

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Ambiente y Sustentabilidad

Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

**Sostenibilidad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en el distrito
minero de Ponce Enríquez**

Un enfoque desde el punto de vista de metales pesados

Carolina Elizabeth Ramos Mejía

Tutora: Jenny Ruales Najera

Quito, 2022

Trabajo almacenado en el Repositorio Institucional UASB-DIGITAL con licencia Creative Commons 4.0 Internacional

	Reconocimiento de créditos de la obra No comercial Sin obras derivadas	
---	---	---

Para usar esta obra, deben respetarse los términos de esta licencia

Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, Carolina Elizabeth Ramos Mejía, autora del trabajo intitulado “Sostenibilidad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en el distrito minero de Ponce Enríquez: Un enfoque desde el punto de vista de metales pesados”, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

24 de mayo de 2022

Firma: _____

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) desde un punto de vista de metales pesados, se desarrolló en el cantón Camilo Ponce Enríquez. Allí, la extracción de oro genera contaminación relacionada a ciertos minerales potencialmente tóxicos como mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), esto debido principalmente a la dispersión de los residuos generados en el proceso de extracción. Las actividades económicas relacionadas a la explotación de mineras y canteras representan el 42 %, en tanto que la agricultura y ganadería el 30 %, por lo que el análisis de su sinergia es importante. Este estudio analiza la concentración de metales en el cultivo de cacao (suelo, hojas y fruto), el cálculo del factor de transferencia y un análisis de riesgo para la salud humana. Además, realiza encuestas a los productores para evaluar la salud del cultivo y obtener una correlación entre las variables estudiadas como el crecimiento del cultivo, la resistencia o tolerancia a estrés, la incidencia de enfermedades, etc. Los resultados muestran que las concentraciones de metales pesados no fueron superiores a las mencionadas en las normas alimentarias. Los metales Mg, Ca, Mg, Sr, Zn, Cd y Cu presentan una capacidad de movilizarse desde el suelo hacia las hojas y del suelo a los granos de cacao. La concentración de los metales antes mencionados, se deben monitorear para evitar que por procesos de bioacumulación se conviertan en perjudiciales para la salud humana. Del análisis de la concentración de metales en el cultivo se concluye que el cuidado del medio ambiente y su monitoreo es importante para el futuro del cacao, pero es trascendental que su cuidado este enfocado en todos los contaminantes presentes en la naturaleza, no solo los visibles como residuos sólidos, tala de bosques, emisiones de gases de efecto invernadero, etc., sino además de aquellos que están presentes silenciosamente como los metales tóxicos. Finalmente, la presencia de metales tóxicos en el suelo, agua y aire tienen diferentes orígenes: a los naturales hay que monitorear para evaluar su influencia en el medio ambiente, pero los de origen antropogénicos como los generados en las industrias, la actividad minería, la agricultura, etc., generan la urgente necesidad de reducirlos antes de que sea demasiado tarde.

Palabras clave: metales tóxicos, minería, agricultura

A Dios por la fuerza para culminar esta etapa de mi vida, por ayudarme a superar los retos y adversidades que se presentaron en el camino, por darme fuerza, sabiduría y salud.

A mi padre y a mi madre, por ser un ejemplo en mi vida, por entregarme sus enseñanzas, por darme la bendición cada día de mi vida.

A mis hermanos Carlos y Alejandra, por su apoyo.

A mis sobrinas Isabella y Catalina, que con una sonrisa me daban fuerza para luchar por mis metas.

A mi familia, siempre con una frase motivadora.

A todas las personas que me ayudaron durante esta travesía: al personal del DECAB, DEMEX y DCN que me brindaron su apoyo y confianza en esta investigación.

A la Dra. Jenny Rúaless por permitirme ser parte de su grupo de científicos, por su confianza.

A los doctores Ximena, Carolina, José Luis y Paul por sus palabras de apoyo en todo momento y por ser grandes profesionales, que con sus consejos, enseñanzas y apoyo me forjaron como una buena profesional, me abrieron las puertas para desarrollarme no solo profesionalmente sino personal e intelectualmente; además que sin ello esta etapa de mi vida sería muy diferente.

Agradecimientos

A los proyectos PIMI-1605 y PIE-DPET-PNUD-2020 que se ejecutan en la Escuela Politécnica Nacional, los cuales auspiciaron y financiaron el desarrollo de esta investigación. Además, también fue parcialmente financiado por el proyecto VLIR-UOS TEAM EC2018TEA461A105.

Tabla de contenidos

Figuras y tablas.....	13
Introducción.....	15
Capítulo primero: El cacao y su producción	19
1. Producción de cacao a escala mundial	19
2. Producción de cacao en Ecuador	21
3. Normativas asociadas a la producción de cacao.....	23
Capítulo segundo: Situación del cultivo del cacao en el cantón Ponce Enríquez	27
1. Producción de cacao en el cantón.....	27
2. Amenazas para el cultivo relacionado con el contenido de metales.....	29
3. Uso de suelo en el cantón	32
Capítulo tercero: Cuantificación de metales y su bioacumulación.....	37
1. Localización del Muestreo.....	37
2. Materiales y métodos.....	41
2.1. Cuantificación de metales.....	41
2.2. Análisis de bioacumulación.....	42
2.3. Análisis de movilidad	43
2.4. Análisis de riesgo.....	43
2.5. Análisis estadístico	44
3. Límites recomendados de metales tóxicos en alimentos (cacao) y su efecto en la salud.....	44
4. Análisis de bioacumulación.....	51
5. Analisis de Movilidad.....	54
6. Análisis de Riesgo	62
Capítulo cuarto: Evaluación de la Sostenibilidad del Cultivo.....	63
1. Análisis de la salud del cultivo.....	64
2. Análisis de las interacciones que posiblemente explican el mejor comportamiento del sistema (cultivo de cacao-contenido de metales).....	68
Conclusiones y recomendaciones	71
Lista de referencias.....	73
Anexo.....	81

Anexo 1: Encuesta sobre salud del cultivo 81

Figuras y tablas

Figura 1. Producción de cacao a nivel mundial en el periodo 2015-2020.....	20
Figura 2. Requisitos físicos y calidad para los granos de cacao.....	25
Figura 3. Cultivos permanentes del cantón Ponce Enríquez	28
Figura 4. Geoquímica y Salud: un resumen del papel de los elementos mayores y traza en la nutrición y en la inducción de desórdenes tóxicos.	32
Figura 5. Cobertura del suelo en el cantón Ponce Enríquez	34
Figura 6. Mapa de las minas de oro y plata en el cantón Ponce Enríquez	35
Figura 7. Macro localización de los puntos de muestreo	37
Figura 8. Puntos de muestreo en la cuenca del Rio Gala	39
Figura 9. Puntos de muestreo en la cuenca del rio Jubones y Santa Rosa.....	40
Figura 10. Elementos del muestreo del cultivo de cacao	41
Figura 11. a) Contenido de metales (mg/kg) en suelos entre 0 y 20 cm de profundidad. b) Contenido de metales (mg/kg) en suelos entre 20 y 50 cm de profundidad.	48
Figura 12. Barras agrupadas Media de Concentración (mg/kg) por Metal por Ubicación	50
Figura 13. Concentración de metales en el sistema de producción (0-4,5E-05 ppm)	52
Figura 14. Concentración de metales en el sistema de producción (< 0,018 ppm).....	52
Figura 15. Concentración de metales en el sistema de producción (0,018 - 0,6 ppm)	53
Figura 16. Concentración de metales en el sistema de producción (0,6 - 450 ppm).....	54
Figura 17. Factor de transferencia para granos de cacao-suelo.....	55
Figura 18. Factor de transferencia para hojas-suelo	56
Figura 19. Concentración de Cd en las muestras analizadas.....	58
Figura 20. Regresión lineal de la concentración de Cd entre hojas y granos de cacao ..	59
Figura 21. Concentración de Zn en las muestras analizadas	59
Figura 22. Regresión lineal de la concentración de Zn entre hojas y granos de cacao ..	60
Figura 23. Interpretación del análisis de componentes principales por metales	61
Figura 24. Interpretación del análisis de componentes principales por ubicación	62
Figura 25. Comparación de indicadores de calidad de suelo	65
Tabla 1 Mayores productores de cacao en 2020.....	19
Tabla 2 Exportaciones de cacao de Ecuador de 2015 a 2020.....	22

Tabla 3 Unidades de producción agropecuaria y hectáreas plantadas de cacao en la región costa en el 2020	22
Tabla 4 Unidades de producción agropecuaria y hectáreas plantadas de cacao en las regiones sierra y oriente en el 2020	23
Tabla 5 Cantón Ponce Enríquez: Porcentaje de las unidades ambientales	33
Tabla 6 Coordenadas de muestreo	38
Tabla 7 Análisis ANOVA para metales analizados	45
Tabla 8 Correlación de Pearson para muestras de suelo	47
Tabla 9 Contenido de metales en dos profundidades de suelos en la zona de estudio ...	49
Tabla 10 Correlación de Pearson para las muestras de granos de cacao	50
Tabla 11 Contenido de metales muestras de granos de cacao	51
Tabla 12. Factor de transferencia para muestras de hojas y granos de cacao	57
Tabla 13 Correlación de Pearson para muestras de granos de cacao	58
Tabla 14 Análisis de componentes principales para muestras de granos de cacao	60
Tabla 15 Cocientes de peligro e índice de peligro total de los metales pesados	62
Tabla 16 Análisis de Pearson de para evaluación de la salud del cultivo de cacao	67
Tabla 17 Casos de intoxicación por metales pesados a nivel mundial	68

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao*), un cultivo ancestral que se practica en los países de la costa de América presenta una riqueza histórica y cultural. Data de los primeros años posteriores a la llegada de los españoles, de donde nace su importancia para los agricultores y para el comercio. Debido a que no solo es un producto de consumo, sino que se consideraba una moneda de cambio, generaba aceptación y aprecio en los lugares donde se cultivaba (Strong Zúñiga 2020, 37).

Según el Banco de Desarrollo de América Latina (2020), los árboles de cacao se pueden encontrar en todo el mundo, con una producción concentrada en países como Ghana y Costa de Marfil, utilizando cacao tradicional. Sin embargo, hay un pequeño mercado especialista que busca cacao con una alta calidad organoléptica, abriendo la posibilidad de negocios a países de América Latina. Estos países cuentan con condiciones medioambientales y de biodiversidad única, logrando que el cacao presente características especiales, las cuales se pueden observar en Ecuador que es considerado el primer exportador del mundo de cacao especial o cacao fino de aroma.

Ecuador es un país cacaotero con más de 240 años en el mercado con la venta de cacao en grano, contribuyendo a la economía del país en las épocas más productivas en especial en su primer y segundo “Boom Cacaotero” (Vassallo 2016, 27). Actualmente es el cuarto país productor de cacao del mundo con 300 000 toneladas (Abad Andrés 2020, 53). Según Barrezueta-Unda, Carpio, y Sarmiento (2017, 279), la producción de este cultivo se concentra en la región Costa del Ecuador, de donde el 65 % tiene una producción manejada como monocultivo generando susceptibilidad a los cambios en las condiciones ambientales provocadas por el cambio climático, poniendo en riesgo la sostenibilidad del cultivo.

En el cantón Camilo Ponce Enríquez, en la provincia del Azuay, la producción de cacao es uno de los proyectos productivos agrícolas más importantes, representando el 69,92 % del total de la cosecha permanente de la región (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015, 160). Por otro lado, una de las actividades económicas del cantón es la extracción artesanal de oro lo que ha generado contaminación relacionada a ciertos minerales potencialmente tóxicos como mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), esto debido principalmente a la dispersión de los residuos generados en el proceso de extracción (Appleton et al. 2001, 20).

El impacto ambiental de la extracción de oro generado por la minería artesanal es una preocupación mundial, por lo que varios países están tratando de mitigar los problemas ambientales y de salud que se presentan (Gunson y Veiga 2004, 112).

En el Ecuador, la minería ha existido desde la época precolombina (Lozada 2016) y, en la actualidad se la realiza a pequeña escala, que varía entre minería artesanal relacionado a casos ilegales y pequeña minería formal (EC 2015).

Cuando la minería es vista como una actividad que genera importantes ingresos económicos para un país, el impacto sobre la calidad del agua y del suelo, la biodiversidad y la base de la vida humana deja de ser una prioridad (Betancourt et al. 2012). Uno de los recursos afectados es el hídrico, debido a que la minería genera alteraciones en el flujo de los ríos generando que las concentraciones de sólidos disueltos, metaloides y cationes varíen, deteriorando la calidad del agua y afecten su uso (IISD 2019).

El objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en el distrito minero de Ponce Enríquez: Un enfoque desde el punto de vista de metales pesados.

También, contempló tres objetivos específicos:

1. Evaluar las concentraciones de metales pesados en cultivos de cacao (suelo, hojas, cáscara, cascarilla y granos de cacao).
2. Identificar la movilidad de los metales en la planta mediante análisis estadístico.
3. Generar información de base que permita analizar la sostenibilidad del cultivo.

Además, al analizar las actividades económicas en Ponce Enríquez con un enfoque en la minería es fundamental el estudio de la sostenibilidad del cultivo de cacao en el cantón; debido a que las dos actividades económicas: la minería y la producción agrícola, son base de la economía local y aportan al desarrollo de la comunidad por lo cual no se podrían suspenderlas.

Este estudio se realizó con el apoyo del proyecto de investigación PIMI-1605 ejecutado en la Escuela Politécnica Nacional, con el cual se pudo acceder a equipos que no se encuentran en el país como un ICP-MS, además de costear el valor de envío de las muestras y el costo del análisis.

Para evaluar los desafíos de la sostenibilidad del cultivo de cacao en la zona se parte con la identificación de los factores ambientales y antrópicos que inciden en la producción como son: el uso del suelo, la disponibilidad de agua de riego y las actividades económicas que se realizan en la zona (Duguma, Gockowski, y Bakala 1999, 12). Una de

estas actividades es la minería metálica artesanal y de pequeña escala, que genera impactos ambientales significativos (Pantoja y Pantoja 2016, 148). Por ejemplo, la minería de oro en el cantón Ponce Enríquez ha llevado a la contaminación de los sistemas hídricos de la zona (Velásquez-López, Sánchez y Velásquez 2020, 83) generando problemas en la calidad del agua y su uso se convierte en potencialmente peligroso para la salud.

Los impactos producidos en la estructura, distribución y funcionamiento de los recursos son generados por la constante presión debido a las actividades humanas. Además de la permanente demanda por alimentos, agua y servicios ecosistémicos, causando un deterioro del ecosistema (Challenger y Dirzo 2009, 38).

Existen regulaciones internacionales para el cacao en relación con el contenido de metales como plomo y cadmio (Barraza et al. 2017, 952), condicionando la comercialización de su subproducto el chocolate, por lo que se vuelve importante su análisis. Además, de otros metales como mercurio o magnesio que generan afecciones a la salud. Estos metales son absorbidos por la planta de fuentes naturales, pero en su mayoría de fuentes de origen antropogénico generando una contaminación en los alimentos y como consecuencia riesgos potenciales para la salud (Castebianco 2018, 25).

Este estudio se justifica debido a que según Sandoval, en el caso de los ríos en el cantón Ponce Enríquez, estos presentan un severo problema en la pérdida de biodiversidad por la incorporación de metales pesados y la acumulación de mercurio por parte de los organismos acuáticos, base de la cadena trófica (2002, 30). El cambio climático provoca alteraciones en los regímenes hídricos, provocando cambios en los niveles de sedimentación en ríos y flujos de contaminantes (García González, Carvajal Escobar y Jiménez 2011, 20).

El suelo y agua con niveles de metales fuera de los máximos recomendados por la norma internacional como plomo, níquel, cadmio y magnesio y que son utilizados para la agricultura crean problemas de acumulación en las plantas, por su carácter no biodegradable generando toxicidad para algunos cultivos lo que provoca sensibilidad en algunas plantas. También se debe analizar la acumulación como un riesgo no solo para la sostenibilidad de los cultivos, sino que por su alta concentración en el suelo y plantas locales generarían afecciones a la salud humana y animal como enfermedades, retardo en el desarrollo neurológico y mal formaciones (Prieto Méndez et al. 2009, 32).

Para evaluar la sostenibilidad de un sistema existen varios métodos de estimación, uno de ellos es aplicar encuestas y evaluar la percepción de la salud del cultivo según los

agricultores. Estas encuestas logran estandarizar los criterios con un mismo indicador, generando resultados comparables y que facilitan el análisis. Estas encuestas se deben aplicar a varias fincas del cantón que presenten características diferentes como por ejemplo extensión o tipo de producción, para ayudar a comprender las diferentes respuestas ecológicas (Altieri y Nicholls 2002, 18).

