



POSGRADOS

Maestría en

RECURSOS NATURALES

RENOVABLES CON MENCIÓN EN REMEDIACIÓN Y RESTAURACIÓN

RPC-SO-17-NO.363-2020

Opción de Titulación:

Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo

Tema:

Evaluación de metales pesados en nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito

Autor(es):

María Isabel Tulcán Rivera

Director:

Elena Coyago Cruz

QUITO – Ecuador
2022



Autor(es):**María Isabel Tulcán Rivera**

Ingeniera en Medio Ambiente
Tecnóloga en Administración de Empresas
Candidata a Magíster en Recursos Naturales Renovables con
Mención en Remediación y Restauración por la Universidad
Politécnica Salesiana – Sede Quito.
mtulcan@est.ups.edu.ec

Dirigido por:**Elena Del Rocío Coyago Cruz**

Ingeniera Química
Magister en Ingeniería Industrial y Productividad
Doctora en el programa en Ingeniería Agraria Alimentaria,
Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible
ecoyagoc@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

María Isabel Tulcán Rivera

**EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN NÍSPEROS (*ERIOBOTRYA JAPONICA*) CULTIVADOS
EN LA SECCIÓN URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres y mi hermana, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mi madre por nunca dejar de trabajar y ser muy fuerte a pesar de lo que la vida le ha puesto. A mi padre por demostrarme que siempre ser padre es lo más importante en la vida. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres. A mi hermana por estar siempre presente, por demostrarme que todo lo que deseo lo puedo lograr, por enseñarme a ser mejor persona y por siempre ser un ejemplo para seguir, además de todo lo que me ha dado y lo que dejó a un lado para poder ser como una madre para mí.

A Kevin que siempre estuvo apoyándome a pesar de todas las adversidades. A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me han ayudado a continuar y salir adelante.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron. A Kevin porque siempre estuvo brindándome fuerzas para continuar con mis sueños y ayudándome a seguir adelante.

Agradezco a mi tutor de tesis Dra. (PhD) Elena Del Rocío Coyago Cruz quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación.

Agradezco a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Politécnica Salesiana.

A la Universidad Técnica de Ambato, por el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación, en especial a la PhD. Mayra Paredes.

Tabla de contenido

Resumen	7
1 Introducción.....	9
2 Determinación del Problema.....	11
3 Marco teórico referencial.....	13
3.1 Contaminación ambiental.....	13
3.1.1 Contaminantes del aire o atmosférica	14
3.1.2 Contaminantes del agua.....	16
3.1.3 Contaminantes del suelo.....	18
3.2 Contaminación por metales pesados	20
3.3 Contaminación alimentaria.....	22
3.3.1 Especies comestibles empleadas en fitorremediación	24
3.3.2 Níspero.....	25
4 Materiales y metodología.....	27
4.1 Muestreo.....	27
4.2 Análisis físico-químico.....	29
4.3 Cuantificación de metales pesados	31
4.4 Análisis estadístico	32
5 Resultados y discusión.....	33
5.1 Análisis físico químico	33
5.2 Cuantificación de metales pesados	44
5.3 Análisis de correlaciones y componentes principales	51
6 Conclusiones.....	55
Referencias	56

EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN NÍSPEROS (ERIOBOTRYA JAPONICA) CULTIVADOS EN LA SECCIÓN URBANA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Autor(es):
MARIA ISABEL TULCAN RIVERA

Resumen

En los últimos tiempos, la contaminación ambiental ha emergido como una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial, debido a los efectos adversos de los contaminantes en la salud humana y la falta de acceso a una alimentación adecuada. Antes ese panorama, en ciudades con altos índices de contaminación se han implementado planes de cultivo para purificar el ambiente y proveer a la población de especies comestibles. Con este propósito, el presente estudio se centró en la evaluación de los niveles de metales pesados en nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito. Se recolectaron muestras de frutas maduras de árboles de níspero ubicados en 15 lugares diferentes, principalmente calles y avenidas con alto tránsito en la ciudad. Se realizaron mediciones del diámetro ecuatorial y longitudinal, peso y número de semillas de las muestras frescas, así como del pH, sólidos solubles, acidez titulable, ceniza y humedad en la porción comestible de la fruta fresca. Además, se cuantificaron los niveles de los metales pesados cadmio y cromo en muestras liofilizadas utilizando técnicas de extracción ácida en microondas y espectrometría de masas. Los resultados revelaron valores máximos de 3,2 cm para el diámetro ecuatorial, 4,0 cm para el diámetro longitudinal, 25,9 g para el peso, 4,4 unidades para el número de semillas, un pH de 4,4, 15,0 °Brix para los sólidos solubles, 3,5 %, para la acidez titulable, 59,9 % para las cenizas, 98,8 % para la humedad, una concentración de 952,6 ng/g PS para el cadmio y 60,5 ng/g PS para el cromo. Estos resultados permitirán establecer programas de mejora ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el uso de especies que no representen riesgos para la población y contribuyan a la preservación del medio ambiente.

Palabras clave:

Contaminación, seguridad alimentaria, ciudades autosustentables, ciudades autosostenibles.

Abstract

Recently, environmental pollution has emerged as one of the world's leading causes of mortality, due to the adverse effects of pollutants on human health and the lack of access to adequate food. In cities with high levels of pollution, plantation plans have been implemented to clean the environment and provide edible species to the population. To this end, the present study focused on the evaluation of heavy metal levels in loquats (*Eriobotrya japonica*) grown in the urban area of the Metropolitan District of Quito. Mature fruit samples were collected from loquat trees in 15 different locations, mainly street and avenues with heavy traffic in the city. Measurements were made of the equatorial and longitudinal diameters, weight, and number of seeds of the fresh samples, as well as pH, soluble solids, titratable acidity, ash, and moisture in the edible part of the fresh fruit. In addition, the levels of the heavy metals cadmium and chromium were quantified in freeze-dried samples using microwave acid extraction and mass spectrometry techniques. The results showed maximum values of 3.2 cm for equatorial diameter, 4.0 cm for longitudinal diameter, 25.9 g for weight, 4.4 units for seed number, a pH of 4.4, 15.0 °Brix for soluble solids, 3.5 % for titratable acidity, 59.9 % for ash, 98.8 % for moisture, a concentration of 952.6 ng/g dry weight (DW) for cadmium and 60.5 ng/g DW for chromium. These results will allow the establishment of programs to improve the environment in the Metropolitan District of Quito, using species that do not pose a risk to the population and contribute to the preservation of the environment.

Keywords:

Pollution, food security, self-sustaining cities, self-sustainable cities.

1 Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se considera que los árboles con valor alimenticio son aquellos que producen frutos aptos para el consumo humano, ya sea en su forma cruda, cocinada o incluso como aderezo para alimentos, como especias. Estos árboles se encuentran presentes en parques, jardines privados, aceras, y otros espacios urbanos, con el objetivo de contribuir a la seguridad alimentaria y mejorar la economía familiar de la población. Sin embargo, es importante considerar el impacto de la contaminación ambiental en este contexto. Estudios realizados en ciudades europeas han reportado la presencia de metales pesados como el cadmio y el plomo en frutas y nueces provenientes de árboles urbanos (Falfán & MacGregor, 2006).

La preocupación por la contaminación alimentaria ha aumentado considerablemente en los últimos años debió a diversos factores. Uno de ellos es la creciente inquietud sobre la cantidad y calidad de los alimentos disponibles. Muchas especies alimenticias se utilizan como plantas fitorremediadoras para la descontaminación de suelos y aire (Coyago & Bonilla, 2016). Además, la inseguridad alimentaria es una realidad en muchos sectores debido al rápido crecimiento de la población, lo cual ha llevado a la transformación de áreas agrícolas y a la adopción de prácticas intensivas in control de pesticidas y productos tóxicos (Ortega et al., 2010; Palacios-Estrada et al., 2018).

Esta preocupación está fundamentada en numerosos estudios que han establecido una asociación entre la contaminación alimentaria y diversas enfermedades (Reyes et al., 2016). Estas enfermedades pueden tener su origen en contaminantes como los combustibles fósiles, el gas natural, el gas propano, el carbón vegetal, el carbón mineral, los incendios forestales, la materia fecal seca (Pérez-Cardenas, 2017), agentes de riesgo, bacterias y ciertos metales (Medina, 2019). Todos estos factores contribuyen a la preocupación generalizada por la seguridad y calidad de los alimentos que consumimos.

Por otra parte, Ecuador se encuentra ubicado en una zona volcánica del Cinturón de Fuego del Pacífico, lo cual resulta en suelos con altas concentraciones de metales

pesados. Estos metales son componentes naturales que se encuentran en la estructura de la corteza terrestre, pero en niveles elevados pueden provocar envenenamiento (Londoño-Franco et al., 2016). En el contexto ecuatoriano, el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) es la ciudad que alberga al 15,5 % de la población del país y ocupa una extensión de 4235,2 km² (Campaña et al., 2017). Se estima que en Quito circulan alrededor de 488 0000 vehículos que utilizan combustibles de alto y bajo octanaje, así como diésel con un contenido de azufre de 599 ppm. Estos combustibles, a una altitud de aproximadamente de 2850 metros sobre el nivel de mar, generan una combustión incompleta que resulta en la emisión de monóxido de carbono, SO_x y NO_x, los cuales son contaminantes primarios. Estos contaminantes primarios, al llegar a la atmósfera, reaccionan y forman contaminantes secundarios, incluyendo aquellos que pueden contribuir a la lluvia ácida (Chuquer et al., 2018). Según los informes de calidad ambiental emitidos por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, en los años 2015 y 2016, la red de monitoreo registró valores superiores a los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud en cuanto a la contaminantes ambientales (Díaz, 2016).

En este contexto, la exposición a alimentos contaminados, especialmente aquellos que contienen metales pesados, representa una seria amenaza para la salud humana. Este problema genera una creciente preocupación a nivel mundial, ya que dependiendo del tipo de contaminante, se pueden producir diversas alteraciones en el organismos, que van desde el daño a los órganos hasta el desarrollo de cáncer (Reyes et al., 2016). Por lo tanto, es fundamental investigar las fuentes de generación de contaminantes y comprender las afectaciones que causan en el cuerpo humano. En este sentido, el objetivo principal de este estudio fue evaluar la presencia de metales pesados en nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito.

2 Determinación del Problema

En los últimos años, ha habido un creciente aumento en la preocupación sobre la contaminación alimentaria, debido a que se cuestiona tanto la cantidad como la calidad de los alimentos disponibles. Un factor que contribuye a esta preocupación es el hecho de que muchas especies alimenticias se utilizan como plantas fitorremediadoras para descontaminar suelos y aire (Coyago & Bonilla, 2019). Sin embargo, esta práctica puede generar inseguridad alimentaria, especialmente en las poblaciones con recursos económicos limitados que no pueden acceder a productos de alta calidad.

En este sentido, la preocupación generada por los alimentos contaminados se debe principalmente a que estudios han establecido una relación directa entre este tipo de contaminación y enfermedades, incluso llegando hasta el cáncer (Reyes et al., 2016). Esta intranquilidad se agrava por la presencia de condiciones como la pobreza y el rápido crecimiento de la población, lo cual ha llevado a prácticas agrícolas intensivas sin un control adecuado de pesticidas y productos tóxicos (Ortega et al., 2010; Palacios-Estrada et al., 2018). Como resultado, se ha generado una situación de inseguridad alimentaria y un aumento en los riesgos asociados con la calidad de los alimentos que se consume.

Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define como árboles con valor alimenticio aquellos que producen frutos aptos para el consumo humano, ya sea en forma cruda o cocinada. Estos árboles son utilizados en parques, jardines privados, aceras, y otros espacios urbanos, con el propósito de fomentar la seguridad y soberanía alimentaria, así como beneficiar la economía familiar. Sin embargo, es importante destacar que la contaminación ambiental no ha sido considerada en este contexto, a pesar de que estudios realizados en ciudades europeas han informado sobre la presencia de metales pesados, como el cadmio y el plomo, en frutas y nueces provenientes de árboles urbanos (Falfán & MacGregor, 2006). Esto plantea un desafío adicional en

la garantía de la calidad y seguridad de los alimentos provenientes de estos árboles en entornos urbanos.

En este sentido, la evaluación de los metales pesados presentes en nísperos (*Eriobotrya japonica*) cultivados en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito reviste una importancia vital. Esta investigación permitirá generar recomendaciones tanto a nivel local como general en relación con la seguridad alimentaria en entornos urbanos. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa para identificar posibles riesgos y establecer medidas adecuadas que salvaguarden la salud de la población, así como promover prácticas agrícolas sostenibles que contribuyan a la calidad de los alimentos producidos en áreas urbanas. De esta manera, se fortalecerán las estrategias para garantizar la seguridad alimentaria en entornos ciudadanos y se contribuirá al bienestar de la comunidad.

3 Marco teórico referencial

3.1 Contaminación ambiental

El medio ambiente es un sistema complejo que alberga el ciclo de vital de los organismos vivos y engloba elementos como el aire, el agua y el suelo. A lo largo de la historia de la humanidad, este equilibrio ecológico ha sido alterado debido a diversos factores relacionados con el desarrollo humano. Desde la transición de la vida nómada a la vida sedentaria, con la necesidad de crear áreas de cultivo que conllevó a la deforestación, hasta el consumo creciente de energías no renovables, recursos naturales y tecnologías industriales, se han producido cambios significativos. A medida que la población ha experimentado una transición de áreas rurales a urbanas, se ha generado una mayor demanda de energías no renovables y una explotación más intensa de los recursos naturales. Esto ha dado lugar al uso de sustancias artificiales y a la actual crisis ambiental, que se caracteriza por el cambio climático, el deterioro del suelo, la pérdida de especies y la grave contaminación del agua, el aire y el suelo. Estos problemas ambientales también han tenido impactos socioeconómicos significativos (Figura 1) (Orozco et al., 2004).

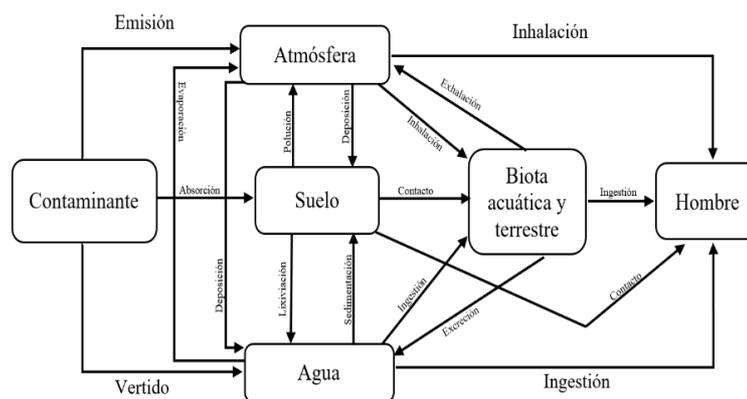


Figura 1. Formas de contaminación ambiental
Fuente: (Avila, 2017)

3.1.1 Contaminantes del aire

El desarrollo de la humanidad ha desempeñado un papel significativo en el aumento de la contaminación ambiental, ya que los cambios profundos en la sociedad han contribuido a la degradación parcial o total de la naturaleza. Uno de los puntos de inflexión clave fue la revolución industrial, que marcó un antes y un después en este aspecto. A medida que una sociedad se vuelve más avanzada y desarrollada, se generan mayores desafíos ambientales debido al aumento de la demanda de bienes y servicios. Sin embargo, es importante destacar que la contaminación ambiental es tan antigua como la propia humanidad, e incluso desde los orígenes del universo se han dado ambientes contaminados e inhóspitos para la vida. Es fundamental tomar conciencia de esta realidad y buscar soluciones sostenibles para preservar nuestro entorno (Gil, 2020).

La contaminación atmosférica se produce cuando se introducen sustancias nocivas (físicas, químicas o biológicas) en el aire, lo cual tiene efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para los ecosistemas (Palacios & Moreno, 2022; Ubilla & Yohannessen, 2017). Esta contaminación se compone principalmente de partículas o material particulado, así como de componentes gaseosos. Además, se incluyen agentes físicos como el ruido, la iluminación, la temperatura, la humedad, las vibraciones y la radiación. En cuanto a los agentes químicos, se mencionan gases, vapores, aerosoles y metales, mientras que los agentes biológicos abarcan microorganismos como bacterias, virus, hongos y otros organismos vivos (Palacios & Moreno, 2022).

