. (2021). *Manual técnico para una caficultura sostenible y productiva*. IHCAFE.

https://issuu.com/cesarmaradiaga2/docs/pdf_manual_tecnico_para_una_caficultura_sostenible

Merlin, Y., & Charbonnier, F. (2018). Tipología de estrategias campesinas en la ca cultura orgánica de la Sierra Madre de Chiapas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), 411–423. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1714>

Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *R.M. N.º 0451-2018-MINAGRI. Lineamientos de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelo, hojas, granos y productos derivados de cacao*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/229452/rm451-2018-minagri.pdf?v=1542506205>

Ministerio de Comercio Exterior y Turismo & Grupo Banco Mundial. (2016). *Análisis integral de la logística en el Perú. 5 cadenas de exportación*. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/P_Cafe.pdf

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (22 de agosto de 2022). *Perú es el primer productor y exportador mundial de café orgánico junto con Etiopía*. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/647409-peru-es-el-primer-productor-y-exportador-mundial-de-cafe-organico-junto-con-etipia>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (s.f.). *Situación actual del café en el país*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://bit.ly/3Llqv0L>

Ministerio de Salud. (2015). *Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio*. Ministerio de Salud.

Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. (2018). *Cadmio y compuestos orgánicos*. <https://www.insst.es/dlep-documentacion-toxicologica>

Montenegro, S., Pulido, S., & Calderón, L. (2020). *Prácticas de biorremediación en suelos y aguas*. Notas de Campus, 1ª ed. <https://doi.org/10.22490/notas.3451>

- Montes, C. & Anaya, M. (2019). Efecto de la fertilización con abono orgánico (A.L.O.F.A) en plantas de café (coffea arábica). *Scientia Et Technica*, 24(2), 340–348. <https://www.redalyc.org/journal/849/84961237021/84961237021.pdf>
- Mundaca, Y. & Huamán, J. (2021) Evaluación de cadmio en granos de café, café tostado molido y esencia de café (Coffea arabica) procedentes de fincas manejadas convencionalmente, en el distrito San Ignacio, Cajamarca, campaña 2020 [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén] https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_b16f519221cb083522de407b0c827c41
- Mujica, N. (2018). La Importancia de la Selección del Color en la Práctica Odontológica. *Psychologia Latina, Especial*, especial(), 330–333. <https://psicologia.ucm.es/data/cont/docs/29-2019-02-15-Mujica%20S%C3%A1nchez%20-.pdf>
- Muriel, D. (2019). *Propuesta de mejora a la gestión ambiental en la producción sostenible de café, en la finca “EL NILO” ubicada en el corregimiento de Pance, Santiago de Cali, Valle del Cauca* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Occidente]. <http://hdl.handle.net/10614/10885>
- Nordberg, G., Bruce, A. & Nordberg, M. (2015). Cadmium. En *Handbook on the toxicology of metals* (4.^a ed). Elsevier.
- Oliva, M., García, A., Chuquizuta, I., Rubio, K., Leiva, S. & Collazos, R. (2021). Concentraciones de Cadmio en el sistema suelo-planta en los cultivos de café en dos sistemas de producción. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 2(1), 45–53. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v2i1.49>
- Ormaza-Zapata, A., Díaz-Arango, F., & Rojano, B. (2022). Efecto de la preparación fría de café (Coffea arabica L. var. Castillo) sobre la capacidad antioxidante y la calidad sensorial. *Información tecnológica*, 33(1), 57-70. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100057>
- Orús, A. (15 de marzo de 2023). *El mercado del café en el mundo - Datos estadísticos*. Statista. <https://es.statista.com/temas/9035/el-cafe-en-el-mundo/#editorsPicks>
- Osorio, V. (2021). La calidad del café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (pp. 219–234). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/4290>

- Osorio, V. & Silva, J. (2019). La huella del café. En C. Sánchez, J. Silva, K. Portilla, G. Prieto, Á. Gaitán, S. Sadeghian, & V. Osorio (Eds.), *De la geología al café* (Vol. 41). Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585246928>
- Pérez, Y. (2019). Z = 48, cadmio, Cd. El elemento presente en las baterías. *Anales*, 115(2), 110. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8553509>
- Perfect Daily Grind. (16 de abril de 2022). *Guía de la producción de café en Tanzania*. Perfect Daily Grind. <https://perfectdailygrind.com/es/2022/04/16/guia-produccionde-cafe-en-tanzania/>
- Pernía, B., Añazco, K., Mero, M., Mayía, Y. & Cobos, P. (2021). Efectos del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de cinco variedades de *Oryza sativa* L. cultivadas en Ecuador. *Acta Agronómica*, 70(1), 82–92. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.87636>
- Presidencia de la República. (2017, diciembre 2). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. *Diario Oficial El Peruano*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per176755.pdf>
- Presidencia de la República. (2019, diciembre 27). Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Acción del Café Peruano 2019-2030. *Diario Oficial El Peruano*. <https://bit.ly/3Xhx7ku>
- Prieto, J., González, C., Román, A. & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Puerta, G. (2015). Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: Fermento reposado fenólico y mohoso. *Avances Técnicos Cenicafé*, 461, 1-12. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/675>
- Quero, P., Zorrilla, M., Morales, S., & Rodríguez, M. (2017). Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la empresa electroquímica de Sagua. *Revista Centro Azúcar*, 44, 53-62. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n3/caz06317.pdf>
- Ramírez, J. (2018). *Diseño del centro de tostado* [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz]. <http://reini.utcv.edu.mx/handle/123456789/495>