Capítulo primero

El cacao y su producción

1. Producción de cacao a escala mundial

Theobroma cacao es la semilla del árbol del cacao, un árbol tropical originario de las Américas pero que ahora se cultiva en muchos países con climas tropicales. Las condiciones óptimas de crecimiento son de 20 a 30 °C (68 a 86 °F), con 1.500 a 2.500 mm de lluvia al año y 2.000 horas de sol anuales (Afoakwa 2014). El cacao tiene muchas aplicaciones, pero es más conocido por ser el ingrediente clave del chocolate (Babin 2018). Hoy, la industria del chocolate está valorada en más de \$ 100 mil millones. Por lo tanto, el cultivo del cacao en grano es de suma importancia para los productores de chocolate. El área dedicada al cultivo de cacao a nivel mundial en la actualidad bordea los 10 millones de hectáreas (Babin 2018), concentrando la producción en África y las Américas, aunque hay un porcentaje importante del grano que también proviene de Indonesia. La información con las toneladas producidas por los mayores productores en 2020 se resume en la tabla 1.

Tabla 1
Mayores productores de cacao en 2020

Mayores productores de cacao en el mundo	Producción de cacao en 2020 (toneladas)
Costa de Marfil	2.248.000
Ghana	1.047.000
Ecuador	350.000
Camerún	290.000
Nigeria	270.000
Brasil	200.000

Fuente: ICCO, 2020
Elaboración propia

El cacao se consume principalmente en la industria confitera. Esta incluye productos recubiertos de chocolate (galletas, helados), alimentos que contienen cacao en polvo, incluidas bebidas, pasteles, bocadillos y similares. Los principales ingredientes del chocolate sacados del cacao son la pasta de cacao, que da el sabor básico del chocolate y la manteca de cacao que proporciona la sensación de gusto en la boca. El cacao en polvo se utiliza en una amplia gama de productos alimenticios y bebidas. El aumento del

consumo de cacao en el Lejano Oriente y Europa del Este se debe principalmente a una mayor demanda de productos que contienen cacao en polvo. Se utiliza cantidades relativamente pequeñas de manteca de cacao en cosméticos y varios países productores han iniciado recientemente nuevas empresas conjuntas con subproductos del cacao. (Afoakwa 2014). Gómez-Molina, Villanueva, y Henríquez (2019, 221) analizaron la tendencia en la elaboración de productos derivados del cacao a nivel mundial concluyendo que el mercado pretende hacer a un lado a los snacks tradicionales y buscar alimentos sanos, es decir con menos cantidad de azúcar, además buscar alternativas del uso del cacao y los subproductos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética.

La producción de cacao es principalmente de forma manual, y su producción no ha experimentado aplicación de mecanización a gran escala. A pesar de este limitante, aproximadamente 4 millones de toneladas de cacao en grano se han producido anualmente a nivel mundial desde 2010 (Voora, Bermúdez y Larrea 2019). El cacao en grano exportado tenía un valor combinado de USD 8,6 mil millones para 2017 y se esperaba un crecimiento anual de 7,3 por ciento entre 2019 y 2025, para alcanzar USD 16,32 mil millones. La industria del chocolate es la mayor consumidora del cacao, llegando a abarcar en 2017, un 43 % de la producción mundial de cacao en 2017 (Voora, Bermúdez y Larrea 2019).

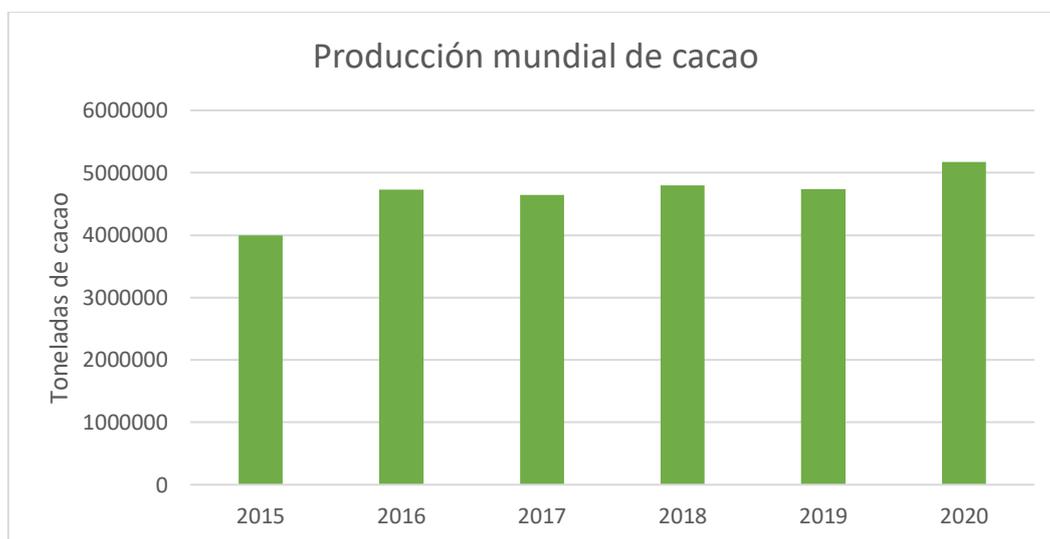


Figura 1. Producción de cacao a nivel mundial en el periodo 2015-2020

Fuente: ICCO, 2020

Elaboración propia

2. Producción de cacao en Ecuador

El cacao ha sido históricamente uno de los cultivos más importantes de Ecuador. Actualmente el subsector cacao representa alrededor del 12 % del PIB de agricultura y 1,5 % del PIB total (Saravia-Matus, Rodríguez y Saravia 2020, 23). La producción de cacao en Ecuador ha reportado bajos rendimientos respecto a otros países en la región. El promedio de 303,4 kg por hectárea entre 2002 y 2012 en Ecuador contrasta con 634,3 kg/ha en Perú, 468,4 kg/ha en Colombia, 366,0 kg/ha en Venezuela, 332,7 kg/ha en Brasil y 340,8 kg/ha en República Dominicana en los mismos años (Saravia-Matus, Rodríguez, y Saravia 2020, 23). El menor rendimiento de la producción mundial de cacao puede estar relacionado con la variante “Aroma Fino”, que presenta menor rendimiento por hectárea, pero mayor calidad (Barrezueta y Chabla 2017). Otros factores pueden incluir la falta de inversión en la industria en los años citados. Esto cambiará a la hora de emprender proyectos en el sector cacaotero. Desde el punto de vista económico, el cacao es uno de los 20 productos más exportados de Ecuador y uno de los cinco productos más exportados en la agricultura, junto con el banano, las flores y el aceite de palma (Sepúlveda et al. 2018, 278).

En Ecuador se tienen las variedades conocidas como cacao “Fino Aroma” y la CCN51. La variedad CCN51 es de mayor productividad con 2337 kg/hectárea (Barrezueta y Chabla 2017) y fue introducida desde el extranjero. Por su parte, la variedad “Fino Aroma” tiene un rendimiento de 476 kg/hectárea (Barrezueta y Chabla 2017). El problema es que ambas se cultivan y comercializan sin una separación adecuada, conduciendo a niveles de calidad mixtos y márgenes reducidos (CEPAL 2015). La consecuencia es que los precios en mercados locales son prácticamente los mismos para ambas variedades, incluso cuando la producción certificada de cacao fino de aroma se vende con una prima en los mercados internacionales (Saravia-Matus, Rodríguez, y Saravia 2020, 23).

Esta situación se enfrentó con la puesta en marcha el Plan Nacional de Rehabilitación para el cacao fino de aroma en 2013. El presupuesto para el plan fue de 130 millones de dólares y buscaba mejorar los rendimientos y apuntar a los mercados gourmet que requieren el cacao fino de aroma (EC MAG 2020). Este plan tendrá consecuencias positivas en los análisis que se realizarán en el apartado de la producción cacaotera en el cantón Ponce Enríquez de Azuay.

El cacao en grano se cultiva en 21 de las 24 provincias del territorio ecuatoriano, con una superficie de más de 600.000 hectáreas. Aunque 137 empresas exportan cacao y sus productos relacionados, la mayor parte de su producción se encuentra a nivel familiar y campesino, generando ventas por más de \$800 millones en 2020 (Cobos 2021)

Tabla 2
Exportaciones de cacao de Ecuador de 2015 a 2020

Año	Exportaciones de cacao y derivados (en millones de dólares)
2015	812
2016	750
2017	688
2018	777
2019	763
2020	850

Fuente: Cobos, 2021

Elaboración propia

Las provincias con mayor producción del grano de cacao se concentran en la región costera y en la Amazonía en menor medida. La producción a nivel nacional fue para 2020 de 243.146 hectáreas cultivadas. La mayor concentración de producción se dio en la región costa, con 205.413 hectáreas. Las provincias de la sierra llegaron a una superficie utilizada de 19.156 hectáreas y el resto de las provincias a 18.577 hectáreas (EC INEC 2021).

Tabla 3
Unidades de producción agropecuaria y hectáreas plantadas de cacao en la región costa en el 2020

Provincias de la Región Costa	Unidad de Producción Agropecuaria (UPA)	Hectáreas plantadas
El Oro	4.376	18.511
Esmeraldas	5.771	24.527
Guayas	12.430	51.227
Los Ríos	13.717	58.572
Manabí	9.498	52.577

Fuente: EC INEC 2021

Elaboración propia

Datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) muestran la producción de cacao por hectárea y en fincas en Ecuador. En las estadísticas agropecuarias, una unidad de producción agropecuaria (UPA) se define como una extensión de tierra que se utiliza total o parcialmente para la producción agropecuaria y tiene una sola dirección o gestión dentro de su actividad (EC INEC 2021).

Tabla 4
Unidades de producción agropecuaria y hectáreas plantadas de cacao en las regiones sierra y oriente en el 2020

Provincias de la Región Costa	Unidad de Producción Agropecuaria (UPA)	Hectáreas sembradas
Azuay	666	2.577
Bolívar	663	3.396
Cañar	608	4.017
Cotopaxi	679	3.179
Loja	95	130
Pichincha	1.801	5.768
Morona Santiago	840	876
Napo	1.780	2.930
Pastaza	402	459
Zamora Chinchipe	434	459
Sucumbíos	1.590	2.304
Orellana	1.177	2.346

Fuente y elaboración: EC INEC 2021

La bonanza que el cacao ha tenido para Ecuador genera repercusiones en otros aspectos como en la calidad, provocando que los productores comiencen a utilizar estándares internacionales que fortalece el intercambio comercial. Los agricultores de cacao conocen y utilizan desde hace años etiquetas de calidad como la Orgánica o la de Comercio Justo (Sepúlveda et al. 2018, 278). De hecho, de acuerdo con Sepúlveda et al. (2018, 279), para el año de su investigación, un 71,4 % de agricultores encuestados ya se apegaban o había utilizado ya la etiqueta de producto orgánico mientras el porcentaje para comercio justo era de 69,8 %. Según los resultados de la encuesta de Sepúlveda et al. (2018, 283), los productores que conocen de estas certificaciones internacionales están muy de acuerdo en que producir con estas etiquetas de calidad da más confianza al consumidor y es más respetuoso con el medio ambiente. Esto contrasta con su opinión respecto a los aspectos de tecnología y rentabilidad. El estudio de Sepúlveda et al. (2018, 284) sugiere que, desde el punto de vista del agricultor, producir con etiqueta de calidad exige la misma tecnología que la producción convencional mientras que no generan más ingresos. Esto no vendría sino a confirmar lo que ya decían Voora, Bermúdez, y Larrea (2019), que la producción en Ecuador sigue siendo de carácter manual fundamentalmente.

3. Normativas asociadas a la producción de cacao

Toda la producción en el país se cobija bajo la Constitución de la República del Ecuador en su título VI, aquel que se refiere al Régimen de Desarrollo. En el art. 275 la Constitución señala que “el régimen de desarrollo es el conjunto organizado, sostenible y

dinámico de los sistemas económicos, políticos, socioculturales y ambientales donde garantizan la realización del buen vivir, del *sumak kawsay*” (EC Constitución del Ecuador 2008, art. 275).

Por su parte, el artículo 337 establece que, “El Estado promoverá el desarrollo de infraestructura para el acopio, transformación, transporte y comercialización de productos para la satisfacción básica interna, así como para asegurar la participación de la economía ecuatoriana en el contexto regional y mundial a partir de una visión estratégica” (EC Constitución del Ecuador 2008, art. 337).

La Ley orgánica de agrobiodiversidad, semillas y fomento de la agricultura sustentable hace referencia justamente al sector agrario, que es donde se incluyen las actividades cacaoteras. Los artículos más relevantes son:

Art.11. Fortalecimiento organizacional. Las instituciones del Estado apoyarán administrativa y técnicamente, la creación y el fortalecimiento institucional de las empresas y organizaciones semilleras, en especial a las organizaciones de pequeños y medianos productores de semilla, para fomentar el desarrollo de capacidades organizativas y de gestión, para la conservación, producción y comercialización de los recursos fitogenéticos y el cumplimiento de sus objetivos y fines. (EC Ley orgánica de agrobiodiversidad 2017, art. 11)

[...]

Art. 48. Agricultura sustentable. Para efectos de aplicación de esta ley, se entiende por agricultura sustentable a los sistemas de producción agropecuaria que permiten obtener alimentos de forma estable, saludable, económicamente viables y socialmente aceptable, en armonía con el medio ambiente y preservando el potencial de los recursos naturales productivos, sin comprometer la calidad presente y futura del recurso suelo, disminuyendo los riesgos de degradación del ambiente y de contaminación física, química y biológica de los productos agropecuarios. Constituyen modelos de agricultura sustentable: la agroecología, agricultura orgánica, agricultura ecológica, agricultura biodinámica, agricultura biointensiva, permacultura agricultura sinérgica, bosque de alimentos, agricultura natural, y otras que se establezca. (EC Ley orgánica de agrobiodiversidad, 2017, art. 48)

En la Norma técnica ecuatoriana, las referencias de la NTE INEN 176, quinta revisión, 2018 abarca:

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son indispensables para la aplicación de este documento. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN-ISO 1114, Granos de cacao. Prueba de corte

NTE INEN-ISO 2291, Granos de cacao. Determinación del contenido de humedad (Método de rutina)

NTE INEN 177, Cacao en grano.

Requisitos	Cacao Fino			Cacao CCN51		Método de ensayo
	A.S.S.S	A.S.S	A.S.E	C.S.S	C.S.C	
Humedad, máximo, %*	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	>130	>120 a 130	100 a 120	>125	110. 125	a
Grano de fermentación mínimo, %	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO1114
Granos pizarrosos máximo, %	9	12	18	12	15	NTE INEN-ISO1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO1114
TOTALES (Análisis sobre 100 granos), mínimo	100	100	100	100	100	
Granos defectuosos máximo, %	0	1	3	1	3	b
Material relacionado al cacao, máximo, %	1	1	1	1	1	b
Material extraño, máximo, %	0	0	0	0	0	b

a masa determinada por medio de una balanza
b determinado en 500 g de muestra

Figura 2. Requisitos físicos y calidad para los granos de cacao
Fuente y elaboración: INEN (2018)

De acuerdo con la norma técnica ecuatoriana, NTE INEN 176, quinta revisión, 2018, los granos de cacao:

Los granos de cacao deben cumplir con los siguientes requisitos:

- 5.1 Los granos de cacao no deben presentar olor o sabor a humo, o que muestren signos de contaminación por humo;
- 5.2 Los granos de cacao no deben estar infestados;
- 5.3 Los granos de cacao deben cumplir con los requisitos físicos y de calidad indicados en la figura 2. (EC INEN, 2018, 4)

Sistema regulatorio internacional

A escala internacional, las exigencias de control de calidad cada vez son más elevadas. En la actualidad existen normativas de control como las normas ISO. Estas evalúan los procesos de producción y venta de cacao a nivel mundial. También se evalúa el proceso de producción y comercialización del cacao a nivel mundial (Rodríguez y Cárdenas 2021, 10).

El cacao a escala internacional se comercializa a través de contratos como los que realizan la Federación de Comercio de Cacao. Los contratos de comercialización del cacao están basados en la norma ISO 2451. Otras normas evalúan aspectos diferentes de la calidad del producto. La ISO 1114 y la ISO 2291 evalúan la prueba de corte en el grano

y el proceso rutinario a la llegada de la materia prima, mientras la ISO 2292 evalúa un muestreo del producto que llega (Rodríguez y Cárdenas 2021, 10).

Aparte de las normas ISO, en los últimos años han entrado al país sistemas de etiquetado que buscan garantizar productos amigables con el medio ambiente, que provengan de lo que se conoce como comercio justo (FT por siglas en inglés, Fair Trade), así como certificados de origen del grano, entre otros. Estas etiquetas internacionales buscan darle a la calidad un mayor grado de credibilidad y han ido ganando terreno cada vez más en el país (Sepúlveda et al. 2018).

Capítulo segundo

Situación del cultivo del cacao en el cantón Ponce Enríquez

1. Producción de cacao en el cantón

Existen dos tipos de cultivos en el territorio del cantón Ponce Enríquez, los permanentes y los transitorios. El cacao se encuentra entre los cultivos de tipo permanente. Entre los principales cultivos considerados permanentes en el territorio aparte del cacao, están el banano, plátano, cítricos, orito, frutas varias, yucas como se muestra en la figura 3. El 75 % del cacao y el banano se utilizan comercialmente, el resto se utiliza para uso personal (Pontón y Valarezo 2018). Los microclimas que hay en Ponce Enríquez por la variación altitudinal del cantón permiten que se puede cultivar plantas tan variadas como borjón, arazá, girasol, soya, entre otros (Pontón y Valarezo 2018).