En el ámbito de la contaminación ambiental, se ha observado que el material particulado y los componentes gaseosos tienen una mayor incidencia en el medio ambiente. En cuanto al material particulado, puede clasificarse en diferentes categorías, como partículas gruesas (diámetro $< 10 \mu\text{m} \geq 2,5 \mu\text{m}$), partículas finas o nanopartículas (diámetro $< 0,1 \mu\text{m}$), partículas carbonosas (proceden de fuentes de combustión, como las emisiones del tráfico o calefacción) y partículas inorgánicas (polvo del desierto y polvo mineral procedente de la agricultura). Por otro lado, en lo que respecta a los contaminantes gaseosos, se pueden mencionar los óxidos de

nitrógeno (NO_x), como el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el monóxido de nitrógeno (NO), el monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃), el dióxido de azufre (SO₂) y los compuestos orgánicos volátiles. En este sentido, los contaminantes generados principalmente por las emisiones de vehículos y la calefacción son los que tienen mayor impacto ambiental, siendo el NO₂ uno de los principales contaminantes, mientras que el SO₂ proviene principalmente de las emisiones industriales y del transporte marítimo (Bourdrel et al., 2017).

Los contaminantes ambientales han tenido un gran impacto en la salud humana, lo cual se refleja en el preocupante número de muertes prematuras relacionadas con la contaminación ambiental. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2016, se registraron aproximadamente 4,1 millones de muertes prematuras atribuidas a contaminantes ambientales (Figura 2) (OMS, 2018; Palacios & Moreno, 2022). Estos datos resaltan la gravedad de la contaminación ambiental y, en particular, del material particulado, que en los últimos años ha sido responsable de diversas enfermedades, como accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, estrés oxidativo, respuestas inmunológicas como la inflamación sistémica de los órganos respiratorios y daños genómicos en el ADN, entre otros.

En Ecuador, estas preocupaciones ambientales han llevado específicamente a la ciudad de Quito a implementar redes automáticas de monitoreo ambiental, bajo la dirección de la Secretaría de Ambiente, que evalúan de manera permanente la calidad del aire y otros aspectos como la huella de carbono, el cambio climático y la gestión ambiental (Chuquer et al., 2018). Esto es especialmente relevante considerando que la región de América Latina y el Caribe contribuye con el 9 % de las emisiones gaseosas de efecto invernadero a nivel mundial (Largo-Taborda et al., 2022). Es fundamental continuar con estos esfuerzos de monitoreo y gestión ambiental para abordar de manera efectiva los problemas relacionados con la contaminación y proteger la salud de la población.



AIRE LIMPIO PARA LA SALUD

#ContaminaciónDelAire



Figura 2. Infografía de la contaminación del aire
Fuente: (OMS, 2018)

3.1.2 Contaminantes del agua

El agua, químicamente compuesta por una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno, desempeña un papel fundamental en nuestro planeta, cubriendo aproximadamente el 72 % de la superficie terrestre. Es uno de los compuestos más esenciales de la naturaleza, y su uso abarca una amplia gama de actividades humanas, como el suministro urbano, doméstico, industrial, agrícola, generación de energía eléctrica, acuicultura, recreación, estética y navegación. A pesar de su abundancia, es importante destacar que la mayor parte del agua en la Tierra es salada y no es apta para el consumo humano directo (Orozco et al., 2004). Lamentablemente, millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a este

recurso vital. La escasez de agua potable es una realidad preocupante que afecta a numerosas comunidades, como se ilustra en la Figura 3 (AGUA.ORG.MX, 2017).

La contaminación del agua se genera cuando componentes extraños ingresan y producen alteraciones modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas y es perjudicial para el ambiente y los humanos, de tal forma que es crítico el uso debido a la deficiencia de calidad que presenta comparado con el destino que se le daría en estado natural (Guadarrama-Tejas et al., 2016), por tanto, el agua potable es necesaria para la salud humana, sin embargo, datos de la OMS señalan que el agua es una fuente principal de infección para los humanos y que el 80 % de enfermedades son transmitidas por este recurso. Es así como el 3,1 % de muertes se producen por la falta de higiene y mala calidad del agua, debido a los contaminantes originarios de los residuos domésticos e industriales, vertidos marinos, residuos radiactivos y metales que provocan fallos reproductivos e intoxicaciones agudas como el cólera, diarrea, gastroenteritis, la fiebre tifoidea, vómitos, problemas de la piel y riñón (AGUA.ORG.MX, 2017; Haseena et al., 2017).

Dentro de los contaminantes del agua se puede mencionar a agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos, sustancias químicas como los ácidos, compuestos de metales tóxicos, el petróleo, plaguicidas, plásticos, detergentes, sedimentos en el agua, aumento de temperatura, amianto, plomo, mercurio, nitratos y fosfatos, entre otros contaminantes. Todos los contaminantes antes mencionados dan origen a la desaparición de la vida marina, generación de enfermedades a los humanos (genotoxicidad, neurotoxicidad, carcinogenicidad, descenso de fertilidad e inseguridad alimentaria) y repercusión a otros ecosistemas (Guadarrama-Tejas et al., 2016). Por tanto, el agua tiene la capacidad de diluir los contaminantes, transportándolos hacia el mar y océanos (Largo-Taborda et al., 2022).



Figura 3. Infografía de acceso a agua potable y saneamiento OMS 2017
Fuente: (AGUA.ORG.MX, 2017)

3.1.3 Contaminantes del suelo

El suelo es una estructura esencial de la superficie terrestre y los Ecosistemas, es el medio natural para la coexistencia de plantas, microorganismos, animales y humanos y está compuesto de materia orgánica, minerales meteorizados, orgánica, aire y agua (Iturbe, 2010). A su vez, el suelo es un sistema vivo que cubre la corteza terrestre y se encuentra en constante formación debido al movimiento propio de las capas terrestres (Avila, 2017). Es así como, la degradación del suelo involucra el cambio de estado de la salud de este, ya que el suelo alberga una gran cantidad de bacterias, hongos y tardígrados (FAO, 2022).

Se conoce que el 75 % de los contaminantes que llegan al suelo provienen de fuentes antropogénicas principalmente ligadas a la agricultura e industria, entre ellos se puede mencionar a derivados del petróleo, pesticidas, radón, asbesto, metales pesados y arseniatos (Figura 4), los cuales pueden migrar a las capas freáticas dependiendo de la característica del suelo (arenoso, arcilloso, orgánico) y contaminar el suelo (ONU, 2018). Además, la contaminación también puede ser natural debido a la liberación de la meteorización de la misma roca madre (actividad volcánica o lixiviación de minerales) provocando la contaminación del suelo, así por ejemplo la roca ígnea en la presentación de granito puede liberar en gran cantidad metales como Zn, Pb y Cu, mientras que el basalto Ni, Zn, Cr y Cu; la roca metamórfica en la presentación esquisto altas cantidades de Zn, Cr y Ni; La roca sedimentaria en la presentación caliza Zn, Cr y Ni, mientras que la arenisca Zn, Cr y Cu (Avila, 2017). En este sentido, las técnicas de recuperación de suelos contaminados consiste en técnicas tradicionales de remediación de suelos por métodos de remoción o excavación y la eliminación en vertederos, recubrimiento o contención, además de técnicas de incineración y descomposición química que intentan mitigar los impactos ambientales generados; sin embargo mucho de los contaminantes del suelo pueden llegar a la cadena alimenticia provocando un gran número de enfermedades (Largo-Taborda et al., 2022).



Figura 4. Infografía de las causas de la contaminación del suelo y tierra
Fuente: (ONU, 2018)

3.2 Contaminación por metales pesados

Los metales pesados o metales traza corresponden al grupo de elementos que poseen densidades muy altas y son considerados los contaminantes más peligrosos del ambiente, entre ellos se encuentra el mercurio, cadmio y plomo (El-Rasafi et al., 2022; Haider et al., 2021; Orozco et al., 2004). Estos metales pesados se caracterizan por presentar persistencia, bioacumulación en los organismos vivos y no son biodegradables (Dunia & Heredia, 2017). Además, la contaminación que se genera por estos compuestos depende del tipo de metal, concentración y tiempo de exposición, lo que puede ocasionar riesgos en la salud (Trujillo et al., 2019). En este sentido se describe a continuación algunos metales pesados.

- Mercurio: se lo conocía en la antigüedad como plata líquida, azogue o hidrargirio. Es un metal que pertenece al bloque D de la tabla periódica y es el único metal líquido a temperatura ambiente, se encuentra naturalmente como sulfuro de mercurio (cinabrio, empleado en diversas culturas como pigmento rojo) (Blesa & Castro, 2015) y se usa en instrumentos de medición de temperatura y presión, lámparas fluorescentes y otros dispositivos, por tanto, es un contaminante de origen natural y antropogénico (Palma-Parra et al., 2019). Este contaminante es un biomagnificador en las cadenas alimentarias, posee una alta capacidad para atravesar membranas, provocando la acumulación en distintos órganos del ser humano (Vargas Licon & Marrugo Negrete, 2019) y es un agente neurotóxico ya que puede atravesar la barrera hematoencefálica (Venkatanaidu et al., 2018).
- Cromo: es un metal ubicado en el grupo seis de la tabla periódica, cuyos estados de oxidación más frecuentes son el 0 (predomina en organismos vivos), +3 y +6 (más empleado en la industria), este metal se encuentra en estado líquido, sólido o gas en animales, rocas y suelo; el cromo (0) es empleado en la fabricación de acero y se conoce como cromo metálico, mientras que el cromo +6 es ampliamente empleado en el cromado de superficies, colorantes y pigmentos en diferentes industrias, en el curtido del cuero, en solventes preservantes de la madera, en barrenas para la extracción de petróleo, tóner para copadoras e inhibidores de corrosión (Molina et al., 2010). A su vez, las formas más comunes de contaminantes son el cromo +3 y +6, presentándose en el aire como material particulado resultado de la quema de petróleo y carbón, para la producción de acero, en la industria de la soldadura de acero inoxidable y elaboración de productos químicos (Muller et al., 2022); mientras que en el agua es debido principalmente a desechos derivados de la industria de pigmentos para el curtido de cuero y la contaminación en el suelo se debe a depósitos de los residuos de la industria y plantas generadoras de electricidad. Finalmente, el cromo puede ser absorbido por vía oral, respiratoria y dérmica, siendo el cromo +6 el que más fácilmente se absorbe; en este sentido el cromo III causa irritación del tracto respiratorio y los ojos, mientras que el cromo VI

causa reacciones alérgicas en la piel, irritación de la nariz y sangrado, complicaciones gastrointestinales, debilitamiento del sistema inmune, daño en hígado y riñones, alteración del material genérico y hasta puede producir cáncer de pulmón y la muerte (Molina et al., 2010).

- Cadmio: es un metal pesado del grupo doce de la tabla periódica, es difícil encontrarlo solo ya que en la mayoría de los casos está unido al zinc, plomo y cobre, y es considerado un eco tóxico metal pesado ya que puede bioacumularse y es persistente en el ambiente. Es empleado en lámparas, vidrio borosilicato, baterías de níquel-cadmio, estabilizador en productos de PVC, agente anticorrosivo en galvanoplastia, electrodos en baterías, agente colorante, catalizador, paneles solares semiconductores, ventanas ópticas de infrarrojo, esmaltes cerámicos, fertilizantes de fosfato y reactores nucleares. Este compuesto presenta un alto nivel de peligrosidad en el cuerpo humano e incluso en concentraciones bajas puede causar alteraciones ya que no existe una degradación metabólica a especies menos tóxicas y debido a la falta de agentes quelantes eficaces provoca una eliminación muy escasa, por tanto, el cadmio ha sido clasificado como carcinógeno (Huaraca-Fernandez et al., 2020; Suhani et al., 2021). Además, el cadmio debido a las características similares al calcio puede sustituirlo, logrando un fácil ingreso al cuerpo humano, provocando el almacenamiento en varios órganos y ocasionando graves daños en el hígado y huesos (Haider et al., 2021).

3.3 Contaminación alimentaria

Los contaminantes son liberados a la atmósfera debido a las diversas acciones antropogénicas del hombre, además de las contaminaciones naturales que la naturaleza provee (Figura 5) (WWF, 2017), en este sentido, los contaminantes inorgánicos como los metales pesados en la gran mayoría no sufren degradación química y microbiana, por lo que se quedan en los ecosistemas por largo tiempo provocando complicaciones en la salud humana debido a la ingesta de alimentos contaminados ya sea por la vía suelo-planta-humano o suelo-planta-animal-humano (Coyago & Bonilla, 2016; Haider et al., 2021) .



Figura 5. Fuentes de contaminación de los alimentos
 Fuente: (WWF, 2017)

Los metales pesados causan un gran problema en la salud humana, ya que estos se acumulan principalmente en la parte comestible de los vegetales. Además, el incremento de la población en las zonas periurbanas y la escasez de recursos de la tierra ha generado la necesidad de generar cultivos que suponen un riesgo de acumulación de metales pesados en los vegetales principalmente cuando son cultivados en invernaderos que para cultivos a cielo abierto. Es así, que un estudio en invernadero para cultivo de hojas en estado tierno, media madurez, completamente maduro y cultivo orgánico reportaron una concentración de cadmio de 53,1 µg/kg, 97,5 µg/kg, 117 µg/kg y 21,2 µg/kg, respectivamente; mientras que en frutos la concentración en fruta inmadura, madurez media y cultivo orgánico fue de 13,6 µg/kg, 12,1 µg/kg y 15,6 µg/kg, respectivamente, a su vez se estableció que en este tipo de cultivo la irrigación y los fertilizantes contribuyeron al incremento de metales pesados (Chen et al., 2013).

3.3.1 Especies comestibles empleadas en fitorremediación

La biorremediación es una técnica que se emplea para limpiar suelos, utilizando a microorganismos para dicho fin (Iturbe, 2010), sin embargo existen otras técnicas como la fitorremediación que emplean plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, es así, que fitorremediación proviene del griego Fito que significa vegetal o planta y remediar del latín remediare que significa poner remedio, por tanto la fitorremediación emplea a la fitodegradación o fitotransformación que se basa en el empleo de plantas para transformar sustancias tóxicas en menos tóxicas, tales como hidrocarburos, plaguicidas, compuestos clorados, entre otros; la fitoestimulación que involucra microorganismos que se alimentan de exudados de las raíces de las plantas, siendo capaces de degradar contaminantes orgánicos; la fitovolatilización que emplea los mecanismos de respiración de la planta para volatilizar ciertos contaminantes como por ejemplo el mercurio y selenio; fitoestabilización utiliza la habilidad de ciertas plantas para generar un sistema denso radicular, disminuyendo la biodisponibilidad de metales pesados; fitoextracción o fitoacumulación emplea la capacidad de algunas plantas de acumular metales pesados en las raíces, tallos u hojas; rizofiltración que emplea plantas con alta capacidad de crecimiento con mecanismos de absorción, concentración y precipitación de metales pesados de aguas residuales contaminadas (Figura 6) (Núñez et al., 2004).

Los metales pesados son la fuente más importante de contaminación alimentaria, estos originan cambios enzimáticos que favorecen el ingreso a los alimentos y en la actualidad se ha encontrado que varias especies comestibles son usadas como fitorremediadoras de suelos que provocan contaminación en humanos y animales, así se puede mencionar al nabo (*Brassica rapa*), amaranto (*Amaranthus hybridus*), maíz (*Zea mays*), mostaza parda (*Brassica juncea*), , girasol (*Helianthus annuus*), acelga (*Beta vulgaris*) (Coyago & Bonilla, 2016).

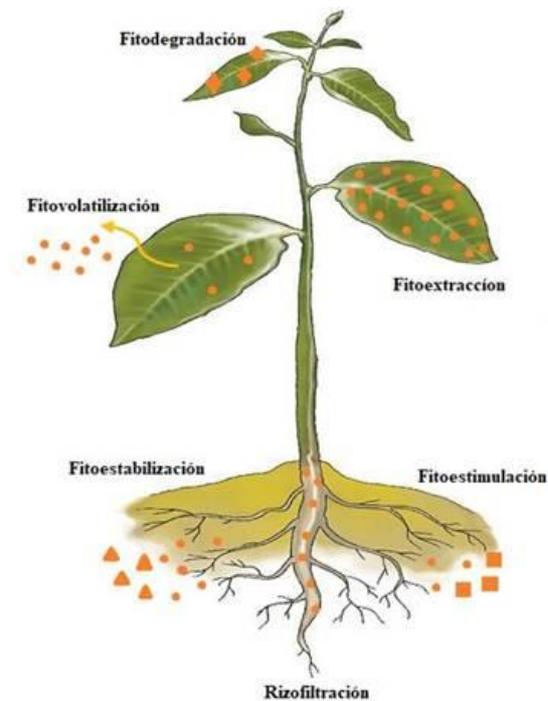


Figura 6. Procesos de fitorremediación que se pueden dar en una especie vegetal
Fuente: (Ávila, 2017)

En los últimos años, la búsqueda de mecanismos que ayuden a un control ambiental ha sido extensos. En este sentido, la agricultura urbana ha tomado impulso en diferentes ciudades principales de Estados Unidos y la Unión Europea, así que es muy usual encontrar especies frutales sembradas en estos entornos; sin embargo, la alta incidencia de contaminación hace de estas especies un riesgo para la población, es así que existen estudios que analizan los metales pesados en hortalizas cultivadas en zonas de alta urbanización obteniendo como resultado niveles que sobrepasan los valores permisibles (Olivares et al., 2013).