- Ramos, W., Delgado, P. & Miranda, L. (2022). Evaluación de nanofiltros con diatomita para la remoción de cadmio en muestras de agua del río Tambo-Arequipa. *Revista Boliviana de Química*, 39(1), 10-18. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.1.2>
- Ren, Y., Wang, C., Xu, J. & Wang, S. (2019). Cafestol and Kahweol: A Review on Their Bioactivities and Pharmacological Properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(17), 4238. <https://doi.org/10.3390/ijms20174238>
- Rivas, C. (2018). Modificación de la pulpa de café mediante extrusión y su aprovechamiento en productos de panificación [tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional DBSDI-UAQ. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1100>
- Rodríguez-González, A., Terrón-Camero, L. C., & Romero-Puertas, M. C. (2020). Funciones del óxido nítrico en la respuesta de la planta a la toxicidad por cadmio. *Ecosistemas*, 29(2), 1935-1946. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1935>
- Rodríguez, K., Ramírez, R., López, P. & Vásquez, D. (2022). Riesgos disergonómicos en recolectores de café. *Ergonomía, Investigación y Desarrollo*, 4(2), 23–32. https://revistas.udec.cl/index.php/Ergonomia_Investigacion/article/view/8487
- Rosado, N., Carrillo, V., Azcorra, M. & Pérez, R. (2021). Los cultivos no tradicionales y los elementos que los sustentan. *AquaDocs*, 11(12), 38–49. <https://aquadocs.org/handle/1834/42079>
- Rosas, C., Solís, H. & Cerna, A. (2019). Sistema eficiente y de bajo costo para la selección de granos de café: una aplicación de la visión artificial. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 347–351. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.04>
- Rufin, L., Martínez, A., Méndez, J. & Vega, M. (2021). El consumo de café: su asociación con el riesgo de padecer cáncer. *Revista Médica Electrónica*, 43(6), 1649-1659. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242021000601649&script=sci_arttext&tlng=en
- Salmerón, R. (2021). Beneficios del consumo de café. *Síntesis*. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5198>

- Sánchez, I., del Ángel, J. & Juárez, O. (2020). Influencia de la temperatura de tostado de diversas mezclas de café *Coffea Arábica* y café *Coffea Robusta*. *Revista Electrónica Sobre Tecnología, Educación y Sociedad*, 7(14), 237–255. <https://www.ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/728>
- Santander, W., Garay, R., Verde, C., & Mendieta, O. (2021). Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la Región San Martín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 39-49. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.321>
- Serna, J., Torres, L., Martínez, K. & Hernández, M. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista ION*, 31(1), 37–42. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018006>
- Serrano, M., Pérez, L., Estrada, H., Benítez, R. & Aranguren, Y. (2022). Identificación y caracterización de rizobacterias nativas fijadoras de nitrógeno de *Capsicum sp.* de la región caribe colombiana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 81–92. <https://doi.org/10.22490/21456453.4818>
- Tezotto, T. (2011). *Metabolismo e qualidade da bebida em cafeeiro expostos ao cádmio, níquel e zinco* [Tesis de maestría, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.11.2011.tde-14022011-083149>
- Torselli, E., Heinke, N., Ruarte, S., Garbini, A. & Jakubowski, N. (2019). Espectrometría de fluorescencia de rayos x dispersiva en energía aplicada al análisis de alimentos para la determinación de plomo y cadmio proveniente de migraciones específicas por contacto con recipientes cerámicos. *Revista Ciencia Reguladora de La Anmat*, 3(4), 16-20. <https://bit.ly/3GKNa4o>
- Urrego, W. & Godoy, M. (2021). La Revisión - Aprovechamiento de los residuos de la agroindustria del café en la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica. *Prospectiva*, 19(2), 1-15. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/2590>
- Vega, A., de León, J., Reyes, S. & Miranda, S. (2018). Componentes Bioactivos de Diferentes Marcas de Café Comerciales de Panamá. Relación entre Ácidos Clorogénicos y Cafeína.

Información Tecnológica, 29(4), 43–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400043>

Venegas, A., Soto, L., Herrera, O. & Álvarez, G. (2020). Transformaciones de la caficultura en Chiapas: un análisis de las crisis desde la perspectiva del ciclo de renovación adaptativa. *Sociedad y Ambiente*, 23, 1–31. <https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2188>

Vidal, C., Latorre, M. & Comas, O. (2021, septiembre 30). *¿Podemos saborear un buen café sin remordimientos?* <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/180555>

Villalba, A. (2019, junio 27). Cadmio. *Revista Ciencia y Cultura*. <https://www.revistac2.com/cadmio/>

World Coffee Research. (s/f). *Varietades de café arábica*. Recuperado el 8 de enero de 2023, a partir de <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es>

El cadmio y su impacto en la producción
de café

*Es un libro editado y publicado por la
editorial UTP en presentación electrónica de
descarga libre, publicado el 08 de junio del
2023.*