El cantón produce 880 toneladas de 'Fino de Aroma', también conocido como 'Nacional', cada año. Por otra parte, su producción de la variedad CCN51 asciende a 6 970 toneladas. La producción de esta última variedad se concentra en la parroquia Molleturo, seguida de lejos por el cantón Camilo Ponce Enríquez. La variedad CCN51 presenta menores problemas fitosanitarios que el cacao de variedad Nacional, lo que significa menor vulnerabilidad a plagas y enfermedades, así como mayor productividad (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015).

El cacao, tanto en su variante nacional como en la CCN51, se describe como rico en grasas y carbohidratos, nutrientes que aportan energía al cuerpo. El subproducto de manteca de cacao contiene ácido esteárico, una grasa insaturada que no eleva el nivel de colesterol en la sangre, lo que lo hace muy apreciado por las personas con este problema de salud. El cacao también es una buena fuente de minerales como potasio, fósforo, magnesio y calcio. También aporta vitamina B1 y ácido fólico, así como polifenoles que están relacionados con la prevención de enfermedades cardiovasculares y la estimulación del sistema inmunitario (Pontón y Valarezo 2018).

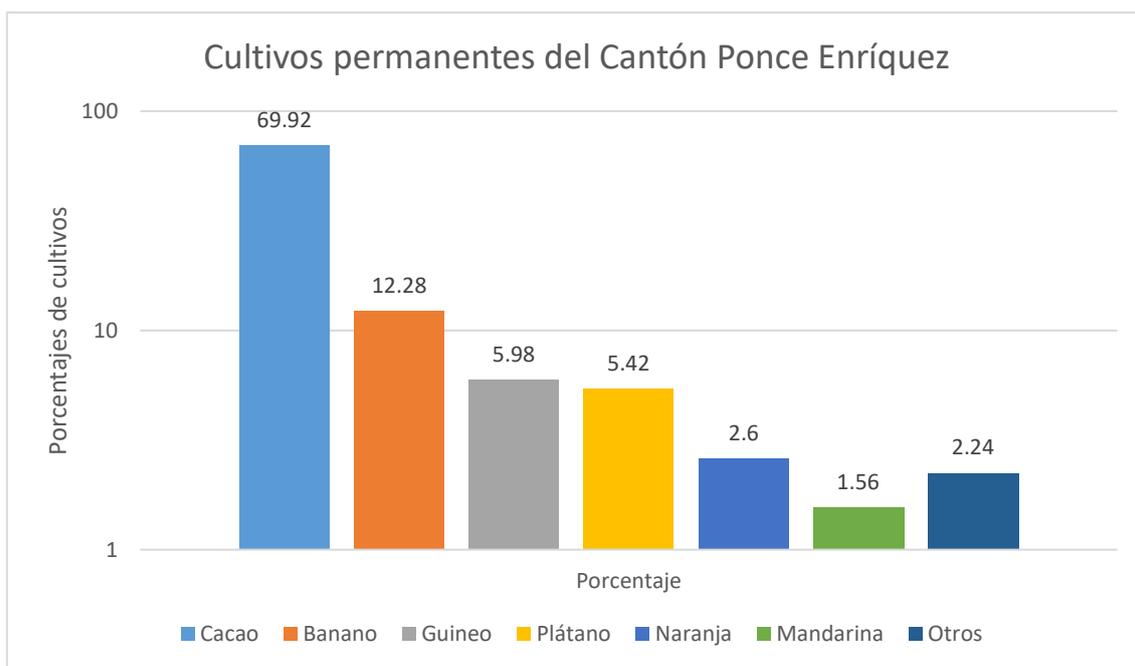


Figura 3. Cultivos permanentes del cantón Ponce Enríquez
Fuente y elaboración: GAD Municipal CPE, 2019

La producción de cacao en los cantones Camilo Ponce Enríquez, Pucará, Cuenca (parroquia Molleturo) y zonas bajas de Santa Isabel ya que las plantaciones mantienen buenas condiciones nutricionales debido a las buenas prácticas agrícolas (BPA) que aplican los agricultores. Los productores introdujeron en estos cantones la variedad de mayor rendimiento (CCN51 y ramilla-injerto). A partir de 2014 la producción alcanza los valores esperados por los agricultores. La producción se estabiliza entonces como consecuencia de la edad de las plantaciones, logrando 25 quintales/hectárea/año de la variedad CCN51 (EC Banco Central 2015).

En los dos siguientes años, la producción se incrementó a 40 quintales/hectárea/año. En 2015, al realizarse una encuesta del uso de superficie, los agricultores entrevistados dicen que tienen la expectativa de que los cultivos incrementen su rendimiento un 10 %. Estos datos de incremento de la producción se dieron en el contexto del “Proyecto CCMA”. Dicho proyecto consistía en un convenio de los productores con el MAGAP y la BNF. El proyecto incluyó los cultivos de cacao, café, maíz y arroz. El agricultor se beneficiaba de combos agrícolas completos por parte de casas comerciales autorizadas (AGRIPAC, ECUAQUIMICA) por el MAGAP. Adicionalmente, esta entidad brindó asistencia técnica. El financiamiento corrió a cargo de la BNF mediante la cancelación del costo de los combos agrícolas (EC Banco Central 2015).

La producción agrícola del cantón Ponce Enríquez registra una producción agrícola de cacao (*Theobroma cacao*) en 62,92 %, banano (*Musa paradisiaca*) en 12,28 %, guineo (*Musa balbisiana*) en 5,98 %, plátano (*Musa paradisiaca*) en 5,42 % y naranja (*Citrus sinensis*) en 2,6 %. Otros cultivos del cantón se utilizan para el autoconsumo (Murudumbay, 2019). El sector agrícola es considerado como una de las principales actividades de sustento económico para la comunidad ponceña, siendo la compra y venta de cacao (fino de aroma o CCN51) las actividades económicas de mayor demanda entre las personas que trabajan en estas zonas productivas. Según la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao de Ecuador (ANECACAO 2019), el cacao fino de aroma representa el 5 % de la producción mundial de cacao y se lo considera como “producto tradicional y emblemático del Ecuador”. Sus fragancias y sabores frutales y florales lo volvieron famoso entre los extranjeros y poco a poco lo fueron llamando Cacao Arriba. Las propiedades organolépticas de este cacao lo hacen muy apreciado por la industria de la confitería en general.

Igual que muchas actividades productivas en el país, la producción agropecuaria del cantón Ponce Enríquez puede afectarse negativamente por el fenómeno de El Niño. Otro factor que incide en la producción cacaotera del cantón es la producción minera, que hace atractiva una migración laboral hacia este sector en detrimento del sector agrícola. A esto se suma la falta de tecnología y apoyo hacia la agricultura y ganadería por parte del Estado. Al fin y al cabo, para que la producción agrícola genere buenos rendimientos es necesario que exista una buena infraestructura en forma de acceso a fuentes de agua y canales de riego, vías de comunicación, de tecnificación y de organización (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). Estos factores influyen negativamente en los niveles de producción y de exportación del cacao (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015).

2. Amenazas para el cultivo relacionado con el contenido de metales

Justamente fue el Fenómeno del Niño de 1982 el que llevó a muchos habitantes del cantón a buscar alternativas al sector agropecuario. Es en este contexto que la minería se presenta como una actividad atractiva para los pobladores. Entre los lugares con gran extracción minera están La Fortuna, Bella Gala, Pinglio 1, Las Paralelas, Renacer M3, La Coca y Quebrada Fría (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015).

Lamentablemente la explotación minera genera impactos sociales y ambientales negativos en la zona. El trabajo es antitécnico y no observa las normas ambientales para prevenir contaminación en suelo, agua y aire por los desechos de mercurio, explosivos y plásticos, además de la tala de bosques para dicha actividad (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). En el caso de la contaminación del suelo por trazas de elementos potencialmente tóxicos, ésta es una preocupación por sus posibles perjuicios a la salud de los seres humanos (Scaccabarozzi et al. 2020).

Muhammad, Shah, y Khan (2011, 615) indican en su estudio de trazas de metales pesados en áreas cercanas a explotación minera de oro en un parque de Indonesia que los niveles de mercurio aumentan en el suelo y en las plantas a medida que se acerca al área de explotación. Los resultados del estudio de Muhammad, Shah, y Khan (2011, 617) denotan que la calidad de los suelos y cultivos en áreas con actividad minera disminuye física y químicamente.

La acidez alta del suelo indica baja disponibilidad de nutrientes que pueden ser absorbidos por las plantas. Un pH menor a 5,5 dificulta el crecimiento de las raíces y el metabolismo de las plantas, ya que promueve la acumulación de metales tóxicos, como aluminio o manganeso, además que la población de bacterias fijadoras de nitrógeno disminuye (Muhammad, Shah, y Khan 2011, 617).

Por su parte, Rosales-Huamani et al. (2020, 2) señalan en su estudio en Perú que el cadmio, en comparación con otros metales como el plomo, es bastante móvil en el suelo y es fácilmente absorbido por las plantas. Diferentes regiones productoras de cacao indican que estos metales podrían estar presentes en altos niveles, lo que puede causar problemas en el consumo y exportación de cacao y otros productos.

Anyimah-Ackah et al. (2021, 303), en su investigación en Ghana encontraron que en los granos de cacao el mercurio presentó la mayor concentración, con un promedio de 13,99 mg/kg. El mismo estudio (2021, 310), reporta que las concentraciones de otros metales como plomo y molibdeno también superan las normativas internacionales. Esto plantea serios desafíos al comercio internacional de cacao y requiere de un gran esfuerzo para mitigar estos contaminantes, caso contrario se podría tener un problema de salud importante para los consumidores de chocolate.

Cuanto más lejos la distancia desde el punto de procesamiento de oro, menor será la concentración en el suelo y plantas de Hg. Esta disminución se debe a que el Hg es de naturaleza inestable y se transporta fácilmente por el viento y el agua, tanto superficial como capilar en las plantas (Muhammad, Shah, y Khan 2011, 618). La exposición a la

concentración de Hg en las plantas es una amenaza de toxicidad para los humanos que consumen estos productos agrícolas (Muhammad, Shah y Khan 2011, 618). La mayor concentración de Hg en el suelo causa una mayor concentración de Hg en las plantas a través del factor de transferencia del suelo (FT) a la planta. Si el valor de $FT > 1$, entonces la planta tiene la capacidad de acumular Hg. Si FT está cerca del valor de 1, entonces la planta no se ve afectada por Hg, y si el valor de $FT < 1$ entonces la planta metabólicamente tiene la capacidad de evitar que el Hg en el suelo entre al tejido de la planta (Muhammad, Shah y Khan 2011, 618).

La disminución de la productividad de producción agrícola se debe a la condición de la tierra, que no tiene un suelo fértil adecuado para que crezcan las plantas. La degradación de la fertilidad del suelo tiene un efecto directo sobre la productividad de los cultivos. Luego sigue un círculo vicioso. Como la agricultura del sector degradado ya no puede generar tantos ingresos como los obtenidos de las minas de oro, los agricultores cambian de profesión (Muhammad, Shah y Khan 2011, 618). Así, cada vez más gente se va al sector minero, y el sector agrícola va perdiendo la fuerza que tenía en la economía local.

Muhammad, Shah, y Khan (2011, 618) advierten en su estudio en Indonesia que la concentración de Hg en el suelo en el área minera se clasifica como crítica ($Hg > 0,3$ ppm), al igual que en el tejido vegetal ($Hg > 0,03$ ppm). Recomiendan por lo tanto una regulación estratégica para proteger a las personas por exposición al mercurio, para mantener la actividad agrícola y para minimizar los daños y amenazas ambientales de la producción minera. Recomendaciones similares pueden hacerse para el caso ecuatoriano del cantón Ponce Enríquez.

En general, para un análisis de elementos mayores y traza de origen natural o antropogénico se empleará los detallados en la figura 4. Los elementos de interés son los catalogados como tóxicos, a los cuales se relacionan a riesgos potenciales en la salud, como por ejemplo Hg relacionado al síndrome de Minamata, As relacionado a Keratosis de la piel, etc. (Williams 2001, 82-6).

H																	He																												
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne																								
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar																								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg																																			
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr> <td>La</td> <td>Ce</td> <td>Pr</td> <td>Nd</td> <td>Pm</td> <td>Sm</td> <td>Eu</td> <td>Gd</td> <td>Tb</td> <td>Dy</td> <td>Ho</td> <td>Er</td> <td>Tm</td> <td>Yb</td> </tr> <tr> <td>Ac</td> <td>Th</td> <td>Pa</td> <td>U</td> <td>Np</td> <td>Pu</td> <td>Am</td> <td>Cm</td> <td>Bk</td> <td>Cf</td> <td>Es</td> <td>Fm</td> <td>Md</td> <td>No</td> </tr> </tbody> </table>																		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb																																
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No																																

Figura 4. Geoquímica y Salud: un resumen del papel de los elementos mayores y traza en la nutrición y en la inducción de desórdenes tóxicos.

Fuente: Imagen del libro Geoquímica y Ambiente (Williams 2001)

3. Uso de suelo en el cantón

El territorio de Ponce Enríquez está dividido en función de las Unidades Ambientales. Las Unidades Ambientales son sectores o territorios definidos y mapeados a partir de la interceptación de la morfología, los pisos bioclimáticos y la capacidad de acogida de la tierra. Estos análisis toman criterios ecológicos, productivos, funcionales, científico-culturales y paisajísticos (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). La zonificación del territorio se observa en la tabla 5.

Entre las unidades ambientales identificadas en el cantón Camilo Ponce Enríquez, las zonas agropecuarias de tierras bajas con pendientes y los bosques de tierras bajas con pendiente son las que mayor porcentaje tienen con 30,60 % y 25,40 % respectivamente. Este uso del suelo da a entender que la mayor concentración de actividades importantes en la localidad, al menos entendidas en función del área utilizada, son de carácter agropecuario (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015).

Existen áreas con un alto valor para motivos de conservación. Este es el caso de los bosques, el páramo y cuerpos de agua como se observan en la tabla 5 bajo las Unidades Ambientales que van de los números uno al siete. Este suelo tiene un gran valor científico

ecológico, funcional y cultural por su diversidad natural. Sin embargo, corre riesgo de ser intervenido por varias actividades antrópicas, lo cual haría que su valor ecológico decreciera. En el otro extremo, existen zonas como el bosque degradado en montano alto. Este tipo de terrenos se conforman por pequeños matorrales formados después de que los árboles en el bosque son talados para ser usados en actividades agrícolas o pecuarias (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015).

Tabla 5
Cantón Ponce Enríquez: Porcentaje de las unidades ambientales

Número de Unidad Ambiental	Unidad Ambiental	Porcentaje del territorio
UA1	Páramo	0,88
UA2	Cuerpo de agua	0,06
UA3	Bosque en montano alto indiferenciado	0,13
UA4	Bosque en montano bajo plano	0,11
UA5	Bosque en montano bajo con pendientes	4,90
UA6	Bosque en tierras bajas plano	6,01
UA7	Bosque en tierras bajas con pendiente	25,4
UA8	Bosque degradado en alto montano	0,00
UA9	Agropecuario en montano bajo P<25 %	5,3
UA10	Agropecuario en montano bajo P>25 %	4,22
UA11	Agropecuario en tierras bajas P<25 %	30,6
UA12	Agropecuario en tierras bajas P>25 %	5,35
UA13	Cultivos en montano alto P<25 %	0,01
UA14	Cultivos en montano alto P>25 %	0,00
UA15	Cultivos en tierras bajas P<25 %	3,34
UA16	Cultivos en tierras bajas P>25 %	0,03
UA17	Pastizales en montano bajo P<25 %	3,3
UA18	Pastizales en montano bajo P>25 %	3,54
UA19	Pastizales en tierras bajas P<25 %	4,85
UA20	Pastizales en tierras bajas P>25 %	1,38
UA21	Zona urbana	0,07
UA22	Suelo degradado	0,37

P = pendiente referente a la inclinación del terreno

Fuente y elaboración: EC GADCPE 2019, 119

El rango altitudinal del cantón va de los 20 a los 3680 msnm. Ponce Enríquez es un cantón, por lo tanto, con grandes pendientes, lo que repercute en la clasificación del suelo que se está analizando. Se estima que un 42 % del terreno tiene pendientes que van del 12 al 25 %, y otro 28 % del terreno tiene pendientes del 25 % al 50 %. Esto se traduce en una alta susceptibilidad a erosión y deslizamientos, amenazas que se deben tener en cuenta cuando se inicia una actividad o se construye infraestructura en este cantón (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). Las áreas boscosas se aprecian de un color verde oscuro en la figura 5. Se aprecia como las zonas dedicadas a actividades

agropecuarias (verde claro) se concentran mayoritariamente en la zona sur y central del cantón. Por su lado, las zonas urbanas no ocupan mucho territorio en Ponce Enríquez.