3.3.2 Níspero

El níspero es un arbusto grande de copa redonda cuyo nombre científico es *Eriobotrya japonica* Lindl. y los sinónimos *Crataegus bibas* Lour., *Mespilus japonica* Thunb. Y *Prhotinia japonica* (Thunb.) Franch. & Sav. (Singh et al., 2010; WFO, 2022). Es una especie de la familia Rosaceae, originario del sureste de China, cultivada principalmente en regiones subtropicales y templadas del mundo, crece en racimos, tiene forma redondeada o de pera, piel lisa o vellosa, el fruto es de color

amarilla, anaranjado y rojizo (Figura 7) y la pulpa es dulce a sub-ácida o ácida, de color blanca, amarilla o anaranjada y posee de tres a cinco semillas marrones, se consume como fruta fresca, mezclado con otras frutas, pasteles, mermeladas, jaleas y frutos en almíbar (Ercisli et al., 2012).



Figura 7. Fotografía de níspero
Fuente: (Sortino et al., 2022).

Esta especie es una fuente importante de varios recursos en todas las partes que lo componen, así las hojas y flores poseen fenoles y triterpenos, la fruta es rica en carotenoides, flavonoides, ácidos fenólicos, azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales y las semillas son fuente de proteína, almidón, taninos y minerales (Ercisli et al., 2012; Liu et al., 2016; Singh et al., 2010; Sortino et al., 2022).

El níspero posee un alto valor medicinal ya que históricamente fue usado en tratamientos de tos, bronquitis crónica, inflamación, diabetes y cáncer ya que se ha demostrado posee actividad antiinflamatoria, antidiabética, anticáncer, antioxidante, anti-obesidad e hipolipidémica, mejora la función hepática, pulmonar, renal y de las células neuronales, potencial antitrombótico, efectos antienvjecimiento y antialérgico (Liu et al., 2016; Singh et al., 2010; Zhu et al., 2022).

4 Materiales y metodología

4.1 Muestreo

El estudio incluyó quince diferentes sitios de muestreo distribuidos en la sección urbana del Distrito Metropolitano de Quito, considerando las avenidas con mayor circulación vehicular (Figura 8). Fruta madura fue recolectada en los meses de marzo a julio del 2021, para lo cual se consideró alrededor de 1 kg de fruta seleccionada al azar (60 frutos), tal como establece la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1750: 1994 “Hortalizas y frutas frescas. Muestreo”(INEN-1750:1994, 2012). El transporte se realizó en contenedores refrigerados, limpios y desinfectados, evitando que los frutos se maltraten o golpeen al momento del traslado. Los ensayos se realizaron en el menor tiempo posible luego de la colecta para evitar cambios fisiológicos o químicos. Los frutos seleccionados para el estudio fueron trasladados hacia la Universidad UTE para cuantificar el color y posteriormente a la Universidad Politécnica Salesiana para la evaluación de la calidad comercial. En cuarenta frutos seleccionados al azar se determinó la calidad comercial, mientras que los 20 frutos fueron picadas en trozos finos y almacenados en congelación a -80 °C para la posterior liofilización en un equipo Christ Alpha 1-4 LDplus (Martin Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Alemania). Los frutos liofilizados se molieron en un mortero hasta obtener un polvo fino el cual se almacenó en frascos ámbar hasta el respectivo análisis.

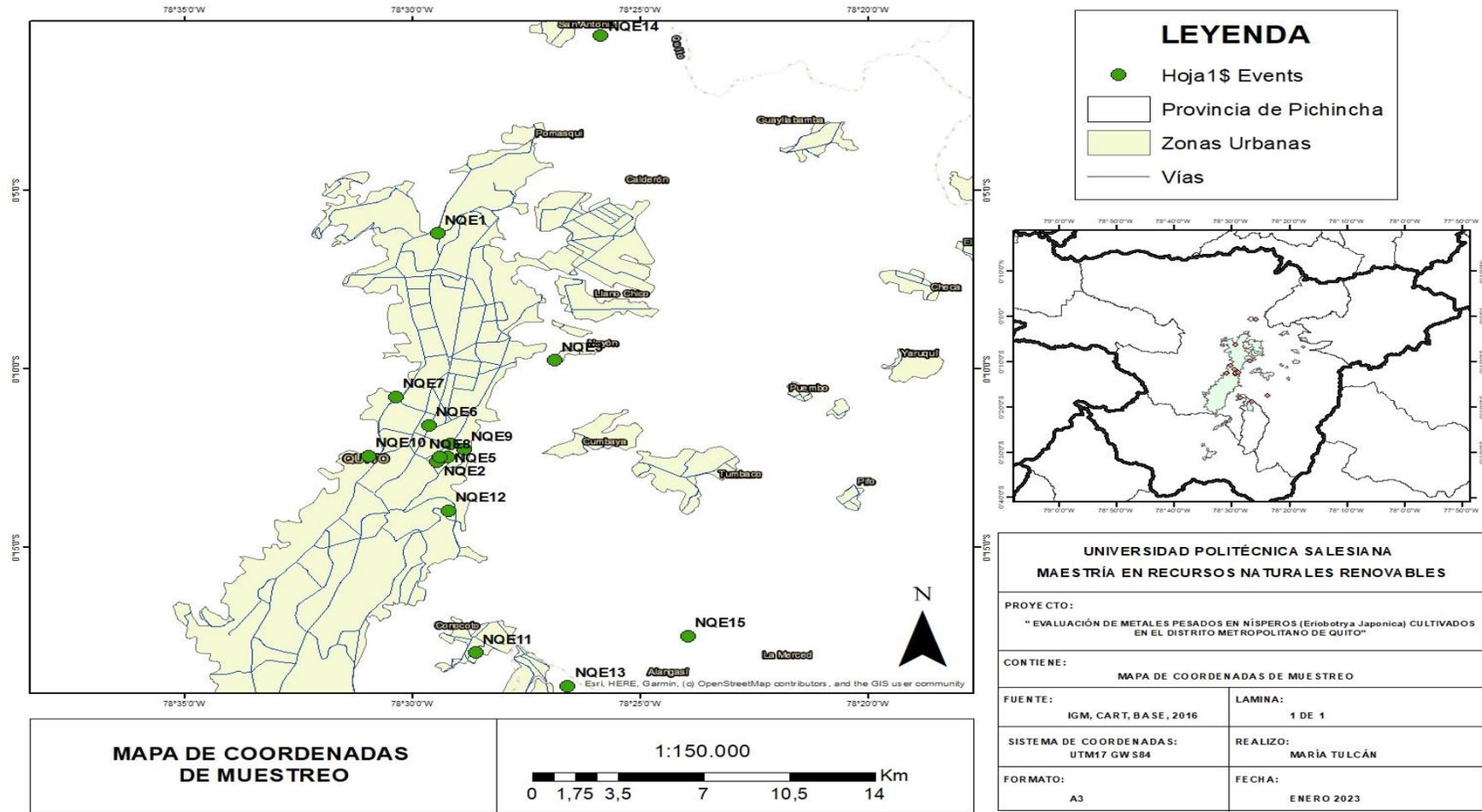


Figura 8. Mapa de los sitios de muestreo

4.2 Análisis físico-químico

La determinación de los parámetros físico-químicos empleó la Normativa Técnica ecuatoriana Frutas Frescas. Definiciones (INEN-1751:96, 2012) y consideró la cuantificación de peso, diámetro ecuatorial y longitudinal, color externo, sólidos solubles, pH, acidez titulable, humedad y ceniza, tal como se describe a continuación.

a) Color: fue cuantificado empleando un colorímetro marca Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., Estados Unidos), empleando la escala CIELAB (L^* , a^* , b^* , Cab^* y hab) con un espectro visible entre 380 a 770 nm, iluminante D65 y ángulo de observación de 10° (Coyago-Cruz et al., 2019).

b) Peso: En una balanza electrónica Metler Toledo ML204T/00 (Mettler Toledo, Ecuador) previamente calibrada se determinó el peso en gramos de cada fruta seleccionada para el estudio (Coyago-Cruz et al., 2022).

c) Tamaño: empleando un calibrador digital de precisión marca Electronic digital caliper se cuantificó el diámetro ecuatorial y longitudinal en centímetros (Coyago-Cruz et al., 2019).

d) Sólidos solubles: los nísperos se cortaron en la mitad extrayendo unas pocas botas de jugo de la pulpa y colocando directamente sobre el lente del refractómetro manual Hitech (Hitech RHB-32ATC, Estados Unidos). Los sólidos solubles fueron expresados como $^\circ$ Brix (Coyago-Cruz et al., 2018).

e) pH: los nísperos fueron colocados en un mortero hasta extraer jugo de la fruta, esta solución fue expuesta a un electrodo del pH-metro automático marca SevenMulti TM (Mettler Toledo, Ecuador). La cuantificación siguió el protocolo establecido en la NTE INEN-ISO 1842:2013: Productos vegetales y de frutas- Determinación de pH (INEN-1842:2013, 2013).

f) Acidez titulable: se pesó aproximadamente 1 g de muestra triturada en un mortero y se mezcló con 10 mL de agua destilada. A la solución anterior se le colocó

de 2 a 3 gotas de fenolftaleína al 0.1 % como indicador y se tituló con NaOH 0.1 N, tal como señala la normativa AOAC para acidez titulable en frutos (AOAC-942.15, 1988). Para el cálculo de la acidez titulable se empleó la ecuación 1 y se expresó en % de ácido cítrico, por ser el ácido predominante en el níspero.

$$\% \text{ de acidez} = \frac{V_{\text{NaOH}} * \text{meq. Ácido} * \text{Factor de dilución} * 100}{g \text{ o } V_{\text{jugo}} * V_{\text{muestra titulada}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V_{NaOH} : mL gastados de hidróxido de sodio en la titulación

N_{NaOH} : Normalidad de la solución de hidróxido de sodio 0,1 N

meq. Ácido: Miliequivalentes del ácido predominante (0.064 g/meq de ácido cítrico)

V_{jugo} : mL de extracto de fruta

$V_{\text{muestra titulada}}$: mL de titulación

g) Humedad: se pesó aproximadamente 1 g de fruto triturado en cajas Petri previamente taradas en una estufa Memmert Be 20 (Memmert GmbH+Co.KG, España) a 121 °C por 24 horas. El cálculo de la humedad empleó la ecuación 2 y se expresó en % de humedad (Coyago-Cruz et al., 2019).

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{peso inicial muestra} - \text{peso final muestra}}{\text{peso inicial muestra}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

h) Ceniza: se pesó aproximadamente 1 g de fruto triturado en crisoles previamente tarados en una mufla Thermolyne (Thermo Fisher Scientific, Estados Unidos) a 550 °C. Los crisoles fueron colocados en una plancha de calentamiento dentro de la Sorbona hasta eliminar toda la materia orgánica que genera humo y posteriormente fueron colocados en la mufla hasta obtener cenizas blancas a 550 °C. Para el cálculo de la ceniza se empleó la ecuación 3 y se expresó en % de ceniza.

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{\text{peso de cenizas}}{\text{peso de muestra fresca}} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

4.3 Cuantificación de metales pesados

Aproximadamente 400 mg de polvo liofilizado fue pesado en un digestor de teflón y mezclado con 3 mL de ácido nítrico y 3 mL de ácido sulfúrico para la digestión en un microondas casero y se aforó a 50 mL. De la solución digerida se tomó 45 mL y se colocó 5 mL de ácido nítrico al 30 % y se digirió en un microondas de laboratorio ETHOS UP (Milestone, Italia) con una programación que alcanzó una temperatura de 180 °C por 45 min. Los metales pesados de la muestra digerida fueron cuantificados en un espectrofotómetro de absorción atómica PG Instruments AA500 con horno de grafito con plataforma (EPA Method 7010). Para la determinación de metales se utilizó la programación de temperatura y la longitud de onda sugeridas en el Analytical Cookbook PG Instruments del Espectrofotómetro. Las curvas de calibración emplearon patrones de concentración de 1000 mg/L con un rango de rectas de entre 0 a 50 ppb para el cadmio (Figura 9) y entre 0 a 100 ppb para el cromo (Figura 10). Además, el cadmio se cuantificó a una longitud de onda de 228,8 nm y el cromo 357,9 nm, con un límite de detección para el cadmio de 0,01 ppb y para el cromo de 0,025 ppb. Finalmente, se inyectó 10 mL de blanco, estándar y muestra para obtener 5 mediciones de absorbancia para los estándares y 3 mediciones para las muestras.

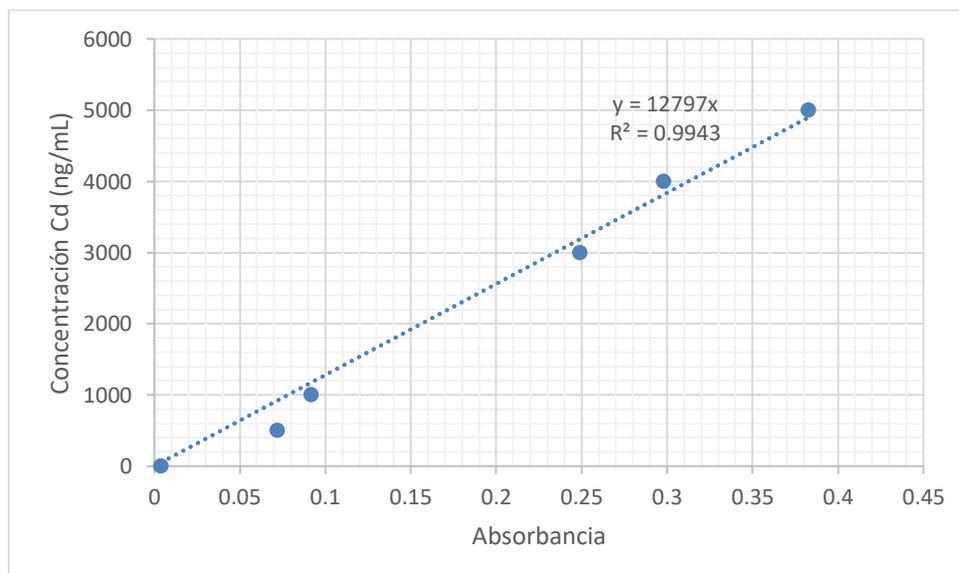


Figura 9. Curva de calibración de cadmio

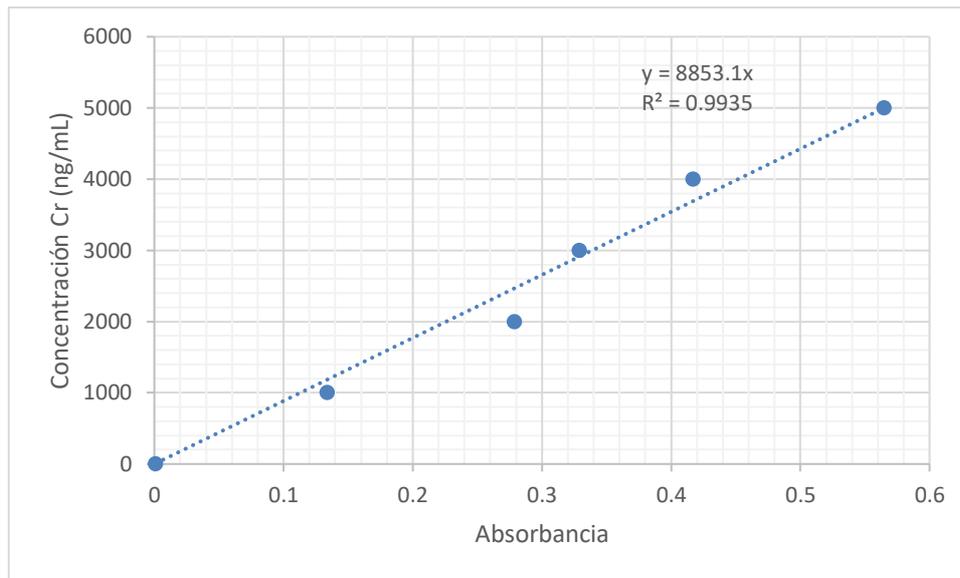


Figura 10. Curva de calibración de cromo

4.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó empleando un ANOVA simple, ANOVA factorial, análisis de correlaciones y un análisis de componentes principales empleando el programa SPSS y SIGMAPLOT.