Las áreas concesionadas a actividades mineras se ubican en general en las regiones centro y sur del cantón, ocupando todas las cuencas del Río Tenguel y del Río Siete. Los puntos de extracción minera del cantón suman 119. De éstos, ya sea para oro o plata, uno es a cielo abierto y 118 son subterráneos (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). La distribución de los puntos de extracción se puede ver en la figura 5.

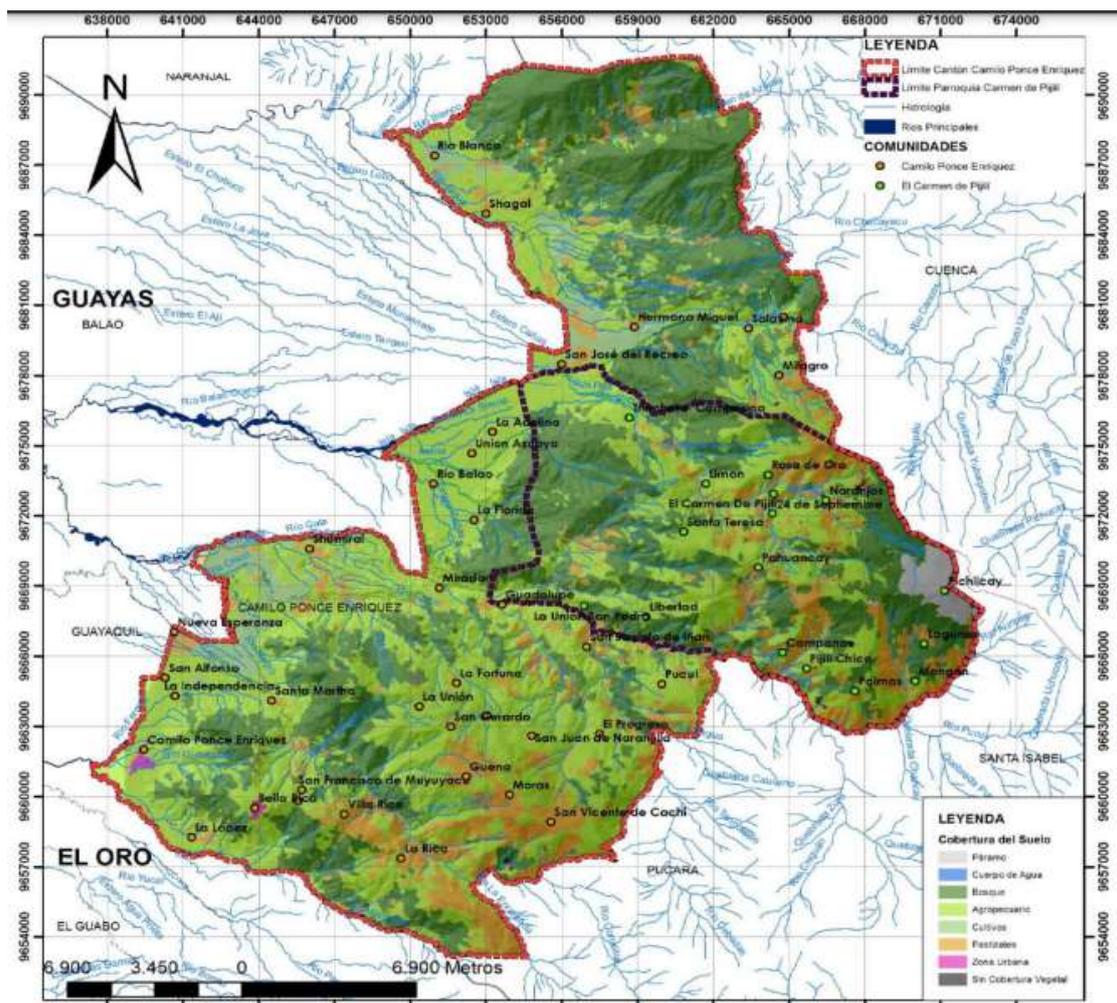


Figura 5. Cobertura del suelo en el cantón Ponce Enríquez
Fuente y elaboración: EC GADCPE 2019

La extracción se concentra en comunidades como Trinchera Campesina y Limón, en la parroquia Carmen de Pijilí. También se pueden observar zonas de extracción en las comunidades de La Unión, La Fortuna, La Independencia, San Gerardo, Bella Rica y cercanas a la Cabecera Cantonal y a la comunidad de Villa Rica (EC GAD del cantón Camilo Ponce Enríquez 2015). Al comparar las figuras 5 y 6 se nota que muchos de los

puntos de extracción minera se intersecan con las zonas boscosas o de actividad agropecuaria. Es ésta una llamada de atención para tomar medidas de prevención en cuanto a los cultivos y animales que se crían en estos territorios. Para el caso del presente estudio, el cacao puede verse afectado por actividades mineras cercanas a las plantas y será justamente eso de lo que la investigación pasará a ocuparse en capítulos posteriores.

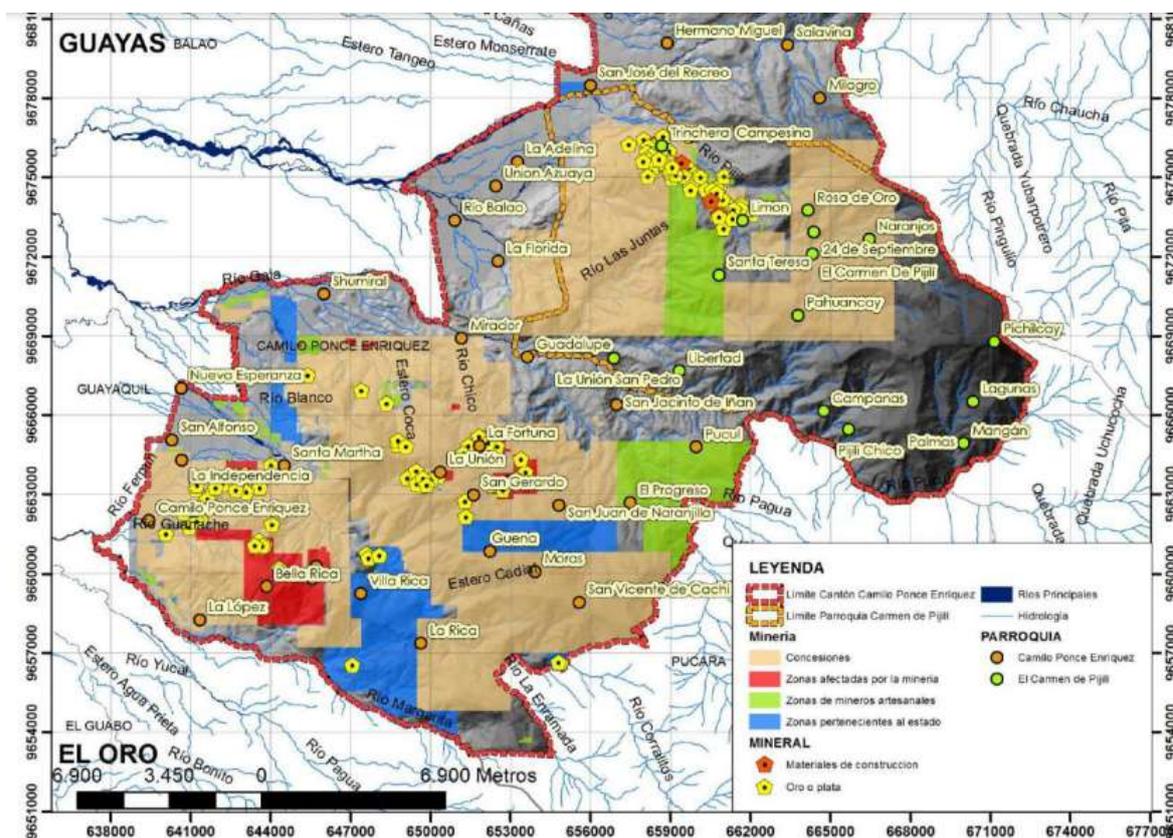


Figura 6. Mapa de las minas de oro y plata en el cantón Ponce Enríquez
Fuente y elaboración: EC GADCPE 2019

Capítulo tercero

Cuantificación de metales y su bioacumulación

1. Localización del muestreo

El presente análisis se realizó en la provincia del Azuay en el cantón Camilo Ponce Enríquez, esta zona está influenciada por la actividad minera generando interés por la sostenibilidad del cultivo de cacao.

Para el muestreo se utilizó el modelo exploratorio aleatorio simple, para lo cual se realizó un recorrido en la zona, identificando fincas con cultivos de cacao, se seleccionó 18 puntos de muestreo donde se encontró cacao productivo con diferentes condiciones productivas, como años del cultivo, hectáreas de producción y variedad genética. En la figura 7 se presenta los sitios identificados para el muestreo.

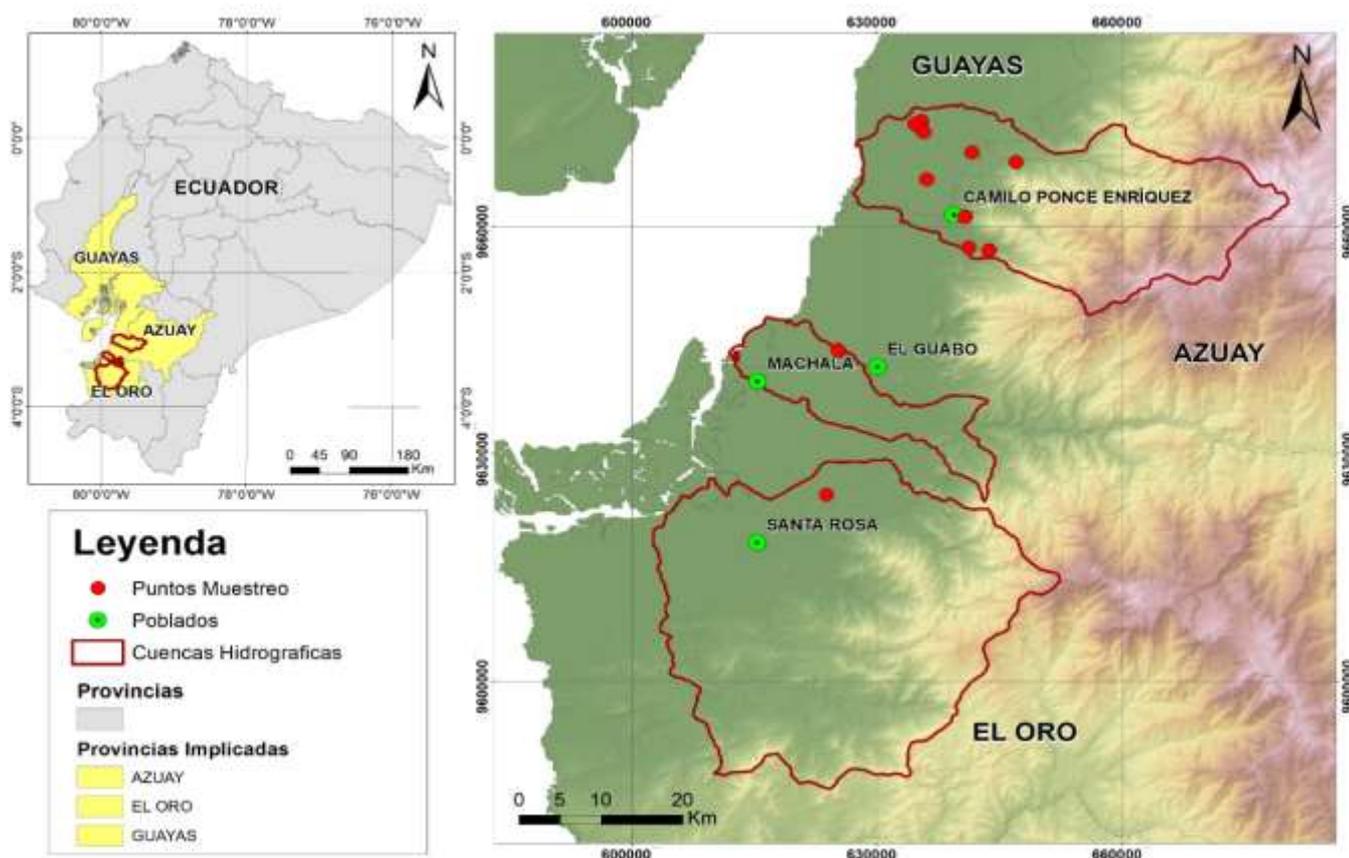


Figura 7. Macro localización de los puntos de muestreo
Elaboración propia

En la tabla 6 se observa las coordenadas de los sitios de muestreo con su codificación para el análisis.

Tabla 6
Coordenadas de muestreo

#	Codificación original	Código	Ubicación	
1	CACAO 001	M1	-2.95212	-79.78503
2	CACAO 003	M2	-2.95180	-79.78485
3	CACAO 004	M3	-2.94972	-79.78131
4	CACAO SAN GERARDO 320	SG1	-2.98575	-79.72583
5	GUANACHE 002	G1	-3.06317	-79.73301
6	PV 001	PV1	-3.39544	-79.88540
7	RECINTO ISRAEL 002	RI1	-3.01873	-79.77552
8	S2 001	S21	-3.10358	-79.70669
9	Rio Chico Cacao 373	RCH1	-2.99839	-79.67730
10	Cacao SR001	SR1	-2.95875	-79.78129
11	Cacao SR003	SR2	-2.96231	-79.77863
12	Recinto Israel cacao	RI2	-3.01873	-79.77548
13	Cacao Vainillo Antes Presa	RV1	-3.10032	-79.72880
14	Rio Margarita	RM1	-3.10417	-79.70702
15	Guanache Cacao	G2	-3.06375	-79.73403
16	Aso Rio 7	AR71	-2.95298	-79.78894
17	FA cacao	FA2	-3.22269	-79.87267
18	FAM 334	FA1	-3.22321	-79.87229

Al graficar los puntos de muestro se identificaron 3 cuencas que tendrían influencia en los cultivos de cacao en las áreas muestreadas. La cuenca del Río Gala que abarca 15 de las 18 muestras recolectadas, a esta cuenca se unen los Ríos Tenguel y Río Siete que son los principales afluentes afectados por la actividad minera como se observa en la figura 8.

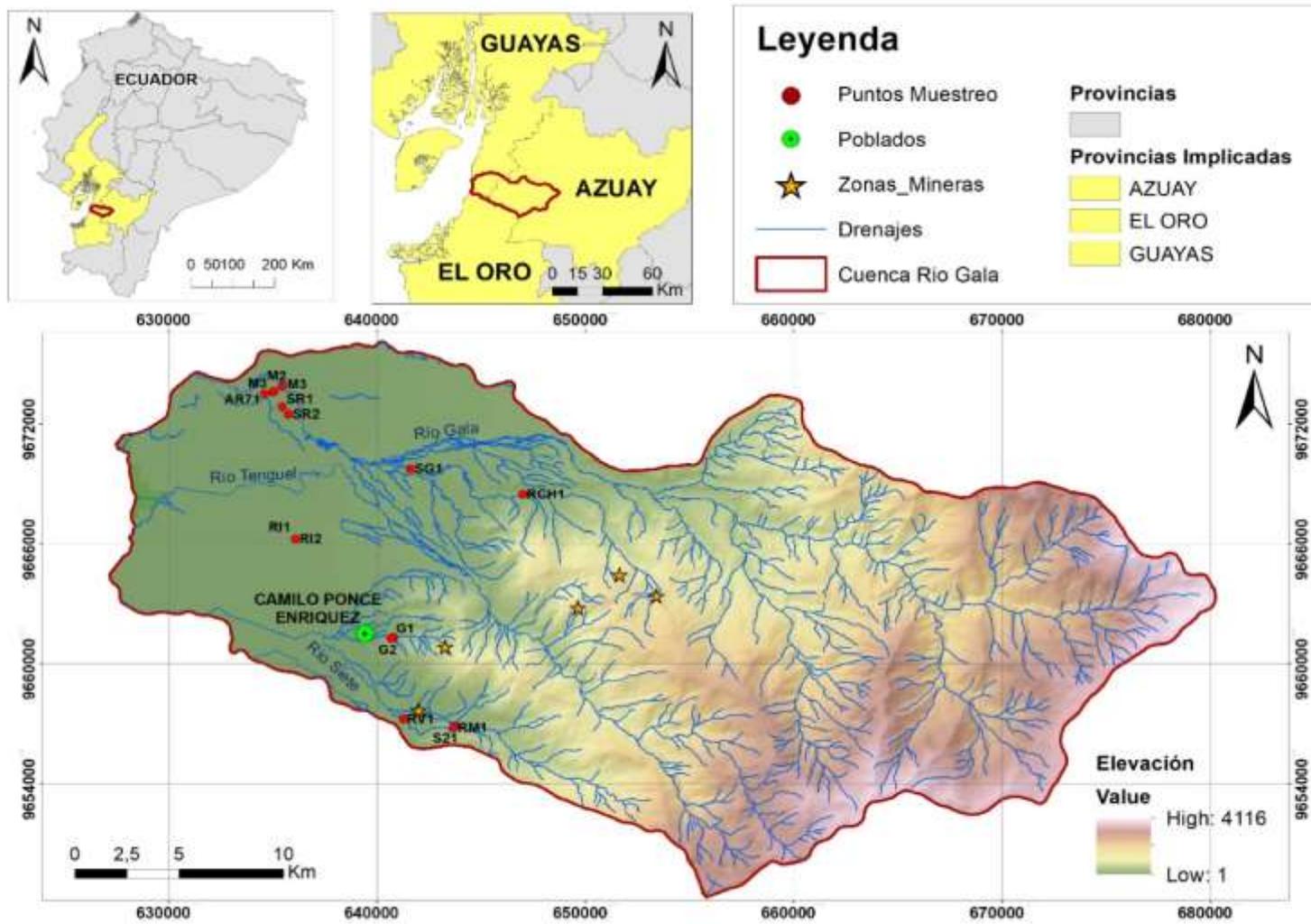


Figura 8. Puntos de muestreo en la cuenca del Rio Gala
Elaboración propia

En la figura 9 se observa el mapa de las 3 muestras que no tienen influencia directa de explotación minera que se realiza en el cantón Ponce Enríquez, estas muestras tienen influencia de las cuencas del río Jubones y del Río Santa Rosa, en esta zona prevalece la producción bananera y cacaotera. Esta distinción ayudara a evaluar cuál es la influencia en la movilidad de los metales dependiendo de la influencia antropogénica de la zona.

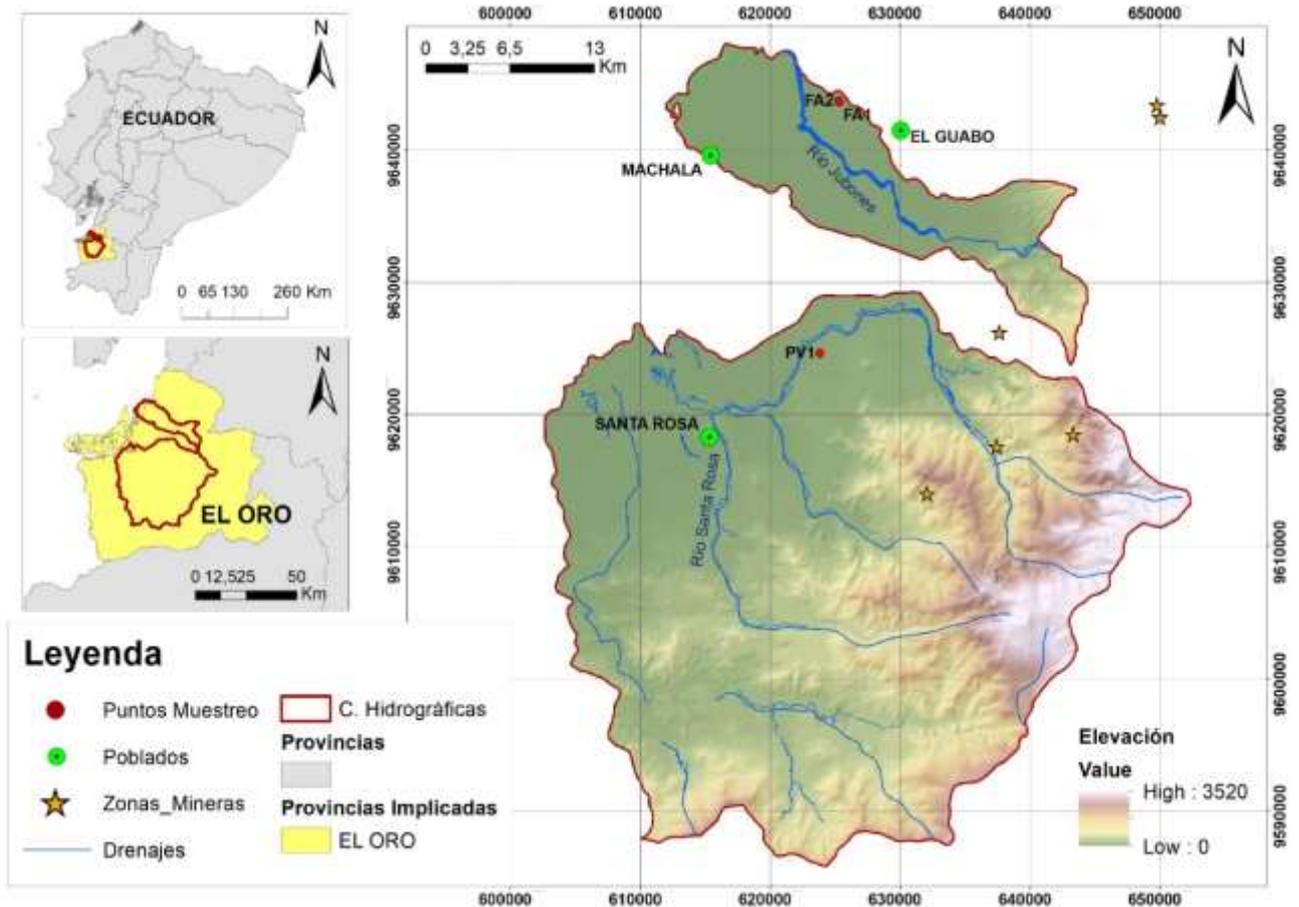


Figura 9. Puntos de muestreo en la cuenca del río Jubones y Santa Rosa
Elaboración propia

Una vez identificados los puntos de muestreo se procedió a tomar muestras de suelo a 20 cm y a 50 cm de profundidad para evaluar la influencia de la profundidad en la movilidad de los metales con un barreno, se almacenó en fundas tipo ziploc y se colocó en refrigeración (4°C), además se tomó muestras de hojas y de fruto como se indica en la figura 10. Las muestras obtenidas se trasladaron a los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito para su tratamiento y posterior cuantificación los metales, las muestras de mazorcas se separaron en tres submuestras: granos de cacao

(definidas como la pepa de cacao sin cascarilla), cascarilla y cáscara, se congeló a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ al igual que las muestras de hojas para su posterior liofilización.

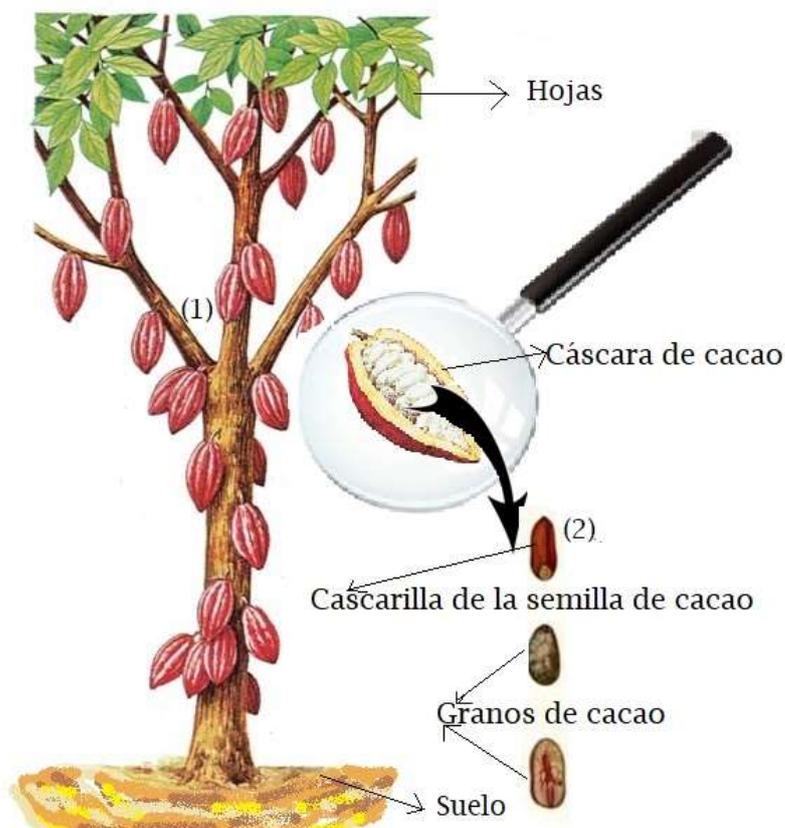


Figura 10. Elementos del muestreo del cultivo de cacao
Fuente: Adaptado de (1) Bedri.es (S.F.) y (2) INAH (s.f.)

2. Materiales y métodos

2.1. Cuantificación de metales

Según Moreno et al. (2018, 11), para medir la concentración de metales en muestras de sedimentos, primero se utiliza una digestión ácida con $\text{HCl}:\text{HNO}_3$, posterior se realiza la lectura utilizando espectrometría de absorción atómica por plasma inductivamente acoplado con vista axial (ICP-OES). Para López y Rodríguez (2018, 391), realizar la digestión con ácido nítrico provoca una mejor recuperación, además ayuda a obtener una menor variabilidad en los resultados. Para la cuantificación utiliza el método de espectroscopia de absorción atómica, el cual identifica concentraciones mínimas en unidades de ppb. Para Limbeck et al. (2015, 6594), la técnica de ICP-MS es una técnica que permite el análisis elemental e isotópico de sólidos con mayor robustez, rapidez,

además que cuantifica bajas concentraciones logrando cuantificar simultáneamente elementos mayores, menores y trazas.

Para cuantificar la concentración de los metales, primero se liofilizaron las muestras en un equipo marca LEYBOLD modelo ELEKTROVER.GT2, este proceso se realizó por 3 días durante los cuales se retiró el agua libre de las muestras. Una vez seca las muestras se procedió a triturar en un mortero, este fue de ágata porque ayuda a evitar la contaminación con el material ya que el ágata es un material inerte. El material triturado y homogenizado es utilizado para una posterior digestión ácida en un horno microondas marca MILESTONE modelo ETHOS UP utilizando 500 mg de muestra con 9 mL de ácido nítrico (65 % p/p, Fisher Chemical) y 1 mL peróxido, después se aforó 50 mL con agua tipo I y se almacenó en tubos Falcon®. Las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente (19 °C en promedio) por un tiempo de 4 semanas. Las muestras secas fueron pulverizadas y luego digeridas en el horno microondas marca MILESTONE modelo ETHOS UP. La digestión ácida se realizó mezclando 150 mg de muestra de suelo con 6 mL de HNO₃ (65 % p/p, Fisher Chemical) y 2 mL de ácido clorhídrico HCl (37 % p/p, Merck). El extracto resultante es aforado a 50 mL con agua tipo I. El extracto fue trasvasado a un tubo Falcon® y se almacenó bajo refrigeración a 4 °C hasta su lectura en un espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

La lectura por espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) fue realizada en un equipo modelo Agilent 8900 ICP-QQQ con un muestreador automático impulsado por jeringa Teledyne-CETAC MVX-7100, este análisis se realizó en la Universidad de UTAH Estados Unidos, en el Departamento de Geología y Geofísica.

2.2. Análisis de bioacumulación

Los resultados de la concentración de 48 metales obtenidos por ICP-MS para cada parte del cultivo (granos de cacao, cascarilla, cáscara, hojas, suelo a 20 cm y suelo a 50 cm), se graficaron con relación a cada punto de muestreo y se evaluó la concentración de cada metal en las hojas y granos de cacao con respecto a la presente en el suelo. Un aspecto para considerar es la concentración de los metales en los granos de cacao debido a que esta es consumida en sus diferentes subproductos.

2.3. Análisis de movilidad

La movida se analiza con el factor de transferencia (FT). Para calcula el FT se emplea la ecuación 3, que es el resultado de dividir la concentración del metal en los granos de cacao u hojas y la concentración obtenida en la muestra de suelo. Para el análisis se emplea el criterio que si este factor es mayor a 1 significa que el metal tiene la capacidad de movilizarse desde el suelo a la parte aérea de la planta analizada (Mesa-Pérez et al. 2018, 4).

$$FT = \frac{C_{planta} \text{ mg/kg}}{C_{suelo} \text{ mg/kg}} \quad [3]$$

Donde:

C_{planta} = Concentración del metal en las diferentes partes de la planta

C_{suelo} = Concentración del metal en el suelo

2.4. Análisis de riesgo

Se realizó el análisis para estimar el riesgo para la salud humana en la zona del cantón Ponce Enríquez, para lo cual primero se calculó el índice de ingesta diaria crónica (CDI) utilizando la ecuación (1) (Muhammad, Shah y Khan 2011, 336).

$$CDI = C (\mu g/L) * \frac{DI \left(\frac{L}{día} \right)}{BW (kg)} \quad [1]$$

Donde:

C = Concentración del metal de interés,

DI = Ingesta diaria promedio

BW = Peso corporal promedio

Para el cálculo de la ingesta diaria crónica (CDI); se utiliza el peso corporal promedio reportado por (Onyele y Anyanwu 2018, 17) para adultos es 70 Kg y para niños 15 Kg. Para el caso de la ingesta diaria promedio se utilizó para adultos 2 L/día y para niños 1 L/día.

Con la ecuación (2), se calcula la razón de riesgo HQ, donde RfD representa la dosis de referencia de toxicidad de un elemento. Al calcular el valor de HQ, si este valor es menor a 1, la población esta sana y segura con relación a los metales Cd, Pb, Cr y Fe. (Muhammad, Shah y Khan 2011, 336).

$$HQ = \frac{CDI \frac{\mu g}{kg - día}}{RfD(mg/(kg - día))} \quad [2]$$

Donde:

CDI= Ingesta diaria crónica

RfD = Dosis de referencia de toxicidad de un elemento

2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), en el cual se introdujo los datos de la concentración de 48 metales para cada muestra (suelo a 20 cm, suelo a 50 cm, hojas, cascara, cascarilla y granos de cacao). Se hizo un análisis de las medias para evaluar si hay diferencia significativa entre las muestras de suelos. También se realizó correlaciones para observar cómo se mueven los metales por el cultivo. Además, se utilizó para los datos reportados en las encuestas sobre la salud del cultivo y obtuvo la correlación para analizar la influencia entre los parámetros evaluados.

3. Límites recomendados de metales tóxicos en alimentos (cacao) y su efecto en la salud

Para el evaluar los posibles efectos en la salud relacionados al contenido de metales tóxicos presentes en el cacao, se analizó la concentración de los metales en el suelo debido a que estos metales pueden ser absorbidos con el tiempo por el cultivo; además, de la concentración en los granos de cacao, las cuales después de su proceso son consumidas.

Según la US EPA(1996), los metales inorgánicos que tiene regulación en el contenido normal de metales tóxicos para el suelo son berilio (Be), vanadio (V), selenio

(Se), cromo (Cr), arsénico (As), cadmio (Cd), antimonio (Sb), níquel (Ni), bario (Ba), talio (Tl) y plomo (Pb); y el metal orgánico regulado es el mercurio (Hg).

Se analizó la concentración de los metales para dos diferentes profundidades del suelo (20 y 50 cm). Primero se realizó una prueba ANOVA utilizando un nivel de significación de 0,05 con las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0) = la concentración de metales a 20 cm es diferente a la concentración a 50 cm.

Hipótesis alternativa (H_1) = la concentración de metales a 20 cm es igual a la concentración a 50 cm.

Los valores del análisis se presentan en la tabla 7. Se observó que el nivel de significancia para 10 de 12 los metales analizados son mayor a 0,05 por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. Posterior a este análisis, se realizó un análisis de correlación entre los metales de interés.

Tabla 7
Análisis ANOVA para metales analizados

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Be	Entre grupos	0,000	1	0,000	0,000	0,988
	Dentro de grupos	0,000	33	0,000		
V	Entre grupos	0,034	1	0,034	0,680	0,416
	Dentro de grupos	1,629	33	0,049		
Cr	Entre grupos	0,014	1	0,014	0,270	0,607
	Dentro de grupos	1,676	33	0,051		
Ni	Entre grupos	0,000	1	0,000	0,002	0,968
	Dentro de grupos	2,824	33	0,086		
Zn	Entre grupos	1,058	1	1,058	1,132	0,295
	Dentro de grupos	30,845	33	0,935		
	Total	31,904	34			
As	Entre grupos	0,134	1	0,134	1,279	0,266
	Dentro de grupos	3,463	33	0,105		
Se	Entre grupos	0,000	1	0,000	4,966	0,033
	Dentro de grupos	0,000	33	0,000		
	Dentro de grupos	0,001	33	0,000		
Sb	Entre grupos	0,000	1	0,000	0,522	0,475
	Dentro de grupos	0,003	33	0,000		
Ba	Entre grupos	0,010	1	0,010	0,232	0,633
	Dentro de grupos	1,484	33	0,045		
Pb	Entre grupos	0,024	1	0,024	0,634	0,432
	Dentro de grupos	1,270	33	0,038		
Hg	Entre grupos	0,000	1	0,000	21,646	0,000
	Dentro de grupos	0,000	29	0,000		

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las dos profundidades como se indica en la tabla 8 y se obtuvo que no tiene una relación entre las variables debido a que el nivel de significancia es mayor a 0,05 con excepción en algunos casos del Cs, Cr y Pb por lo que para el análisis se hará para cada profundidad muestreada.