5 Resultados y discusión

5.1 Análisis físico químico

En la figura 11 y 12 se muestran los valores promedio del diámetro ecuatorial y longitudinal de las frutas en estudio, respectivamente. Así, los valores promedio del diámetro ecuatorial variaron en un rango de entre 1,4 a 3,2 cm y el diámetro longitudinal entre 1,7 a 4 cm. A su vez, los mayores valores en tamaño fueron reportados en la muestra NQE4. En este sentido, el tamaño de las frutas en estudio guardó cierta relación con los datos reportados en otros estudios que presentaron un rango de entre 2,9 a 3,7 cm de diámetro longitudinal, entre 2,6 a 3,2 cm de diámetro ecuatorial en dos años de estudio (Hussain et al., 2011).

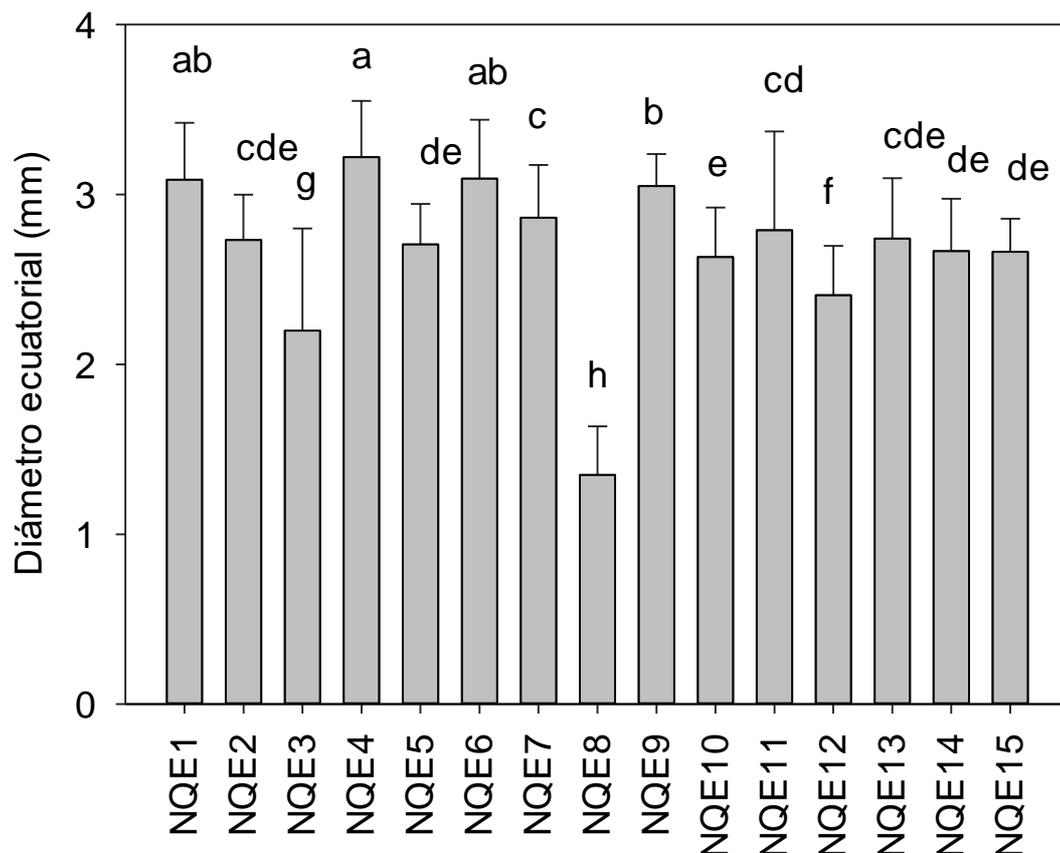


Figura 11. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del diámetro ecuatorial de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

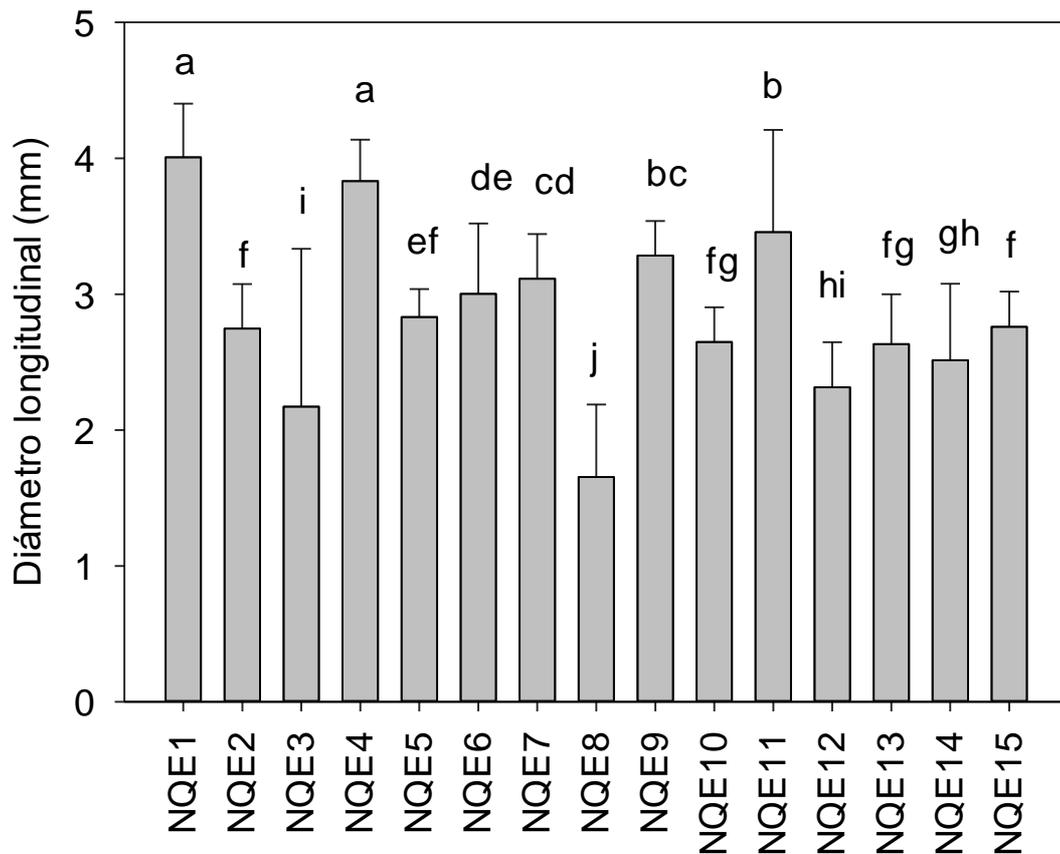


Figura 12. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del diámetro longitudinal de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 13 y 14 se muestran los valores promedio del peso y las semillas de las frutas en estudio, respectivamente. Así, el peso varió en un rango entre 11,6 a 25,9 g y el número de semillas entre 2,8 a 4,4 unidades. A su vez, los mayores valores en peso se observaron en la muestra NQE9 y el mayor número de pepas en la NQE13. En este sentido, el peso y número de semillas de las frutas en estudio guardaron cierta relación con los datos reportados en otros estudios que presentaron un rango de entre 9,5 a 16,6 g de peso y entre 3,0 a 4,7 unidades en dos años de estudio (Hussain et al., 2011), a su vez, el peso de las frutas en este estudio comparadas con datos de otros autores quienes mostraron un rango entre 33,2 a 61,4 en diferentes variedades, fueron menores (Ercisli et al., 2012).

Las variaciones en los resultados pudieron deberse al hecho que los estudios relacionados son cultivos propios de níspero que se emplean para fines comestibles, sin embargo, las muestras empleadas en este estudio no guardaron los controles agronómicos específicos de cultivos para uso comercial. Además, es conocido que el aporte de nutrientes en las etapas tempranas de desarrollo de las especies vegetales puede generar plantas mucho más vigorosas, con mayor cantidad de biomasa, tal como señalan otros estudios (Coyago & Bonilla, 2016).

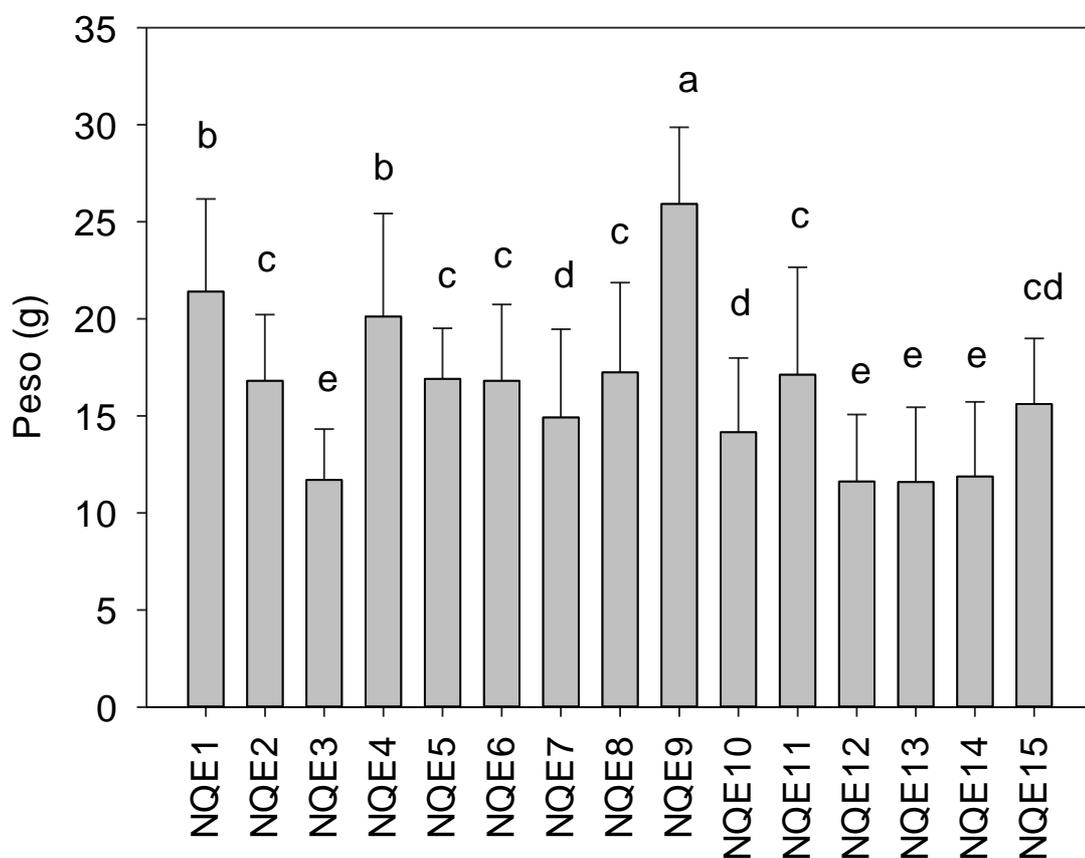


Figura 13. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del peso de las frutas en estudio.

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$

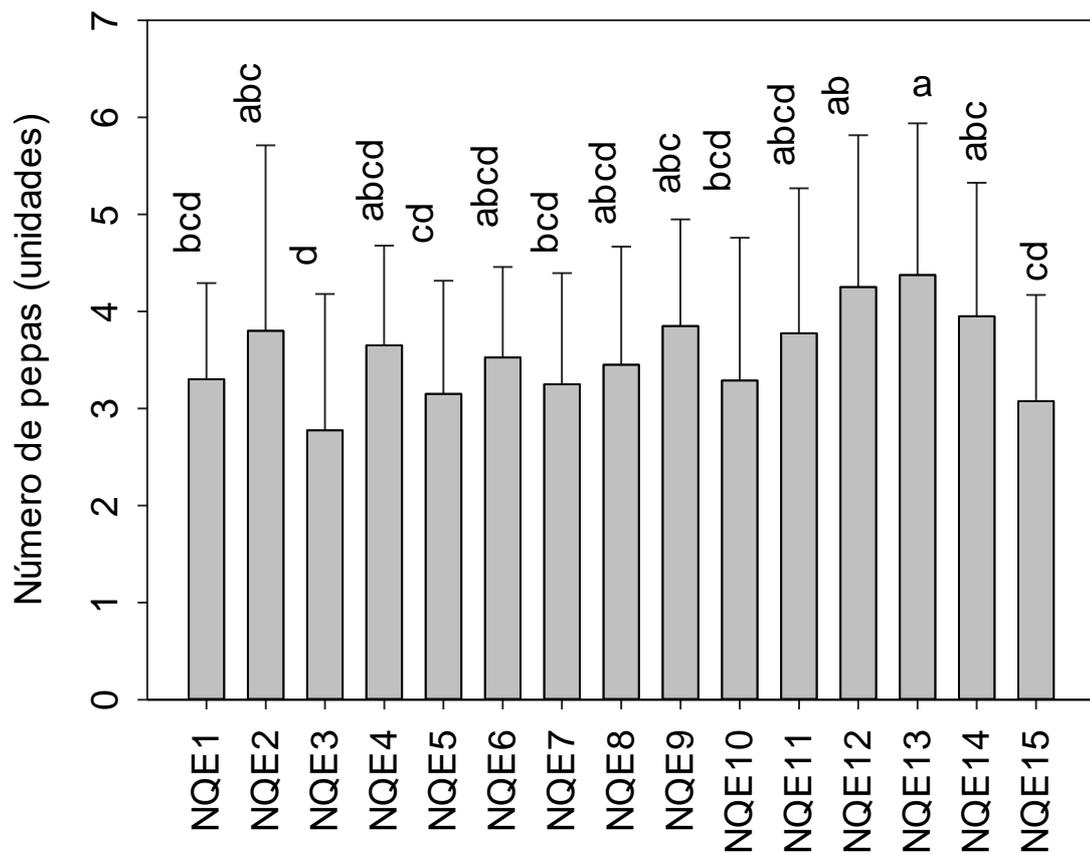


Figura 14. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del número de semillas de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$

En la figura 15 se muestra los valores promedio de pH de las frutas en estudio. Así, los valores promedio de pH varió en un rango entre 3,3 a 4,4. A su vez, los mayores valores para pH se observaron en la muestra NQE14.

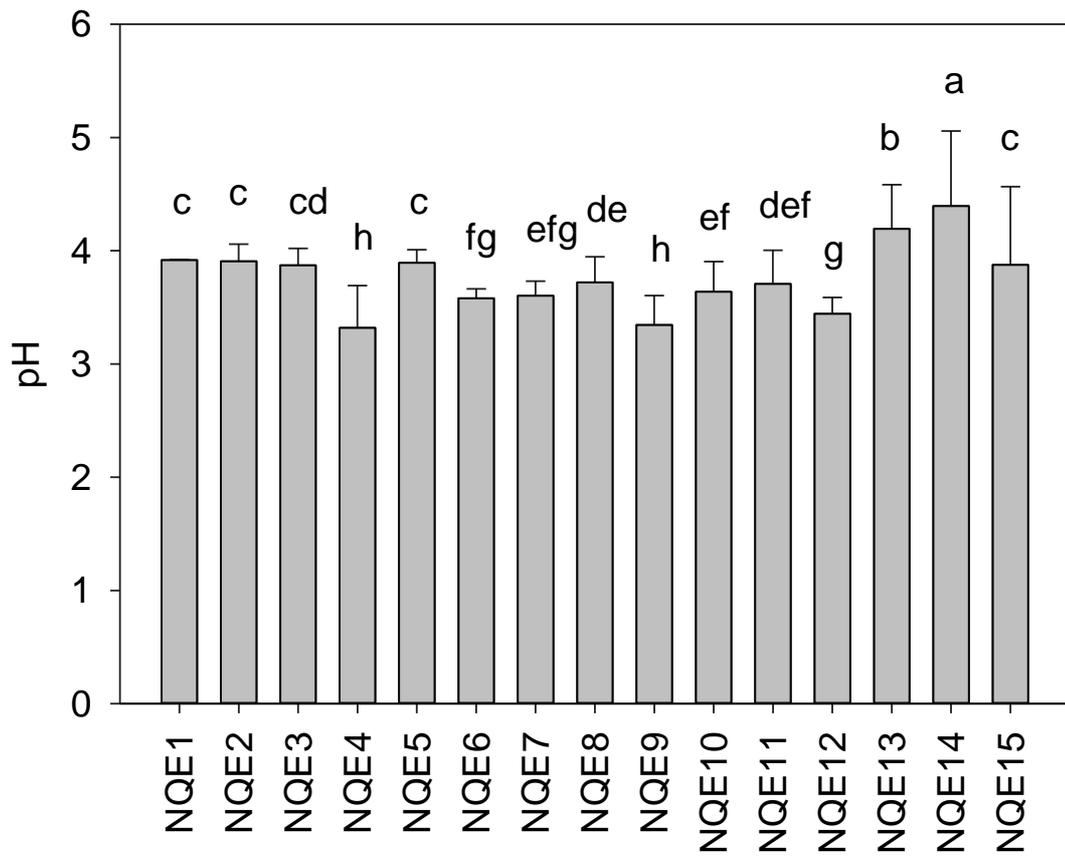


Figura 15. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del pH de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$

En la figura 16 se muestra los valores promedio de sólidos solubles expresado en °Brix de las frutas en estudio. Así, los valores promedio de sólidos solubles varió en un rango entre 10,8 a 15,0 °Brix. A su vez, los mayores valores para los sólidos solubles se observaron en la muestra NQE14.