Tabla 8
Correlación de Pearson para muestras de suelo

	Be	V	Cr	Ni	Zn	As	Se	Cd	Sb	Ba	Pb	Hg
Be	1	0,004 0,983	0,047 0,788	0,075 0,670	0,310 0,070	-0,189 0,278	0,212 0,221	0,303 0,076	0,331 0,052	0,315 0,065	0,353* 0,038	-0,052 0,779
V	0,004 0,983	1	0,618** 0,000	0,191 0,271	-0,225 0,193	0,215 0,214	0,471** 0,004	-0,232 0,181	0,154 0,377	-0,282 0,101	-0,229 0,186	-0,121 0,515
Cr	0,047 0,788	0,618** 0,000	1	0,818** 0,000	-0,098 0,577	0,023 0,893	0,368* 0,030	-0,072 0,683	0,364* 0,032	-0,192 0,269	-0,080 0,648	-0,122 0,512
Ni	0,075 0,670	0,191 0,271	0,818** 0,000	1	-0,078 0,656	-0,089 0,613	0,083 0,634	-0,099 0,573	0,452** 0,006	-0,003 0,988	-0,107 0,539	-0,257 0,163
Zn	0,310 0,070	-0,225 0,193	-0,098 0,577	-0,078 0,656	1	0,041 0,815	-0,202 0,245	0,944** 0,000	-0,013 0,939	0,140 0,424	0,949** 0,000	0,143 0,444
As	-0,189 0,278	0,215 0,214	0,023 0,893	-0,089 0,613	0,041 0,815	1	0,061 0,726	0,066 0,707	0,272 0,114	-0,271 0,115	0,072 0,682	0,087 0,640
Se	0,212 0,221	0,471** 0,004	0,368* 0,030	0,083 0,634	-0,202 0,245	0,061 0,726	1	-0,103 0,556	0,101 0,564	0,117 0,505	-0,098 0,575	-0,242 0,189
Cd	0,303 0,076	-0,232 0,181	-0,072 0,683	-0,099 0,573	0,944** 0,000	0,066 0,707	-0,103 0,556	1	-0,078 0,658	0,177 0,309	0,989** 0,000	0,156 0,402
Sb	0,331 0,052	0,154 0,377	0,364* 0,032	0,452** 0,006	-0,013 0,939	0,272 0,114	0,101 0,564	-0,078 0,658	1	-0,114 0,513	-0,018 0,918	-0,222 0,231
Ba	0,315 0,065	-0,282 0,101	-0,192 0,269	-0,003 0,988	0,140 0,424	-0,271 0,115	0,117 0,505	0,177 0,309	-0,114 0,513	1	0,150 0,388	-0,246 0,181
Pb	0,353* 0,038	-0,229 0,186	-0,080 0,648	-0,107 0,539	0,949** 0,000	0,072 0,682	-0,098 0,575	0,989** 0,000	-0,018 0,918	0,150 0,388	1	0,189 0,308
Hg	-0,052 0,779	-0,121 0,515	-0,122 0,512	-0,257 0,163	0,143 0,444	0,087 0,640	-0,242 0,189	0,156 0,402	-0,222 0,231	-0,246 0,181	0,189 0,308	1

La Figura 11 presenta un diagrama de caja para las muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad, se observan datos atípicos leves para el V, Ni, As y Ba y datos atípicos extremos para el Ni, As, Ba y Pb. Los metales que presentan mayor dispersión son V, Cr y Zn ya que se observa que la caja tiene mayor longitud. Para las muestras de suelos de 20 a 50 cm de profundidad, se observa datos atípicos leves para el Cr, Ni y Zn y datos atípicos extremos para el Cr, Ni, Zn y Pb. Estos valores atípicos no se excluyen del análisis debido a que en la zona de muestreo se tienen factores naturales y antropogénicos que podrían ocasionarlos.

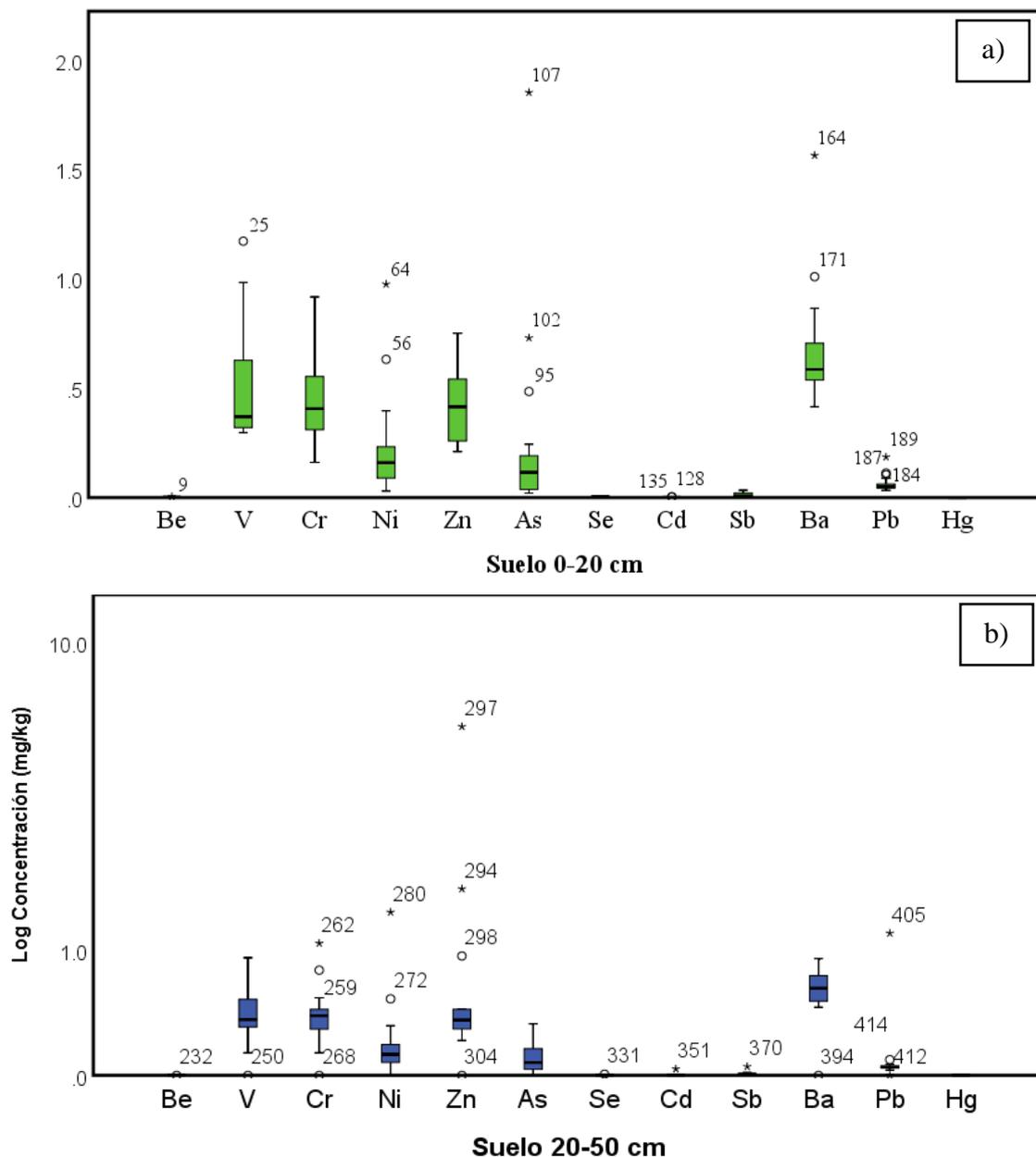


Figura 11. a) Contenido de metales (mg/kg) en suelos entre 0 y 20 cm de profundidad. b) Contenido de metales (mg/kg) en suelos entre 20 y 50 cm de profundidad. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

En la tabla 9, se observan los valores de los metales tóxicos de interés para las dos profundidades de 0-20 cm y 20-50 cm, además, el límite de la concentración donde los metales pueden presentar problemas de toxicidad. Se observa que de los metales evaluados ninguno presenta concentraciones superiores a las establecidas que puede generar problemas de toxicidad. La concentración media de los metales para muestras de profundidad de 0-20 cm sigue la siguiente secuencia Ba>V>Cr>Zn>As>Ni>Pb>Sb>Se>Cd>Be>Hg. Se observa que la concentración del Hg es la más baja tanto el valor medio, máximo y mínimo. Para el caso de las muestras de suelos con profundidad de 20-50 cm se tiene: Zn>Ba>V>Cr>Ni>As>Pb>Sb>Cd>Be>Se>Hg, observando que el Hg es el elemento de menor concentración para esta profundidad.

Tabla 9
Contenido de metales en dos profundidades de suelos en la zona de estudio

Metal	Profundidad 0-20 cm				Profundidad 20-50 cm				EPA (1996)
	Media	Desv. Stand	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Stand	Mínimo	Máximo	Contenido normal
Be	0,002 ± 0,001	0,001	0,001	0,005	0,002 ± 0,000	0,001	0,001	0,003	0,1
V	0,493 ± 0,253	0,296	1,171	0,431 ± 0,184	0,133	0,919	550		
Cr	0,460 ± 0,226	0,161	0,916	0,420 ± 0,225	0,133	1,079	390		
Ni	0,228 ± 0,238	0,030	0,975	0,232 ± 0,341	0,032	1,470	1.600		
Zn	0,438 ± 0,188	0,210	0,751	0,786 ± 1,375	0,213	5,911	23.000		
As	0,249 ± 0,439	0,020	1,851	0,125 ± 0,107	0,019	0,331	0,4		
Se	0,003 ± 0,003	0,000	0,008	0,001 ± 0,002	0,000	0,006	390		
Cd	0,002 ± 0,001	0,001	0,004	0,003 ± 0,008	0,000	0,036	78		
Sb	0,012 ± 0,009	0,002	0,034	0,009 ± 0,011	0,001	0,049	31		
Ba	0,688 ± 0,263	0,415	1,564	0,654 ± 0,139	0,458	0,911	5.500		
Pb	0,064 ± 0,037	0,033	0,185	0,117 ± 0,279	0,029	1,199	400		
Hg	0,000 ± 0,000	0,000	0,000	0,000 ± 0,000	0,000	0,001	23		

Unidades: mg/kg

En la figura 12 se compara la concentración de los metales de interés a diferentes profundidades, observando que existe mayor dispersión de concentraciones entre 20 y 50 cm para el Zn, Cd y Pb, en estos casos se presentan menor concentración para una profundidad de 0 a 20 cm, esto debido a las raíces finas que se encargan de la absorción de nutrientes se encuentran en este rango del suelo y la mayor actividad microbiana se realiza en esta profundidad (Pascual et al. 2017, 41). Del análisis de la varianza se observa que no presenta diferencia estadística excepto para el Zn.

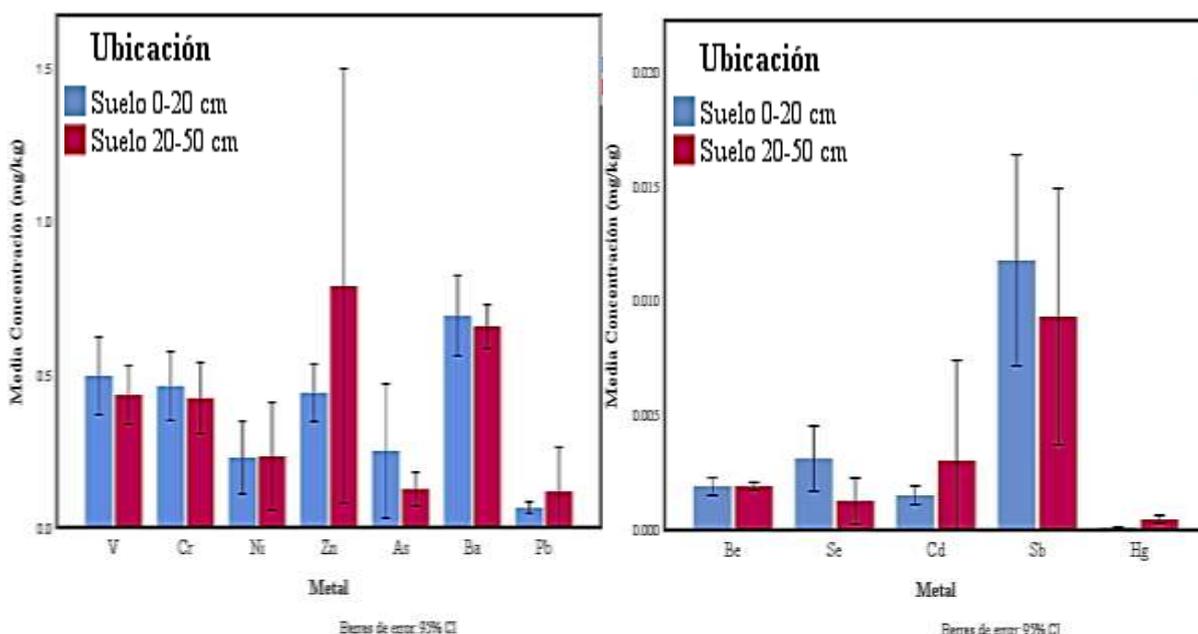


Figura 12. Barras agrupadas Media de Concentración (mg/kg) por Metal por Ubicación

Para el análisis del efecto en la salud de los metales tóxicos presentes en los granos de cacao de cacao se utiliza a los metales As, Cd, Pb, Hg y Sn que están regulados según la FAO para alimentos.

En la tabla 10 se observa los valores de la correlación de Pearson de los metales regulados para alimentos presentes en los granos de cacao, esta correlación fue significativa entre el Hg y Sn. Para el caso del Hg se debe controlar su concentración ya que se reporta intoxicación y daños neurológicos en adultos con la exposición prolongada a vapores, más aún si este se consume, se acumula en el organismo generando problemas severos en la salud (Londoño, Londoño, y Muñoz 2016, 150).

Tabla 10
Correlación de Pearson para las muestras de granos de cacao

	As	Cd	Pb	Hg	Sn
As	1	-0,123	0,382	0,286	0,021
Cd	-0,123	1	0,214	0,163	0,441
Pb	0,382	0,214	1	0,409	0,242
Hg	0,286	0,163	0,409	1	0,556*
Sn	0,021	0,441	0,242	0,556*	1
	0,626	0,626	0,394	0,519	0,067
	0,118	0,394	0,092	0,092	0,333
	0,251	0,519	0,092	0,017	
	0,934	0,067	0,333	0,017	

*La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

En la tabla 11 se observa la concentración media de las muestras de granos de cacao que fueron comparada con la referencia toxicológica del CODEX encontrando que el Cd y el Pb sobrepasan este límite. Para el caso del Cd el valor medio fue de $0,0101 \pm 0,0076$ mg/kg y la referencia toxicológica citada por el CODEX es 0,007 mg/kg, sin embargo, según la Unión Europea valores superiores a 0,8 mg/kg son permitidos en subproductos de cacao contrarrestando a los permitidos por el CODEX. Para el caso del Pb el valor medio fue $0,0036 \pm 0,0034$ mg/kg y el valor establecido como referencia toxicológica para alimentos por el CODEX es 0,025 mg/kg sin embargo está bajo al nivel permitido por la Unión Europea que es de 1 mg/kg.

Tabla 11
Contenido de metales muestras de granos de cacao

Metal	Media	Desv. Stand	Mínimo	Máximo	Referencia toxicológica *
As	0,0038 ± 0,0032		0,0005	0,0127	0,015
Cd	0,0101 ± 0,0076		0,0022	0,0247	0,007
Pb	0,0036 ± 0,0034		0,0000	0,0142	0,025
Hg	0,0001 ± 0,0000		0,0000	0,0002	0,005
Sn	0,0001 ± 0,0000		0,0001	0,0002	14

(*) CODEX STAN 193-1995 “Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos”

4. Análisis de bioacumulación

Para la interpretación se dividió en cuatro intervalos de concentración para comprender gráficamente como se distribuye los metales en el cultivo.

En la figura 13 se presentan a los metales con concentración en un rango de 0 a 4,5E-05 ppm, para las muestras de suelos y hojas no se reportan debido a que la media está bajo el nivel de detección del equipo. Se observa que metales como Dy, Sm, Yb y Eu presentan mayor concentración en la cáscara y granos de cacao; metales como U se observa que se concentran en la cáscara, sin embargo, que tienen este rango de concentración no están regulados para cultivos de cacao.