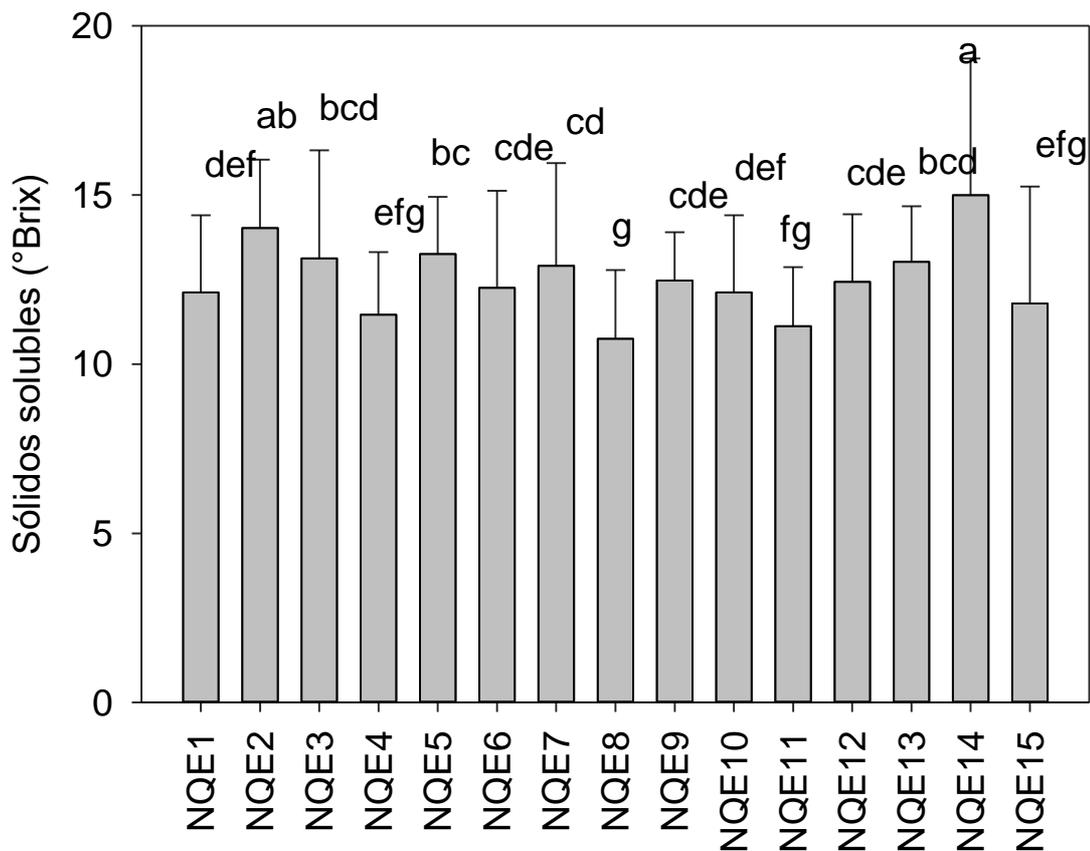


Figura 16. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de los sólidos solubles de las muestras en estudio (n= 40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$

En la figura 17 se muestra los valores promedio de % de acidez titulable total expresada como ácido cítrico de las frutas en estudio. Así, los valores promedio del % de acidez titulable varió en un rango entre 1,6 a 3,5 %. A su vez, los mayores valores de acidez titulable se observaron en la muestra NQE4. En este sentido, los valores de acidez titulable reportados en este estudio fueron superiores a los mostrados en otros estudios que presentaron un rango entre 0,2 a 1,3 % de acidez (Ercisli et al., 2012). Esta diferencia de resultados pudo deberse al hecho que las condiciones ambientales pueden alterar el contenido del contenido de acidez de las frutas, además la variedad puede ser otro factor de cambio, tal como señalan otros autores (Coyago-Cruz, 2017).

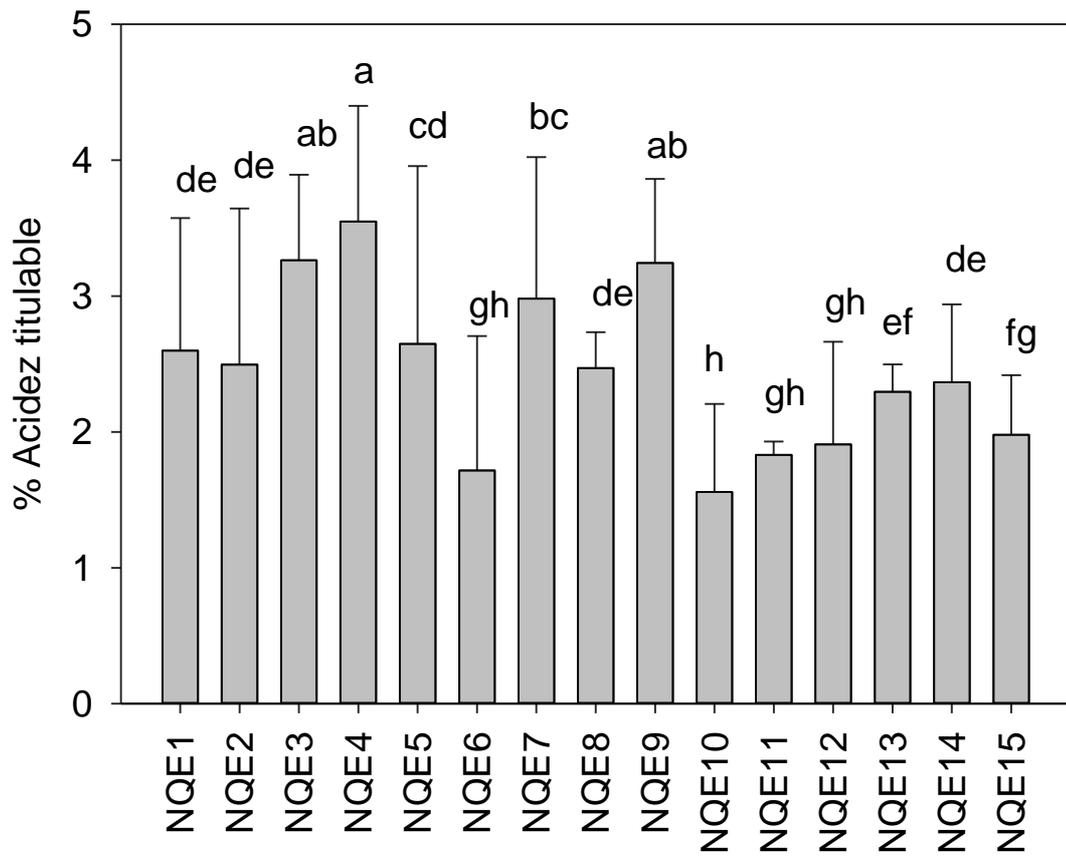


Figura 17. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del porcentaje de acidez titulable de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 18 se muestra los valores promedio de % de ceniza en las frutas en estudio. Así, los valores promedio del % de ceniza varió en un rango entre 13,2 a 59,9 %. A su vez, los mayores valores para el % de ceniza se observaron en la muestra NQE14.

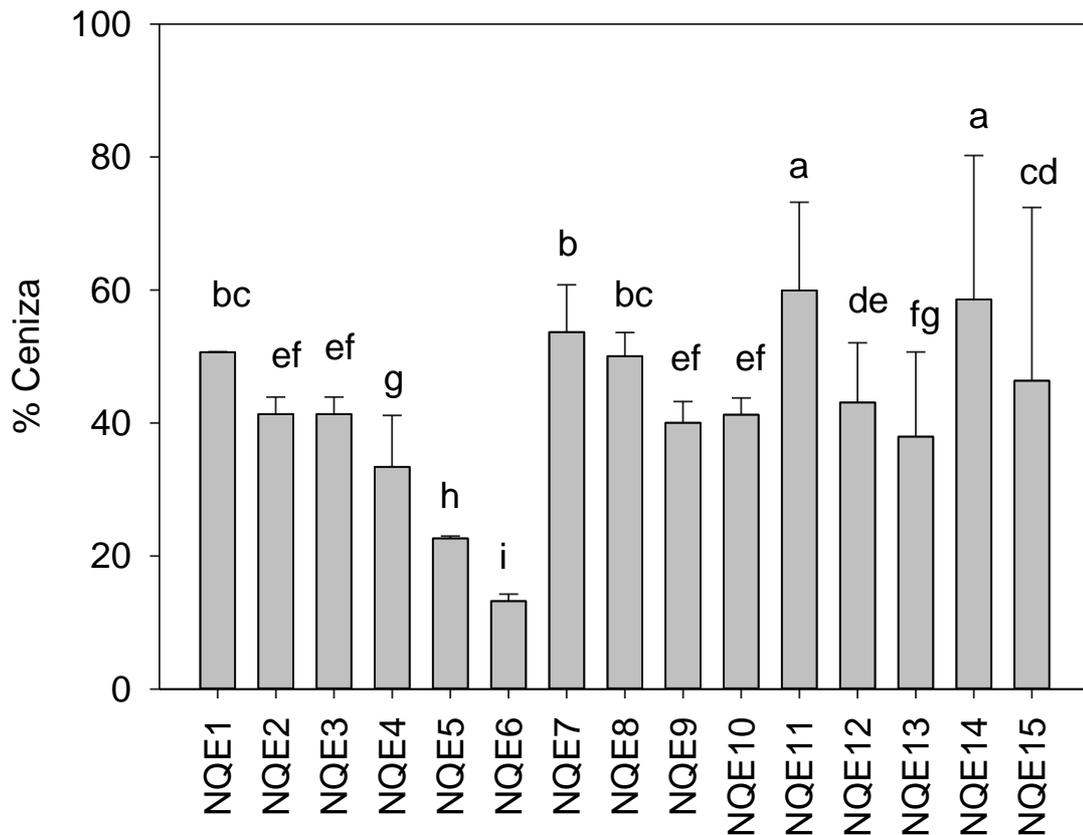


Figura 18. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de la ceniza (D) de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 19 se muestra los valores promedio de % de humedad en las frutas en estudio. Así, los valores promedio del % de humedad varió en un rango entre 45,4 a 98,8 %. A su vez, los mayores valores para pH se observaron en la muestra NQE14.

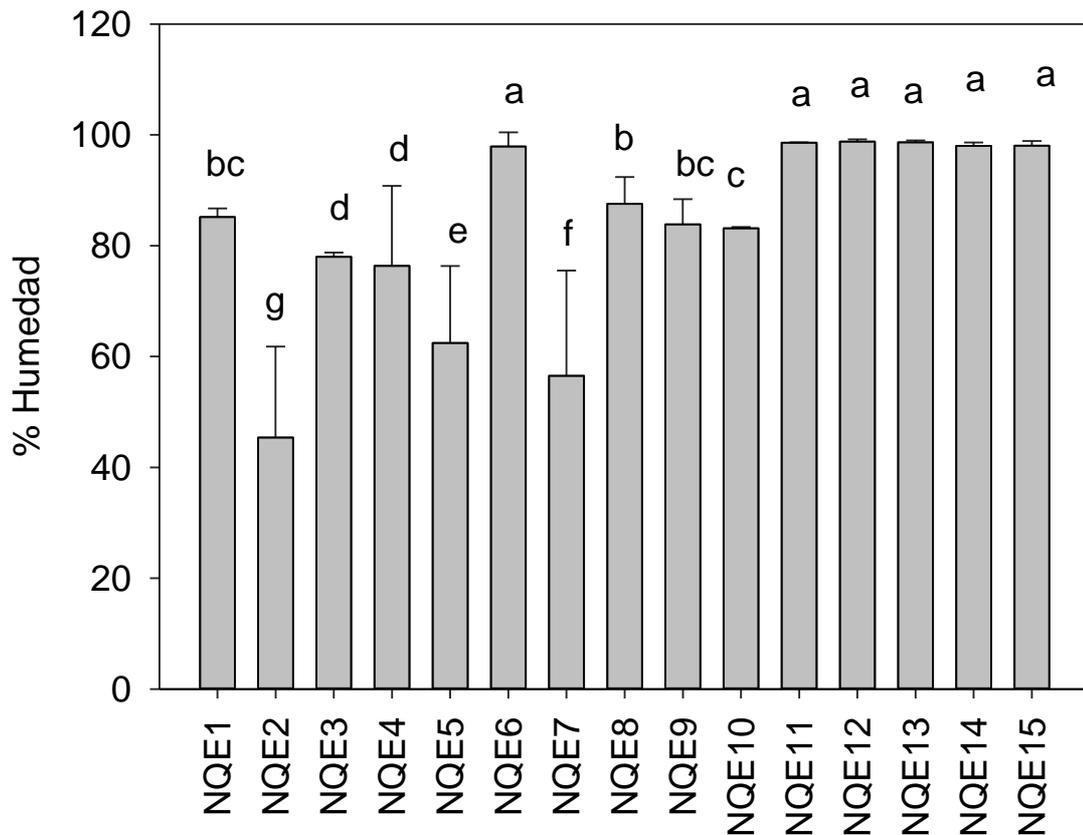


Figura 19. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar del % humedad de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 20 se muestra los valores promedio de la intensidad de color L^* de las muestras en estudio. Así, los valores promedio de la intensidad de color L^* varió en un rango entre 71,8 a 82,2. A su vez, los mayores valores para intensidad de color se observaron en la muestra NQE 11. Los resultados encontrados en este estudio guardaron relación con los valores presentados por otros autores que mostraron un rango de intensidad de color entre 64,4 a 71,8 en nísperos de diferentes variedades (Ercisli et al., 2012). Esto señala que las frutas en estudio y las de otros autores fueron frutas maduras con colores brillantes.

Los resultados encontrados en estudio guardaron relación con los valores presentados por otros autores que mostraron un rango de intensidad de color entre 64,4 a 71,8; a^* entre -3,5 a 13,9; b^* entre 23,9 a 51,2 y croma entre 24,2 a 51,7 en

nísperos de diferentes variedades (Ercisli et al., 2012). Esto señala que las frutas en estudio y las de otros autores fueron frutas maduras con colores brillantes.

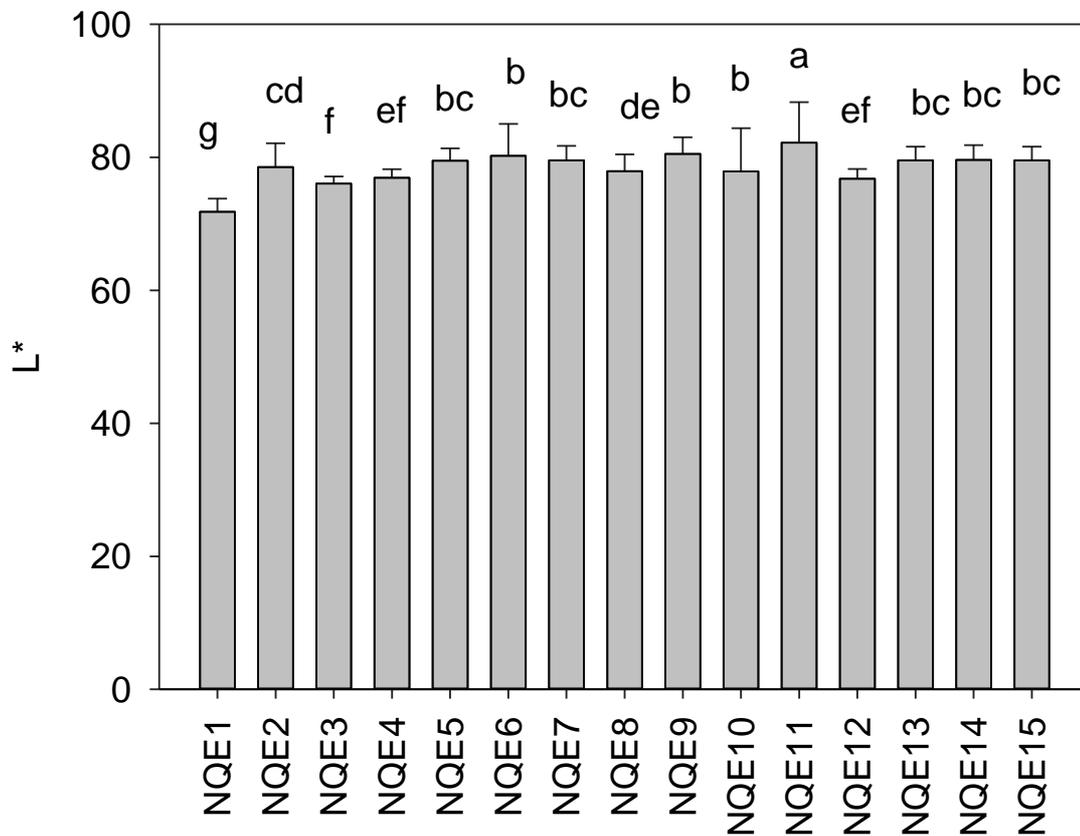


Figura 20. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de los parámetros de color L* de las muestras en estudio (n=40).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 21 se muestra los valores promedio del croma Cab* de las muestras en estudio. Así, los valores promedio del croma Cab* varió en un rango entre 50,2 a 57,3. A su vez, los mayores valores para croma se observó en la muestra NQE10. Los resultados encontrados en este estudio guardaron relación con los valores presentados por otros autores que mostraron un rango de croma entre 24,2 a 51,7 en nísperos de diferentes variedades (Ercisli et al., 2012).

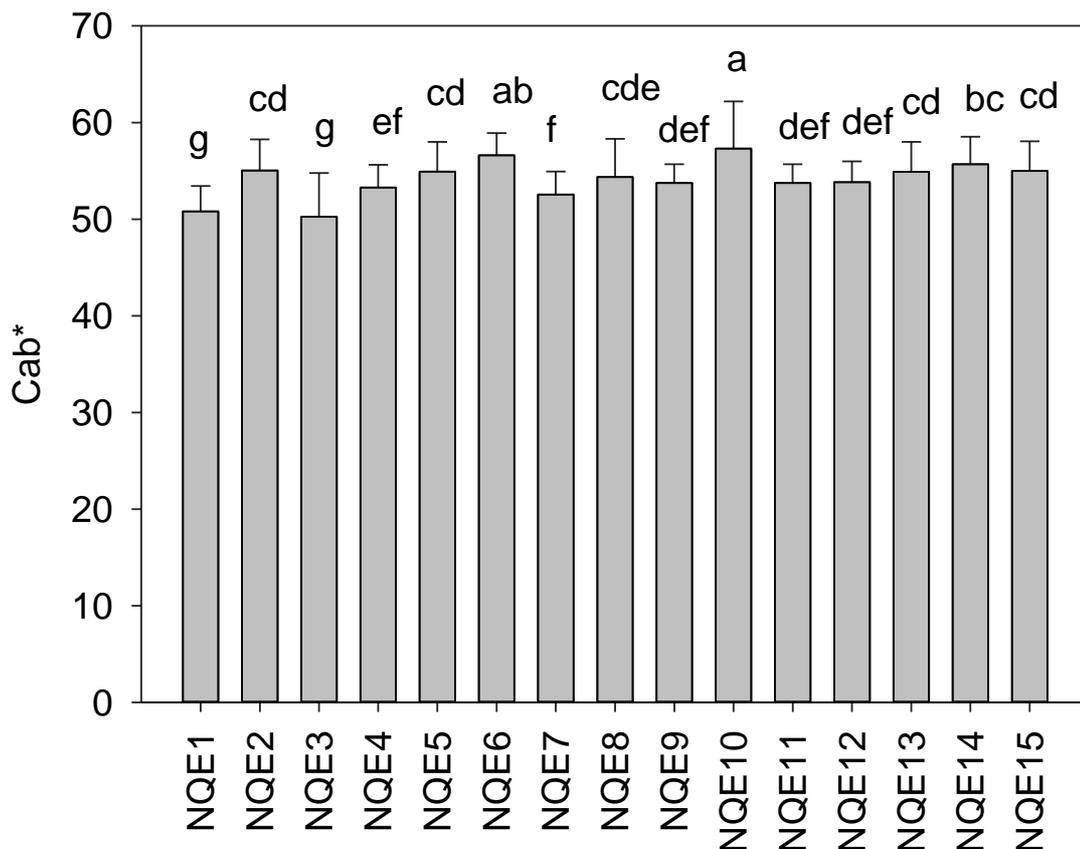


Figura 21. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de los parámetros de color C_{ab}^* de las muestras en estudio ($n=40$).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación de 40 frutas, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 22 se muestra los valores promedio de las coordenadas a^* y b^* representadas en coordenadas polares de las muestras en estudio. Así, los valores promedio de la coordenada a^* varió entre -6,0 a 5,6 y la coordenada b^* entre 50,1 a 56,5. Por otra parte, los resultados de coordenadas de color a^* y b^* mostraron que la mayor cantidad de las frutas en estudio presentaron coloraciones amarillas-anaranjadas, ubicándose en una sección específica del plano. Los resultados encontrados en este estudio guardaron relación con los valores presentados por otros autores que mostraron un rango coordenadas de color a^* entre -3,5 a 13,9 y b^* entre 23,9 a 51,2 (Ercisli et al., 2012).

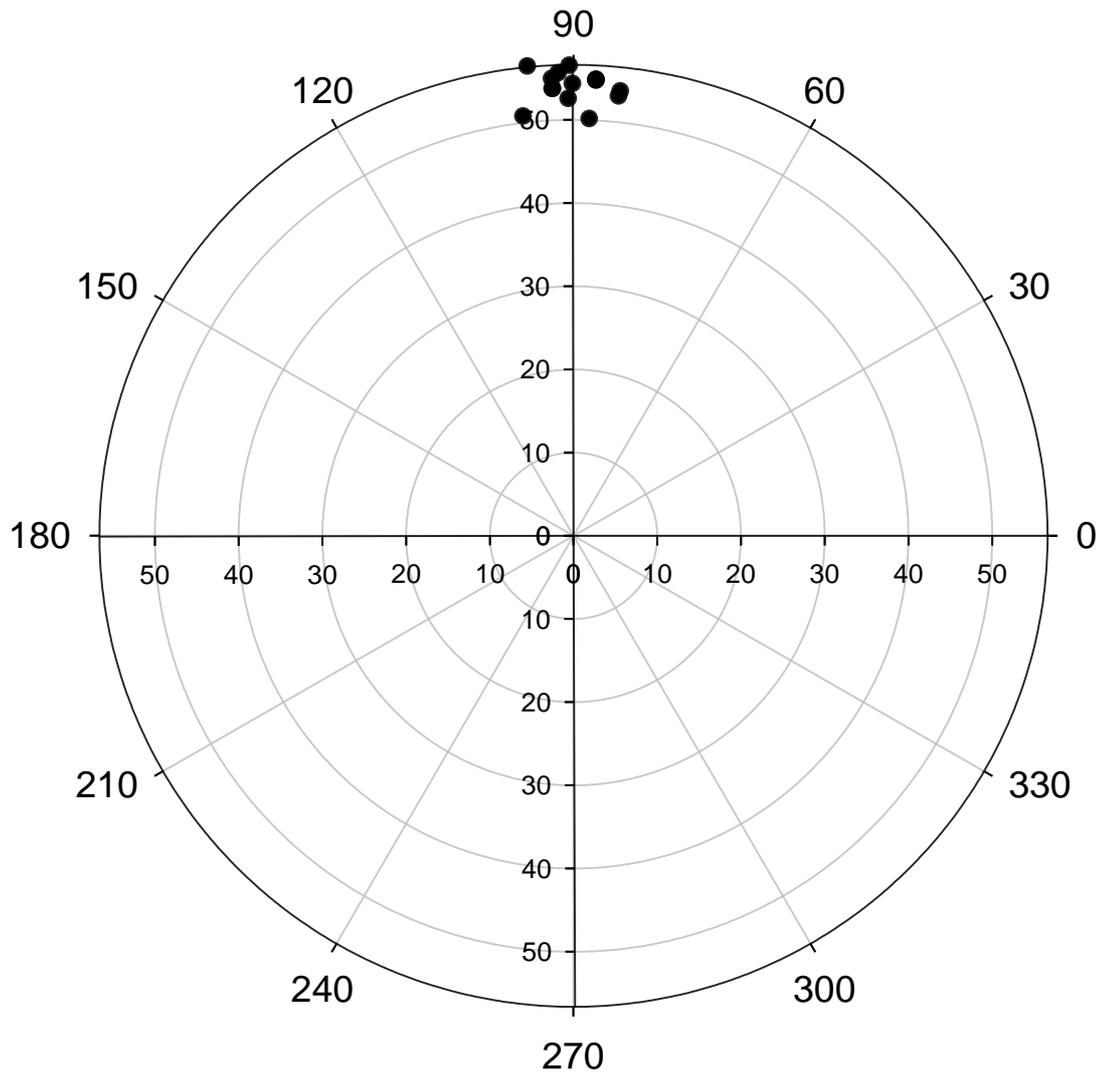


Figura 22. Coordenadas polares de los valores promedio del color de las frutas en estudio.

5.2 Cuantificación de metales pesados

En la figura 23 se muestra la concentración promedio de cadmio expresado en ng/g de peso seco (PS) de las muestras en estudio. Así, la concentración de cadmio varió entre 157,2 a 952,6 ng/g PS, observándose los mayores valores en la muestra NQE9 y NQE12. En este sentido, considerando que un individuo consume alrededor de 100 g de fruta a la semana, los valores encontrados en este estudio no superaron los límites permisibles por la entidad europea EFSA en relación con el cadmio que señala un aporte máximo semanal de 2,5 μg / Kg de peso corporal, ya que se ha observado que el cadmio es un metal carcinógeno genotóxico indirecto que afecta

principalmente a los riñones, lo que provoca un alto riesgo a la salud pública (EFSA, 2022; ES-EUR, 2021). Por otra parte, un estudio en vegetales y diferentes frutos señaló que la concentración de cadmio puede incrementar en función del grado de madurez del vegetal y de la fruta, al igual que la concentración puede variar dependiendo del tipo de cultivo que se emplee ya sea en invernadero o cielo abierto y señalando que la mayor incidencia de contaminantes en esta experimentación fue debido al agua de riego y fertilizantes de mala calidad empleados en los quehaceres agronómicos (Chen et al., 2013). Esto sugiere que los metales pesados emitidos por el proceso de contaminación en zonas de alta incidencia de tráfico, provoca la contaminación del suelo y el incremento de metales pesados en los suelos de estos lugares, provocando la fitorremediación de estos contaminantes por las especies vegetales cultivadas en estos lugares, además de recordar que los suelos volcánicos del cinturón de fuego del Pacífico aportan altas concentraciones de cadmio, es así que en Ecuador se han reportados valores de cadmio en los suelos de cultivo de cacao entre 0,4 a 1,5 mg/kg lo que provoca enormes complicaciones en estos cultivos ya que este metal posee la facilidad de ingresar a la planta sin ninguna complicación, provocando la contaminación del fruto (Romero, 2022), lo propio ocurre en el cultivo de nísperos sembrados en localidades con alta contaminación ambiental.

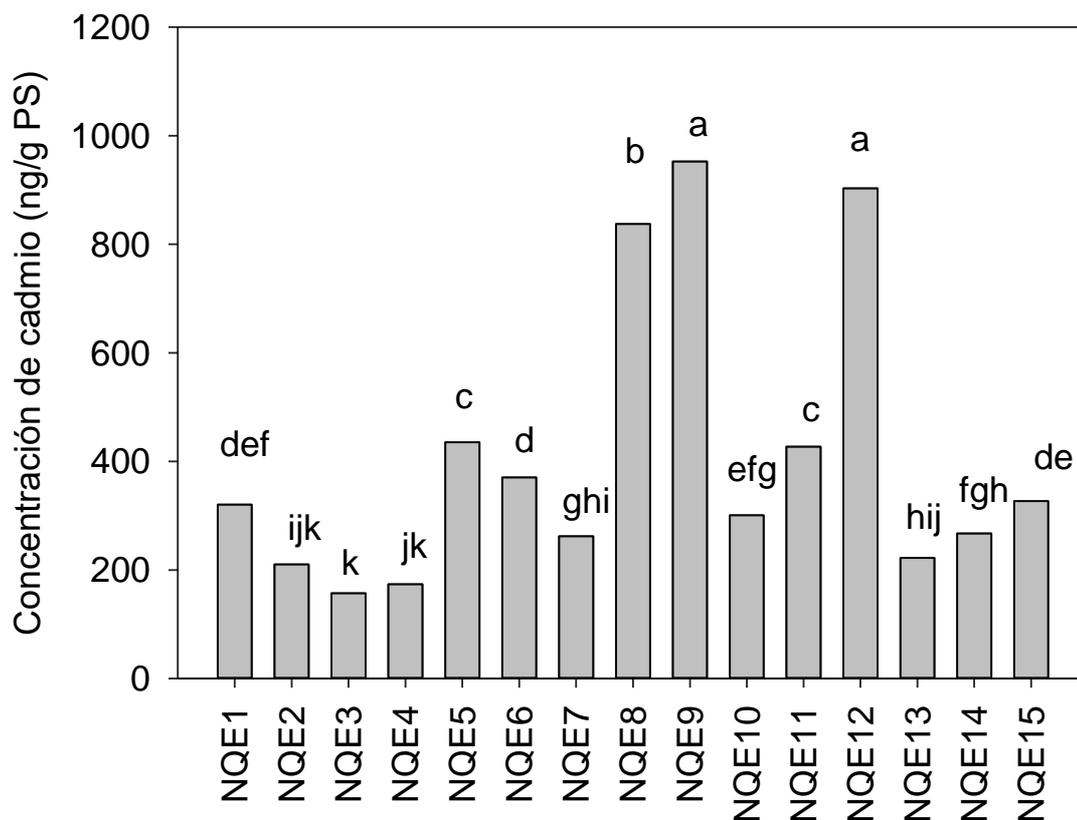


Figura 23. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de la concentración de cadmio de las muestras en estudio (n=3).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 24 se muestra el gráfico de cajas y bigotes de la concentración de cadmio de las frutas en estudio. Este gráfico señala un valor promedio de la concentración de cadmio de 411.2n/g PS, con una media de 320.7 ng/g PS, una desviación estándar de 260.8, con un mínimo de 157.2 ng/g PS, un valor máximo de 952.6 ng/g PS, un cuartil inferior de 22.5 ng/g PS y un cuartil superior de 435.4 ng/g PS. De estas concentraciones se puede señalar que la concentración de las muestras NQE8, NQE12 y NQE9 sobresalen de la media con aproximadamente 2 veces el valor promedio. En este sentido los diagramas de caja y bigotes permiten visualizar que las concentraciones de cadmio encontradas en este estudio no superan la concentración límite recomendada de 0.3 mg/kg en alimentos.