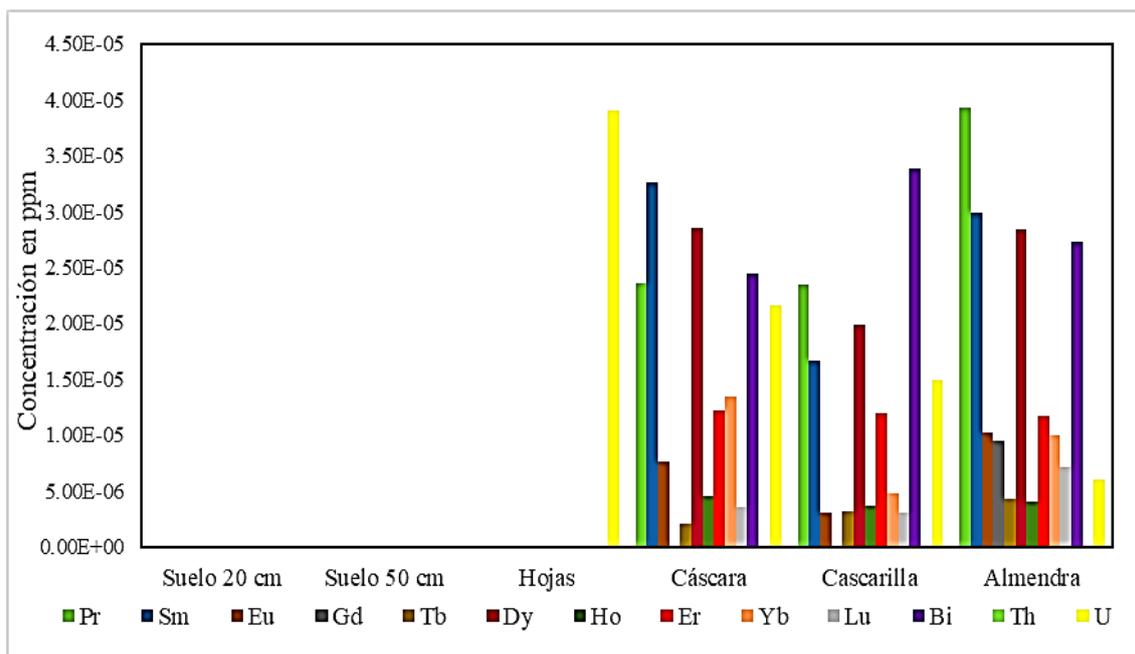


Figura 13. Concentración de metales en el sistema de producción (0-4,5E-05 ppm)

En la figura 14 se presentan a los metales que tienen una concentración media hasta 0,018 ppm, observando que metales como Hg, Cd, Se y Mo absorben en mayor cantidad en la granos de cacao generando interés para su control. Se debe monitoriar las concentraciones del suelo y las condiciones externas (fuente de agua, sólidos suspendidos en el aire) para conocer sobre el origen de aumento de la concentración de estos metales en las granos de cacao en comparación al suelo.

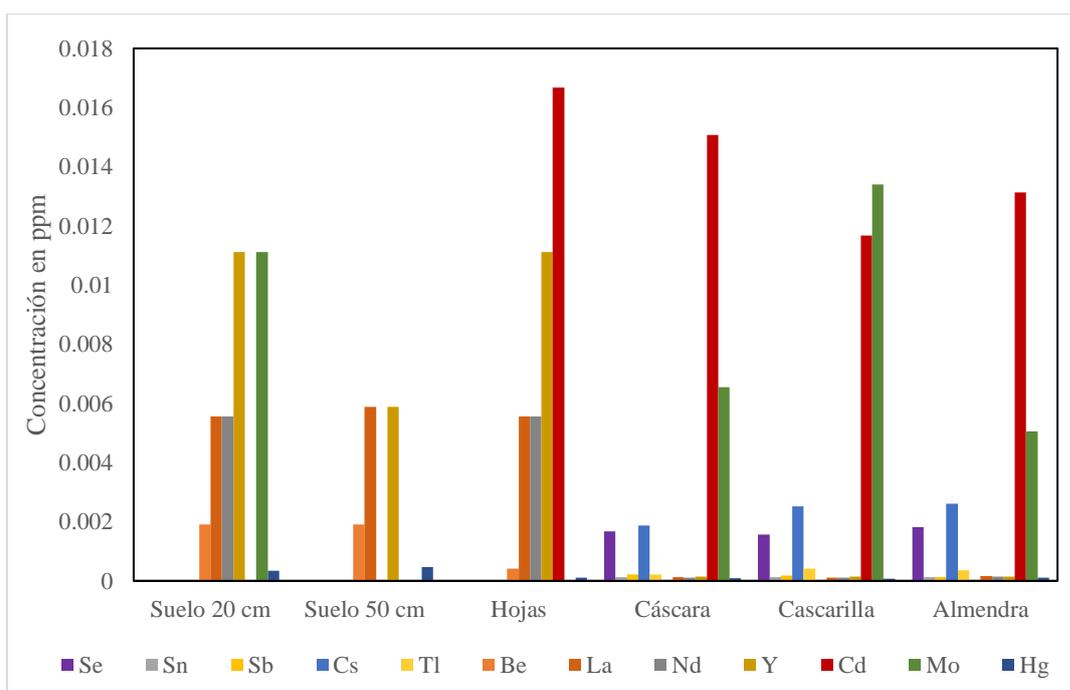


Figura 14. Concentración de metales en el sistema de producción (< 0,018 ppm)

En la figura 15 se presenta metales con concentraciones desde 0 hasta 0,6 ppm, se observa que el Cu mantiene valores de concentración en todo el sistema del cultivo, aunque su concentración no es alta se debe monitoriar frecuentemente debido que al presentar altas concentraciones en las almedras puede ser causante de diferentes alteraciones tales como: disminución en la tasa de crecimiento, anemia hipocrómica, diarreas, etc. (Londoño, Londoño, y Muñoz 2016, 150); metales como Li, Sc, Cr, Ni, Co, Ce y Pb presentan una tendencia a no absorber estos metales por las granos de cacao, debido a que su concentración media en el suelo es mayor a la presente a las granos de cacao.

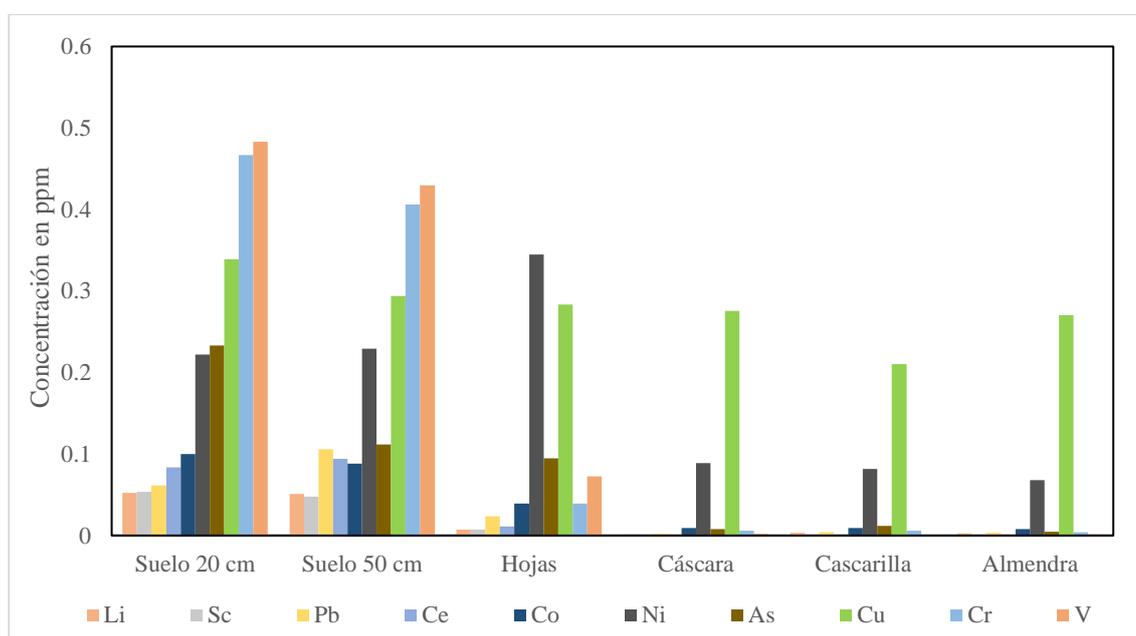


Figura 15. Concentración de metales en el sistema de producción (0,018 - 0,6 ppm)

En la figura 16 se presentan metales que tienen una media de concentración hasta 450 ppm, se observa que el K es uno de los metales que se encuentra en mayor cantidad en el cultivo, metales como Ca, Mg y Na su mayor concentración se presentan en las hojas.

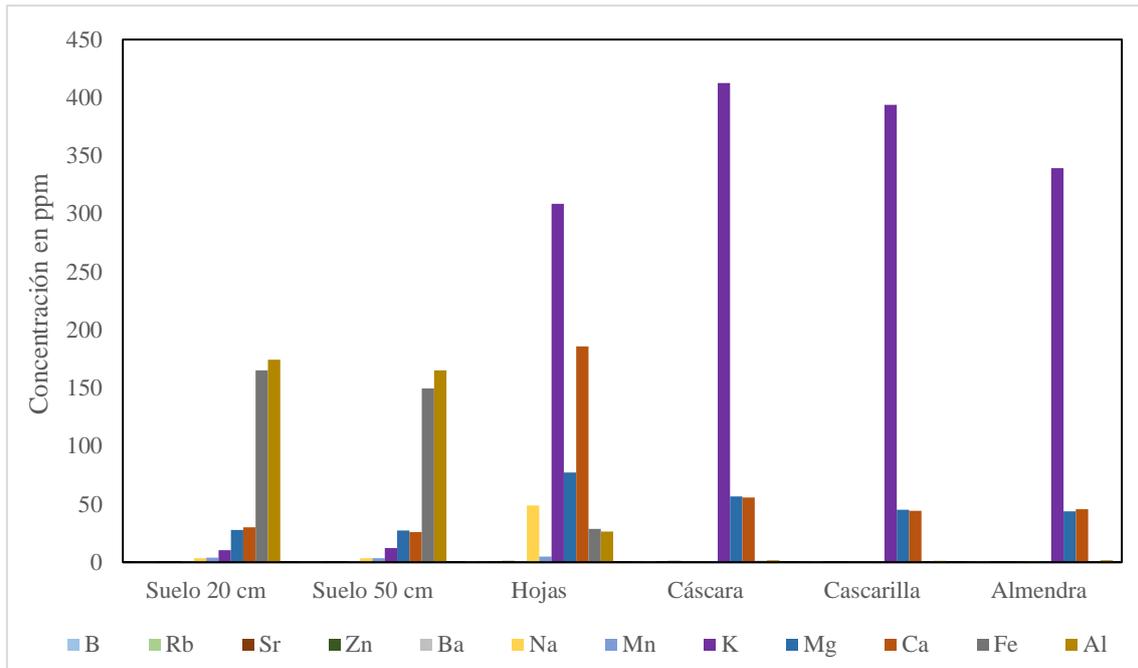


Figura 16. Concentración de metales en el sistema de producción (0,6 - 450 ppm)

La concentración de estos metales en las hojas del cultivo se debe considerar para el análisis de la sostenibilidad del cacao, debido que dentro de las labores agrícolas se practica la poda, este material vegetal que resulta de la poda es depositado en el mismo cultivo provocando que la cantidad de metales extraídos del suelo regresen al descomponerse.

5. Análisis de movilidad

Otro análisis propuesto para analizar la movilidad de los metales dentro de la planta es calcular el factor de transferencia (FT). En la figura 17, se presenta el factor de transferencia entre los granos de cacao y el suelo observando que los metales que presentan esta capacidad de movilidad son Rb, Cd, Ca, Mg, Sr, Zn y Cu.

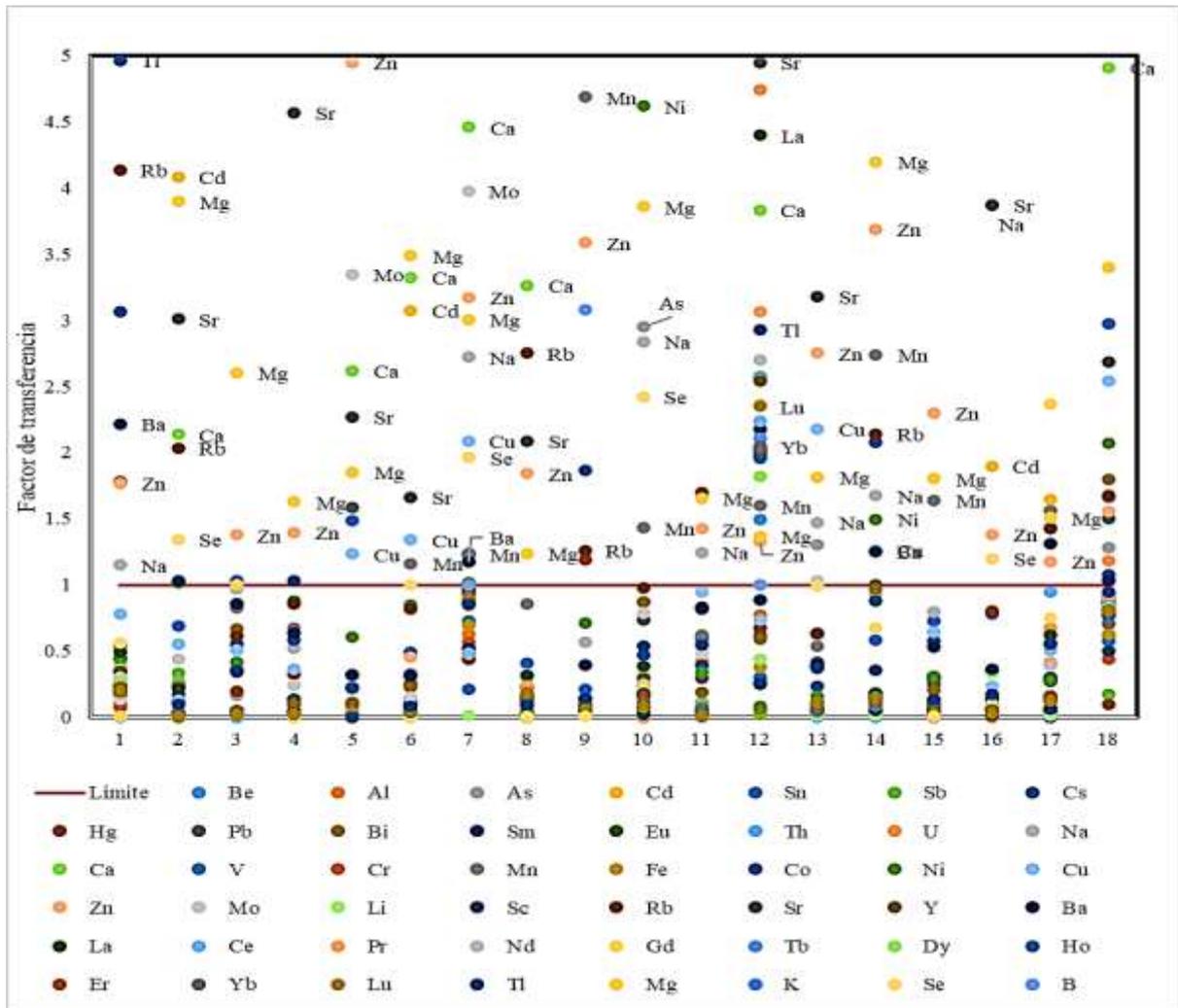


Figura 18. Factor de transferencia para hojas-suelo

También se realizó un análisis de movilidad diferenciando según la cuenca hídrica de influencia. En la tabla 12 se observa el promedio del factor de movilidad calculado entre hojas y suelo a 20 y 50 cm, además del factor para granos de cacao y suelo para cada profundidad para los metales Hg, Cd, As, Cu, Pb y Zn identificados como contaminantes generados de la actividad minera y que se clasifican como potencialmente tóxicos.

Para el caso del As, Hg y Pb se observa que su factor de movilidad es menor a 1 para todos los casos con excepción del análisis de suelo a 20 cm y los granos de cacao en muestras recolectadas en la cuenca del río Jubones y Santa Rosa. Estos metales al tener un mismo comportamiento en toda el área muestreada se le atribuye su aparición al tipo de suelo, es decir, su origen es natural. Se considera origen natural cuando el contenido de metales está relacionado con la composición de varios minerales presentes en el suelo.

El factor de transferencia para el Cd y Zn se comportan de manera similar, ya que en todos los casos analizados el valor de FT es superior a 1. Se observa un valor de FT superior para las muestras situadas en la cuenca del río Gala. Esto se debe a que cuando el oro se extrae con sulfuros de zinc, el Cd aparece y se disuelve en cianuro al igual que el zinc convirtiéndose en complemento. De hecho, el Cd reemplaza al Zn en los organismos, causando problemas por deficiencia de Zn (Huancaré 2014, 30).

Para el caso del Cu, se observa que su FT es mayor a 1 para las muestras obtenidas en la cuenca del río Jubones y Santa Rosa, esto se atribuye a las actividades antropogénicas desarrolladas en la zona. El banano, es uno de los principales cultivos que presenta problemas de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), este hongo ataca al cultivo y afecta su producción por lo que su control es fundamental dentro de la plantación. Para controlar este hongo se utiliza desde tiempos antiguos soluciones a base de cobre provocando una amenaza por su poder de movilidad en la planta y su toxicidad al acumularse.

Tabla 12.