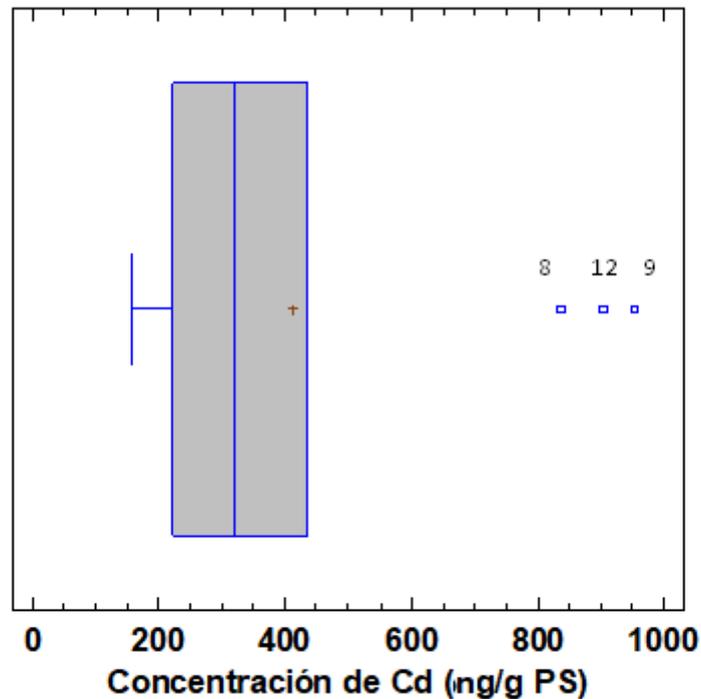


Figura 24. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de cadmio de las frutas en estudio

En la figura 25 se muestra la concentración promedio de cromo expresado en ng/g de peso seco (PS) de las muestras en estudio. Así, la concentración de cromo varió entre 33,3 a 60,5 ng/g PS, observándose la mayor concentración en la muestra NQE6 y NQE13. En este sentido los valores encontrados en este estudio no superaron los límites permisibles por la entidad europea EFSA en relación con la concentración permisible en alimentos de 0,3 mg/kg de cromo III que es el metal que se produce de forma natural en los alimentos (EFSA, 2022). Por otra parte, los resultados encontrados en este estudio guardaron cierta relación con los datos reportados por otros autores quienes señalaron que los sedimentos analizados en diferentes ríos de la Provincia de Pichincha variaron en un rango de 44,1 a 91,8 $\mu\text{g/g}$ (Pazmiño, 2018), esto sugiere que los aportes de contaminación variada que existe en la ciudad contribuyen al incremento de metales pesados en especies vegetales. Además, en el caso de cromo se ha visto que, en especies vegetales de frutos, la concentración de este metal en la raíz, hojas, tallo y frutos guardan cierta relación

con concentraciones que no reportan una marcada diferencia (Amin et al., 2013), esto sugiere que el cromo se puede acumular en distintas partes de la planta.

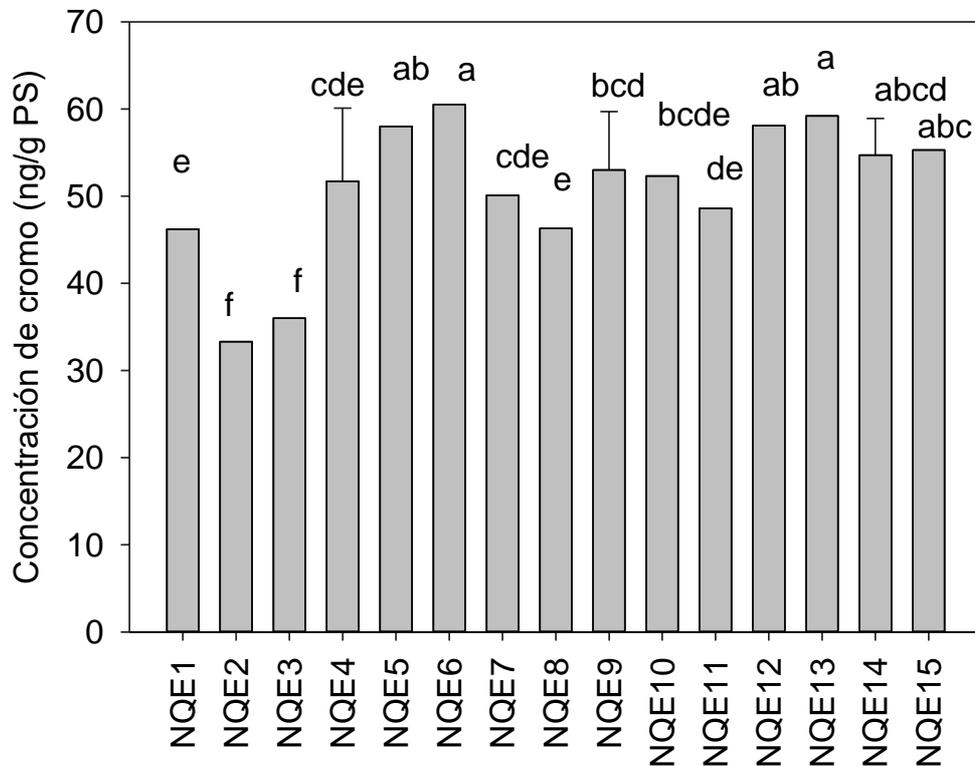


Figura 25. Gráfico de barras de los valores promedio y error estándar de la concentración de cromo de las muestras en estudio (n=3).

Nota: El máximo de la barra gris señala el valor promedio de la cuantificación, y la línea vertical sobre la barra indica el error estándar de los valores en estudio. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

En la figura 26 se muestra el gráfico de cajas y bigotes de la concentración de cromo de las frutas en estudio. Este gráfico señala un valor promedio de la concentración de cromo de 50,9 ng/g PS, con una media de 52,0 ng/g PS, una desviación estándar de 8,1 ng/g PS, con un mínimo de 33,3 ng/g PS, un valor máximo de 60,5 ng/g PS, un cuartil inferior de 46,3 ng/g PS y un cuartil superior de 58,0 ng/g PS. Estos resultados muestran que la concentración de las muestras en estudio está centrada y que no existe valores atípicos en los valores de concentración encontrados. En este sentido los diagramas de caja y bigotes permiten visualizar que las concentraciones de cromo encontradas en este estudio no superan la

concentración límite recomendada de $2,5 \mu\text{g}/\text{Kg}$ en alimentos, valores que sugieren un peligro potencial para la salud de los consumidores.

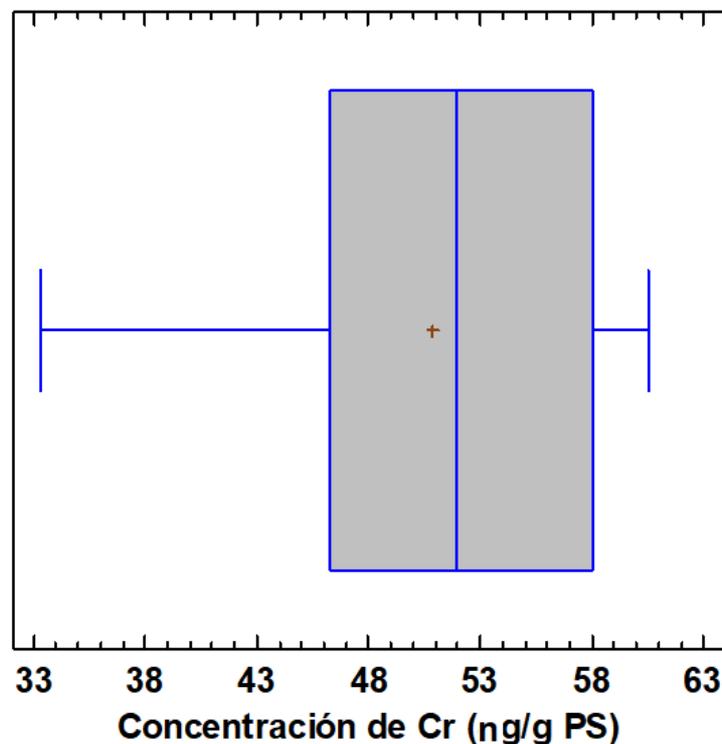


Figura 26. Diagrama de caja y bigote de la concentración de cromo de las frutas en estudio

En la Figura 27 se muestra el análisis de frecuencia de la concentración de cadmio y cromo de las muestras en estudio, señalando que la concentración de cromo es menor que la concentración de cadmio, además, la distribución de la concentración de cadmio es mayor y se extiende desde un valor mínimo de $157,2 \text{ ng/g PS}$ hasta un máximo de $952,6 \text{ ng/g PS}$, mientras que el cromo mostró una concentración una variación menor centrándose en un valor promedio de $50,9 \text{ ng/g PS}$ y un valor mínimo de $33,3 \text{ ng/g PS}$ hasta un valor máximo de $60,5 \text{ ng/g PS}$.

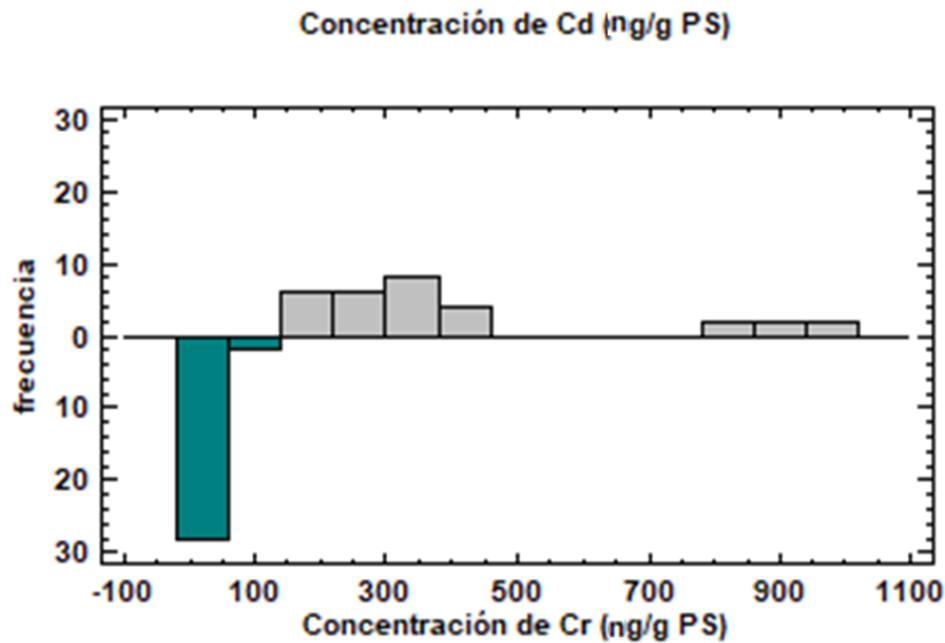


Figura 27. Diagrama de frecuencia de la concentración de cadmio y cromo de las muestras en estudio.

A forma de resumen se presentan en la figura 25 la concentración de cadmio y cromo en relación con los límites permisibles según las relaciones internacionales NTE INEN-CODEX 193: 2013 (Norma general para los contaminantes y toxinas presentes en los alimentos y piensos). En el caso del Cromo se muestra que las concentraciones en los 15 puntos de muestreo que se encuentran muy por encima de los 0,05 g/g de concentración de Cadmio recomendados o los 0,1 $\mu\text{g/g}$ de Cromo.

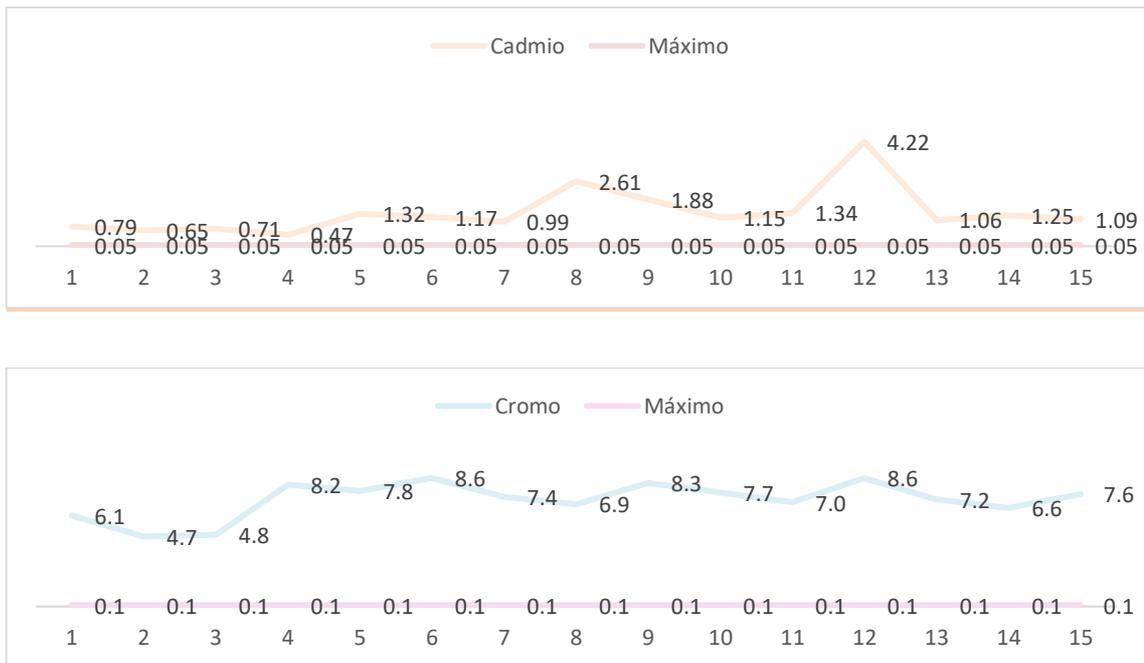


Figura 27. Diagrama de la concentración promedio de las muestras en estudio y los valores máximos permisibles para consumo humano para cadmio y cromo.

5.3 Análisis de correlaciones y componentes principales

En la tabla 1 se muestra los valores de las correlaciones entre los diferentes parámetros en estudio, tales como número de semillas, diámetro longitudinal, diámetro ecuatorial, peso, sólidos solubles, % de acidez titulable, % ceniza, % humedad, L^* , a^* , b^* , concentración de Cd y concentración de Cr.

El estudio de correlaciones no mostró una relación directa e inversa entre los parámetros en estudio, excepto para el caso de la humedad y la concentración de cromo que mostró un valor de 0,45 con un p -value de 0,05.

Tabla 1. Tabla de correlaciones entre los diferentes parámetros en estudio.

	Nº semillas	DL (cm)	DE (cm)	Peso(g)	pH	SS (ºBrix)	% ATT	% Ceniza	% Humedad	L*	a*	b*	Con. Cd (ng/g)	Conc. Cr (ng/g)
Nº semillas		0,04	0,20	0,32	0,06	0,17	-0,10	0,03	0,08	0,01	0,05	0,04	0,09	0,12
DL (cm)	0,04		0,73	0,46	-0,10	-0,07	0,13	-0,02	-0,07	-0,09	-0,14	-0,11	-0,21	0,05
DE (cm)	0,20	0,73		0,44	-0,07	0,04	0,11	-0,15	-0,06	0,01	-0,05	0,04	-0,28	0,17
Peso(g)	0,32	0,46	0,44		-0,16	-0,07	0,17	-0,06	-0,12	-0,10	-0,16	-0,07	0,22	-0,04
pH	0,06	-0,10	-0,07	-0,16		0,20	-0,10	0,15	0,03	-0,01	-0,13	0,08	-0,29	-0,08
SS(ºBrix)	0,17	-0,07	0,04	-0,07	0,20		-0,05	0,01	-0,12	-0,04	0,00	0,02	-0,13	-0,04
% ATT	-0,10	0,13	0,11	0,17	-0,10	-0,05		0,01	-0,26	-0,11	0,12	-0,17	-0,05	-0,22
% Ceniza	0,03	-0,02	-0,15	-0,06	0,15	0,01	0,01		0,09	-0,04	-0,18	-0,13	0,03	-0,22
% Humedad	0,08	-0,07	-0,06	-0,12	0,03	-0,12	-0,26	0,09		0,06	0,08	0,07	0,24	0,45
L*	0,01	-0,09	0,01	-0,10	-0,01	-0,04	-0,11	-0,04	0,06		-0,12	0,41	0,05	0,23
a*	0,05	-0,14	-0,05	-0,16	-0,13	0,00	0,12	-0,18	0,08	-0,12		0,00	0,05	0,17
b*	0,04	-0,11	0,04	-0,07	0,08	0,02	-0,17	-0,13	0,07	0,41	0,00		0,04	0,27
Con. Cd (ng/g)	0,09	-0,21	-0,28	0,22	-0,29	-0,13	-0,05	0,03	0,24	0,05	0,05	0,04		0,26
Conc. Cr (ng/g)	0,12	0,05	0,17	-0,04	-0,08	-0,04	-0,22	-0,22	0,45	0,23	0,17	0,27	0,26	

Nota: DL, diámetro ecuatorial; DE, diámetro longitudinal; SS, sólidos solubles; % AT, % acidez titulable; Con. Cd, concentración de cadmio; Conc. Cr, concentración de cromo.

En la Figura 28 se presentan el análisis multivariado de componentes principales y en la Tabla 2 los pesos de los componentes principales de las variables en estudio. Así, el análisis de componentes principales señala que para el primer componente principal el peso y tamaño son las variables que aportan negativamente con mayor peso a la variable. Esto sugiere que a menor tamaño mayor influencia en los parámetros en estudio. Además, para la componente principal 2, la humedad y la coordenada de color b^* aportan negativamente a las variables en estudio.

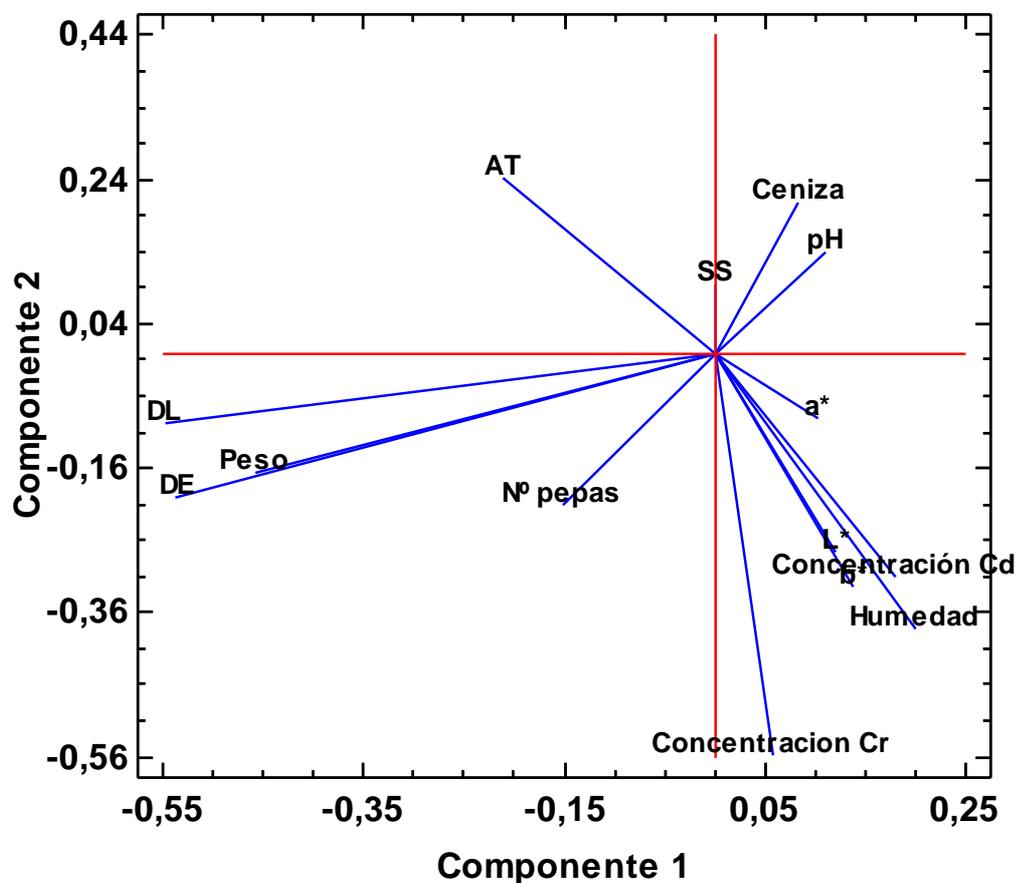


Figura 28. Diagrama de componentes principales de las variables en estudio

Tabla 2. Ponderaciones de pesos de componentes principales de las variables en estudio

	Componente 1	Componente 2
Peso	-0,45	-0,17
Diámetro ecuatorial	-0,54	-0,20
Diámetro longitudinal	-0,55	-0,09
N° pepas	-0,15	-0,21
pH	0,11	0,14
Sólidos sólidos	0,00	0,09
Acidez titulable	-0,21	0,24
Humedad	0,19	-0,38
Ceniza	0,08	0,21
L*	0,12	-0,27
a*	0,10	-0,09
b*	0,14	-0,32
Concentración Cd	0,19	-0,31
Concentración Cr	0,06	-0,56

6 Conclusiones

La depuración de los ambientes contaminados es una acción importante dentro de cualquier entorno, en tal virtud, el empleo de especies vegetales que contribuyan a mejorar el ambiente es de vital importancia, es así que se concluye que los nísperos cultivados en el Distrito Metropolitano de Quito lograron valores promedio de tamaños con un diámetro ecuatorial de 3,2 cm, diámetro longitudinal de 4 cm, peso de 25,9 g y un número de semillas de 4,4 unidades.

Con relación a las características químicas, se concluye que los nísperos cultivados en el Distrito Metropolitano de Quito reportaron valores de pH máximo de 4,4, sólidos solubles de 15,0 °Brix, acidez titulable de 3,5 %, % de ceniza de 59,9 %, humedad de 98,8 %, un color uniforme amarillo-anaranjado brillante.

El cultivo de especies frutales en las ciudades contribuye a mejorar los ambientes dentro de estos entornos, es así como muchas ciudades especialmente de América Latina se han originado en las zonas propias de cultivo por tanto los árboles frutales se encuentran inmersos en estos entornos urbanos, en este sentido se concluye que en ciertas calles y avenidas del Distrito Metropolitano de Quito la concentración de cadmio fue de 952,6 ng/g PS y el cromo presentó una concentración de 60,5 ng/g PS.

Debido a las dificultades de muestreo provocadas por la pandemia, el estudio no es concluyente, ya que se debió realizar un análisis de suelos, monitoreo ambiental en cada uno de los sectores de estudio y tomar un suelo de referencia ya que Quito tiene un suelo volcánico el cual posee alta cantidad de metales pesados y otras partes de la planta; sin embargo este trabajo es un punto de partida para otras investigaciones.

Referencias

- AGUA.ORG.MX. (2017). Acceso a agua potable y saneamiento OMS 2017. Fondo Para La Comunicación y La Educación Ambiental, A.C.
<https://agua.org.mx/biblioteca/acceso-a-agua-potable-saneamiento-oms-2017-infografia/>
- Amin, N., Hussain, A., Alamzeb, S., & Begum, S. (2013). Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children , District Mardan , Pakistan. *Food Chemistry*, 136(3–4), 1515–1523. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.058>
- AOAC-942.15. (1988). AOAC Official Method 942.15: Acidity (titratable) of fruit products. *AOAC Official Method*, 71(86), 1.
- Avila, D. (2017). Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <file:///C:/Users/Elena/Downloads/017418T.pdf>
- Blesa, M., & Castro, G. (2015). Historia natural y cultural del mercurio (1a Edición). AAPC Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.
<file:///C:/Users/Elena/Downloads/017418T.pdf>
- Campaña, A., Gualoto, E., & Chiluisa-Utreras, V. (2017, April 20). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura*, 305–310.
- Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D. C., Rajan, N., Liu, X., & Niedermann, S. (2013). Ecotoxicology and environmental safety accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 324–330.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>
- Chuquer, D., Ampudia, S., Puertas, C., Bustamante, L., Reina, C., & Ramírez, F. (2018). Contaminación del aire a filo de calle en Quito, Caso estudio Guayaquil y Espejo. *Perfiles Revista Científica*, 2(20), 99.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17297>
- Coyago-Cruz, E. (2017). Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional. Punto Rojo Libros, S.L.
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Benítez-González, A. M., Stinco, C. M., & Meléndez-Martínez, A. J. (2018). Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. *Food Chemistry*, 240(March 2017), 870–884.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.028>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Hernanz, D., Stinco, C. M., Mapelli-Brahm, P., & Meléndez-Martínez, A. J. (2022). Effect of regulated deficit irrigation on commercial quality parameters, carotenoids, phenolics and sugars of the black cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) 'Sunchocola'. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104220>
- Coyago-Cruz, E., Corell, M., Moriana, A., Mapelli-Brahm, P., Hernanz, D., Stinco, C. M., Beltrán-Sinchiguano, E., & Meléndez-Martínez, A. J. (2019). Study of commercial quality parameters, sugars, phenolics, carotenoids and plastids in different tomato

- varieties. In *Food Chemistry* (Vol. 277). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.139>
- Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja*, 23(1), 35–46. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.04>
- Coyago, E., & Bonilla, S. (2019). Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista Alfa*, 3(7), 47–58.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v3i7.54>
- Díaz, V. (2016). Informe de la calidad de aire.
- Dunia, M., & Heredia, R. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. In *MEDISAN* (Vol. 21, Issue 12).
- EFSA. (2022). Metales como contaminantes en los alimentos. European Food Safety Authority. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/metals-contaminants-food#:~:text=Los expertos de la EFSA,cromo presente en los alimentos>.
- El-Rasafi, T., Oukarroum, A., Haddioui, A., Song, H., Kwon, E., Bolan, N., Tack, F., Sebastian, A., Prasad, M., & Rinklebe, J. (2022). Cadmium stress in plants: A critical review of the effects, mechanisms, and tolerance strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(5), 675–726.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1835435>
- Ercisli, S., Gozlekci, S., Sengul, M., Hegedus, A., & Tepe, S. (2012). Some physicochemical characteristics, bioactive content and antioxidant capacity of loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) fruits from Turkey. *Scientia Horticulturae*, 148, 185–189. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.001>
- ES-EUR. (2021). Reglamento (UE) 2021/1323 de la Comisión, de 10 de agosto de 2021, por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 1881/2006 en lo que respecta a los niveles máximos de cadmio en determinados productos alimenticios. La Comisión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1323&qid=1628873603542>
- Falfán, I., & MacGregor, I. (2006). Árboles urbanos con valor alimenticio. INECOL Instituto de Ecología A.C. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/908-arboles-urbanos-con-valor-alimenticio#:~:text=El grupo de árboles con,árboles de lima y toronja>.
- FAO. (2022). Portal de Suelos de la FAO Definiciones Clave ¿ Qué es el Suelo ? Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldan-Antunez, G., & Salas-Salgado, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10. www.ecorfan.org/spain
- Haider, F., Liqun, C., Coulter, J., Cheema, S., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M., & Farooq, M. (2021). Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111887.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
- Haseena, M., Faheem, M., Javed, A., Arshad, S., Asif, N., Zulfiqar, S., & Hanif, J. (2017). Water pollution and human health. *Environ Risk Assess Remediat*, 1(3), 16–19. <http://www.alliedacademies.org/environmental-risk-assessment-and-remediation/>

- Huaraca-Fernandez, J., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L., & Pampa-Quispe, N. (2020). Organic amendments in the immobilization of cadmium in contaminated agricultural soils: A review. In *Informacion Tecnologica* (Vol. 31, Issue 4, pp. 139–152). Centro de Informacion Tecnologica. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Hussain, A., Abbasi, N., Hafiz, I. A., & Zia, S. (2011). A comparison among five loquat genotypes cultivated at Hasan Abdal and Wah. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 48(2), 103–106. <https://pakjas.com.pk/papers/1929.pdf>
- INEN-1750:1994. (2012). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1750:1994 Hortalizas y frutas frescas. Muestreo. Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1, 26. http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte_inen_0980.pdf
- INEN-1751:96. (2012). NTE INEN 1751:96 : Frutas frescas. Definiciones y Clasificación. Norma Técnica Ecuatoriana - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1–9. <http://181.112.149.204/buzon/normas/1751-1-C.pdf>
- INEN-1842:2013. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana: Productos vegetales y de frutas, determinación de pH. Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1991.
- Iturbe, R. (2010). ¿Qué es la biorremediación? (UNAM (ed.)). Gobierno Del Distrito Federal de la Ciudad de México. https://www.dgdc.unam.mx/assets/cienciaboletto/cb_11.pdf
- Largo-Taborda, W., Gutierrez, M., & Hurtado, K. (2022). Los proyectos tecnológicos y el cuidado del medio ambiente: una mirada desde la proyección social. (Issue 15). Eidec Editorial.
- Liu, Y., Zhang, W., Xu, C., & Li, X. (2016). Biological activities of extracts from Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.): A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/ijms17121983>
- Londoño-Franco, L., Londoño-Muñoz, P., & Muñoz-García Fabián. (2016, May 18). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 145–153.
- Medina, E. (2019, June). La contaminación del aire, un problema de todos. *Rev.Fac.Med.*, 189–191.
- Molina, P., Aguilar, N., & Cordovez, P. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77–88.
- Muller, C. D., Garcia, S. C., Brucker, N., Goethel, G., Sauer, E., Lacerda, L. M., Oliveira, E., Trombini, T. L., Machado, A. B., Pressotto, A., Rech, V. C., Klauck, C. R., Basso da Silva, L., Gioda, A., & Feksa, L. R. (2022). Occupational risk assessment of exposure to metals in chrome plating workers. *Drug and Chemical Toxicology*, 45(2), 560–567. <https://doi.org/10.1080/01480545.2020.1731527>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69–83. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Olivares, S., García, D., Lima, L., Saborit, I., Llizo, A., & Pérez, P. (2013). Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 29(4), 285–294.

- OMS. (2018). Contaminación del aire- La asesina silenciosa. Organización Mundial de La Salud. <https://www.paho.org/es/documentos/infografia-contaminacion-aire-asesina-silenciosa-2018>
- ONU. (2018). ¿Es el suelo tan importante? Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/es-el-suelo-tan-importante>
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2004). Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Editorial Paraninfo. <https://books.google.es/books?id=nUoOx-8knyUC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Ortega, J., Ferrís, J., Ortí, A., López, J., Cánovas, A., Garcia, J., Aliaga, J., Alcón, J., Beseler, B., Andreu, E., Molini, N., & Navarro, I. (2010). Contaminantes medio-ambientales en la alimentación. *Servicio de Pediatría. ...*, 2(4), 69–76. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/alimento.pdf>
- Palacios-Estrada, M., Masa-Sánchez, P., & Martínez-Fernández, V.-A. (2018). Cambio climático y contaminación ambiental como generadores de crisis alimentaria en la América andina: Un análisis empírico para Ecuador. *Revista Investigación Operacional*, 39(2), 234–249. <file:///C:/Users/Elena/Downloads/INVESTIGACIONOPERACIONALMARZO2018.pdf>
- Palacios, Í., & Moreno, D. (2022). Contaminación ambiental. *Revista Científica de La Investigación y El Conocimiento Recimundo*, 1(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Palma-Parra, M., Muñoz-Guerrero, M., Pacheco-García, O., Ortiz-Gomez, Y., & Díaz-C, S. (2019). Niños y adolescentes expuestos ambientalmente a mercurio, en diferentes municipios de Colombia. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 51(1), 43–52. <https://doi.org/10.18273/revsal.v51n1-2019005>
- Pazmiño, M. (2018). Determinación de la concentración de metales en sedimentos de seis ríos de la provincia Pichincha. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7457/1/138752.pdf>
- Pérez-Cardenas, J. (2017). La calidad del aire en Colombia: Un problema de salud pública, un problema de todos. Vol. 16, 5–6.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16, 66–77.
- Romero, V. (2022). Estudio de la concentración de cadmio en diferentes variedades de cacao y su impacto en la inocuidad alimentaria. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/26163/1/UCE-FCQ-CQA-ROMERO VALERIA.pdf>
- Singh, B., Gairola, S., Kumar, D., Gupta, V., & Bansal, P. (2010). Pharmacological potencial of *Eriobotrya japonica*-An overview. *International Research Journal of Pharmacy*, 1(1), 95–99.
- Sortino, G., Allegra, A., Farina, V., De Chiara, M. L. V., & Inglese, P. (2022). Genotype influence on shelf life behaviour of minimal processed loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) fruit: the role of sugar, acid organics and phenolic compounds. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00282-z>

- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Singh, R. P. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, 27, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Trujillo, S., Caballero, J., & Ramón, J. (2019). Determination of the concentrations of heavy metals present in the particular material PM10 of the municipality of San José de Cucuta, norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, 1, 14. <http://www.unipamplona.edu.co/>
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Outdoor air pollution respiratory health effects in children. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>
- Vargas Licon, S. P., & Marrugo Negrete, J. L. (2019). Mercury, methylmercury and other heavy metals in fish in Colombia: Risk from Ingestion. *Acta Biologica Colombiana*, 24(2), 232–242. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>
- Venkatanaidu, K., Kumar, V., Ramos, D., Oliveira, E., & Schuhmacher, M. (2018). Comparative in vitro toxicity evaluation of heavy metals (lead, cadmium, arsenic, and methylmercury) on HT-22 hippocampal cell line. *Biological Trace Element Research*, 184(1), 226–239. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1177-x>
- WFO. (2022). *Eriobotrya japonica*. The World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000023748>
- WWF. (2017). Impactos ambientais da alimentação é tema de vídeos do WWF-Brasil. WWF-Brasil. <https://www.wwf.org.br/?59882/Impactos-ambientais-da-alimentao--tema-de-vdeos-do-WWF-Brasil>
- Zhu, X., Wang, L., Zhao, T., & Jiang, Q. (2022). Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicity of *Eriobotrya japonica* leaves: A summary. *Journal of Ethnopharmacology*, 115566. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115566>