Factor de transferencia para muestras de hojas y granos de cacao						
Promedio	As	Cd	Hg	Pb	Cu	Zn
FT S20-H¹	0,970	14,916*	0,401	0,620	0,820	3,218*
FTS20-H²	0,498	21,203*	0,511	0,557	1,427*	1,865*
FT S50-H¹	1,505*	20,062*	0,259	0,791	0,884	3,071*
FT S50-H²	0,435	6,838*	0,164	0,303	1,383*	1,125*
FT S20-A¹	0,032	9,476*	0,474	0,060	0,985	2,319*
FT S20-A²	2,301*	2,733*	1,152*	1,344*	1,980*	1,130*
FT S50-A¹	0,040	10,228*	0,515	0,071	1,046*	2,466*
FT S50-A²	0,125	4,650*	0,317	0,049	2,474*	0,805

¹Muestras de la cuenca del Río Gala

²Muestras de la cuenca del Río Jubones y Santa Rosa

*Muestras con FT >1, con capacidad de movilidad del suelo a la planta

H: hojas

A: granos de cacao

S20: suelo a 20 cm

S50: suelo a 50 cm

Para el análisis de correlación se utilizarán los metales Zn, Rb, Se, Cd, Cs y Hg que presentan acumulación en los granos de cacao según la figura 17 y que están clasificados como tóxicos y peligrosos en exceso según la figura 4. Se realiza el análisis de correlación de Pearson en SPSS y se consigue que exista una correlación baja para todos los metales como se presenta en la tabla 13.

Tabla 13
Correlación de Pearson para muestras de granos de cacao

	Zn	Rb	Se	Cd	Cs	Hg
Zn	1	0,177 0,077	0,067 0,503	0,247* 0,013	0,009 0,926	-0,099 0,324
Rb	0,177 0,077	1	0,103 0,307	0,213* 0,033	0,506** 0,000	-0,269** 0,007
Se	0,067 0,503	0,103 0,307	1	0,025 0,801	-0,001 0,992	-0,140 0,162
Cd	0,247* 0,013	0,213* 0,033	0,025 0,801	1	0,116 0,247	-0,146 0,144
Cs	0,009 0,926	0,506** 0,000	-0,001 0,992	0,116 0,247	1	-0,222* 0,026
Hg	-0,099 0,324	-0,269** 0,007	-0,140 0,162	-0,146 0,144	-0,222* 0,026	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral)
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Debido a esta baja correlación se realiza un análisis individual por cada metal. Primero, se revisó la regulación de los límites máximos permitidos de concentración de los metales según la FAO para material vegetal. De los cuales se obtienen normativa para Cd, Pb, Ni, Fe, Cu y Zn y contrastando con el análisis previo de acumulación se evalúa a Cd y Zn.

En figura 19 se observa el caso del Cd donde la concentración en el sistema del cultivo está bajo el nivel permitido para este metal que es de 0,2 mg/kg (Mensah et al. 2009, 13). Se observa que la concentración en los granos de cacao es mayor que en los suelos al igual que en el caso de las hojas concluyendo que está siendo bioacumulada durante su ciclo productivo en estas partes de la planta.

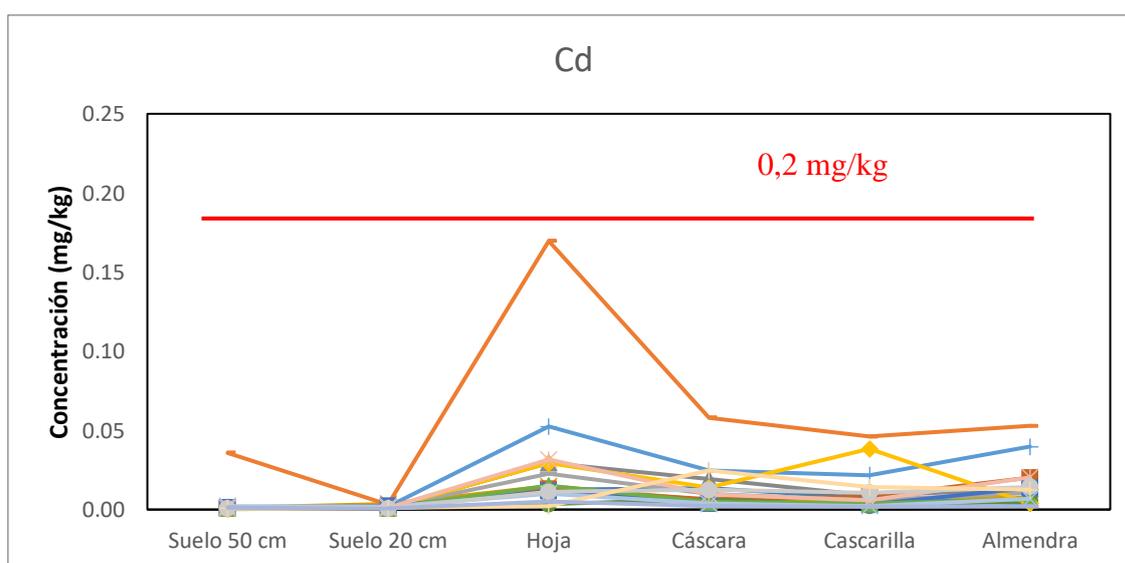


Figura 19. Concentración de Cd en las muestras analizadas

Se analizó la concentración de Cd en las hojas en comparación con la concentración en los granos de cacao obteniendo una ecuación lineal con un coeficiente de correlación de 0,7943 como se observa en la figura 20.

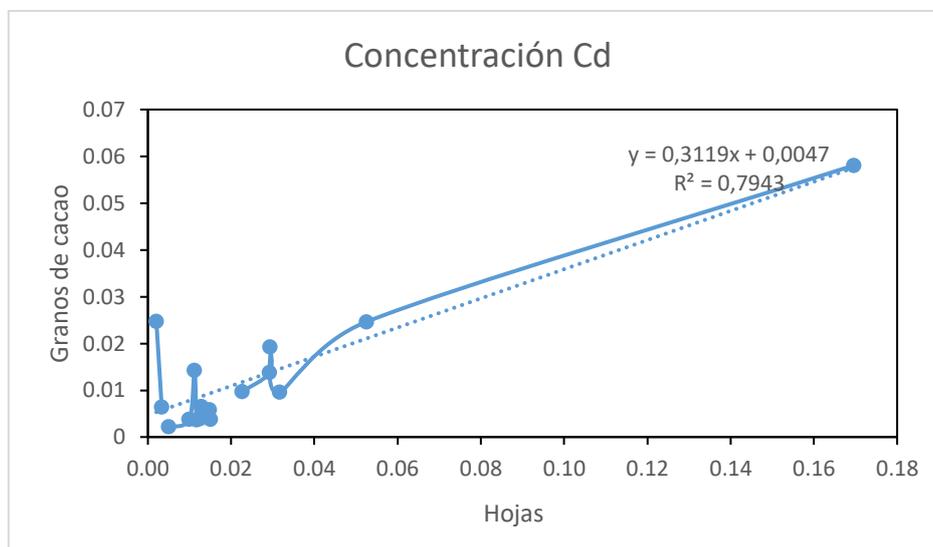


Figura 20. Regresión lineal de la concentración de Cd entre hojas y granos de cacao

En figura 21 se observa que la concentración de Zn en el sistema del cultivo está bajo el nivel permitido para este metal y es de 99,4 mg/kg (Mensah et al. 2009, 13). Se observa que para algunos casos la concentración en los granos de cacao es mayor que en los suelos al igual que en el caso de las hojas, concluyendo que está siendo bioacumulada durante su ciclo productivo en estas partes de la planta.

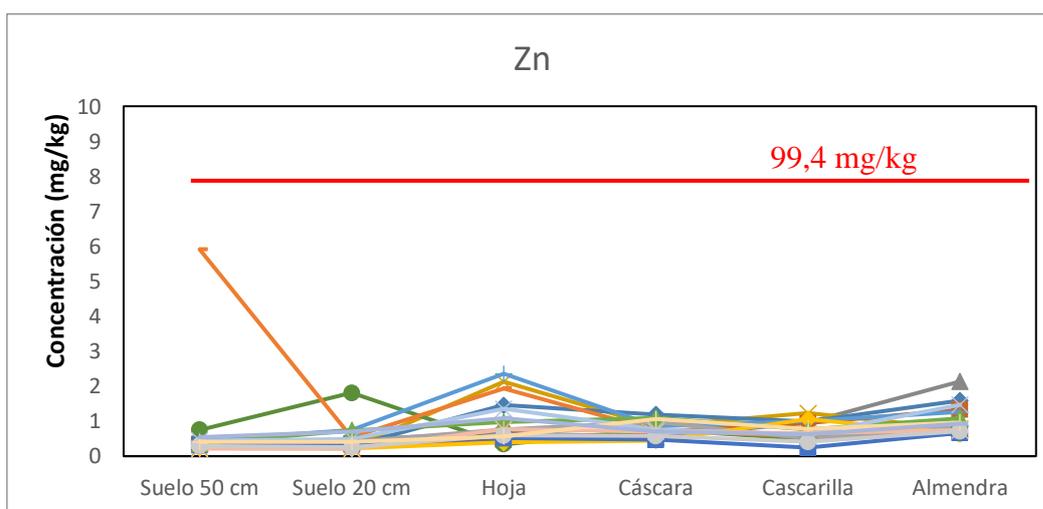


Figura 21. Concentración de Zn en las muestras analizadas

Se realizó un análisis de la concentración de Zn en las hojas versus la concentración en los granos de cacao obteniendo un coeficiente de correlación de 0,1379 como se observa en la figura 22.

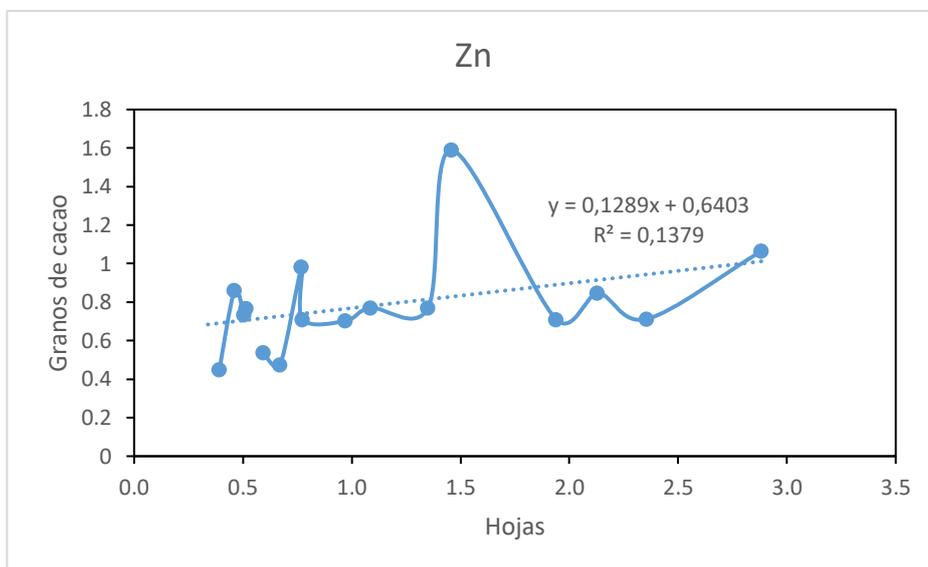


Figura 22. Regresión lineal de la concentración de Zn entre hojas y granos de cacao

La tabla 14 presenta un análisis de componentes principales de los metales de interés, observando que, en este caso, el primer componente explica el 30,636 % de la varianza observada en los datos, el segundo componente 24,567 % y el tercer componente el 18,287 %. Si solo se utilizan los dos primeros componentes, se puede explicar el 55,204 % por lo que se prefiere trabajar con las tres componentes para explicar el 73,490 % de la varianza observada.

Tabla 14
Análisis de componentes principales para muestras de granos de cacao

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,145	30,636	30,636	2,145	30,636	30,636
2	1,720	24,567	55,204	1,720	24,567	55,204
3	1,280	18,287	73,490	1,280	18,287	73,490
4	0,871	12,445	85,935			
5	0,534	7,622	93,557			
6	0,379	5,414	98,971			
7	0,072	1,029	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

En la figura 23 se presenta el gráfico de componentes principales de los metales de interés, observando que existe una correlación entre el Sn-Cd y Pb-Cr, este método de análisis de PCA permite concentrar la información reportada por múltiples variables en solo unas pocas componentes.

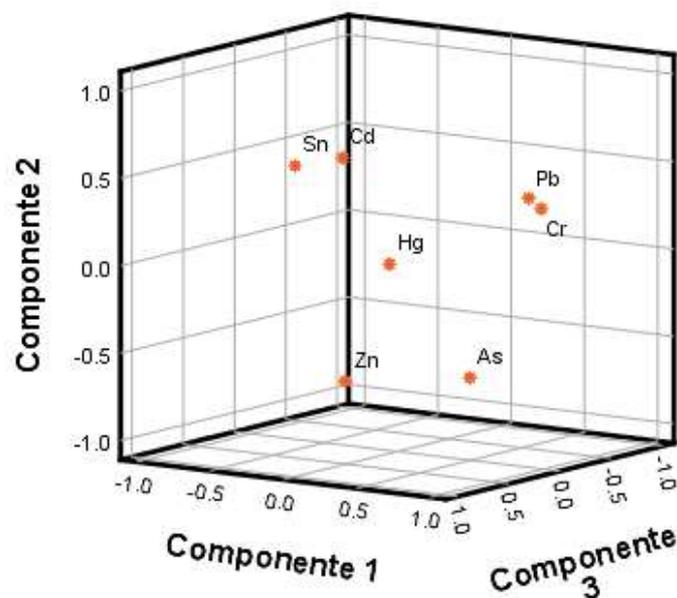


Figura 23. Interpretación del análisis de componentes principales por metales

Al colocar los sitios de muestreo en un gráfico de componentes principales, se observa que las muestras siguen un mismo comportamiento con excepción de las muestras M3, FA2 y RM1 como se observa en la figura 24. Las muestras que no siguen el mismo comportamiento tienen en común que se recolectaron a una distancia ente 100 a 500 m de la carretera, concluyendo que los cultivos deberían contar con una zona de amortiguamiento para evitar ser influenciados por la contaminación generada en las carreteras.

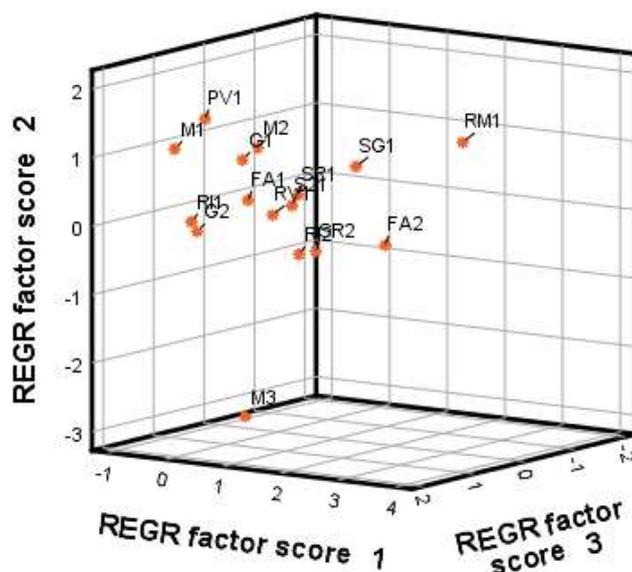


Figura 24. Interpretación del análisis de componentes principales por ubicación

6. Análisis de riesgo

En la tabla 15 se presenta los datos obtenidos del análisis de riesgo de los metales de interés calculados con la ecuación (1) y (2).

Tabla 15
Cocientes de peligro e índice de peligro total de los metales pesados

	Cd	Pb	Cr	Fe
\bar{C} ($\mu\text{g/L}$)	1,31331E-05	3,5613E-06	3,918E-06	0,00091785
CDI Adultos	1,07209E-05	2,9072E-06	3,1983E-06	0,00074927
CDI Niños	5,83694E-05	1,5828E-05	1,7413E-05	0,00407933
RfD (mg/(kg-día))	0,0005	0,0035	0,0003	0,007
HQ Adultos	0,021441829	0,00083062	0,0106611	0,10703788
HQ niños	0,116738848	0,00452226	0,05804376	0,58276181

Con base en la relación de riesgo para el riesgo no cancerígeno, se consideraron HQ, la dosis de referencia de toxicidad oral, RfD, según la USEPA (Muhammad, Shah, y Khan 2011, 336) para los diferentes metales. De esta forma, se obtuvieron valores de HQ inferiores a 1 en todos los casos, por lo que la población expuesta puede considerarse a salvo del riesgo no cancerígeno por la ingestión de la concentración metálica en alimentos.

Capítulo cuarto

Evaluación de la sostenibilidad del cultivo

En la economía de países en vías de desarrollo el cacao en grano está considerado dentro de los productos primarios de exportación, por lo que su análisis es fundamental para el comercio mundial debido a que su principal mercado se radica en los países desarrollados (Quintero y Díaz 2004, 49). El mercado mundial del cacao se basa en su subproducto comercial “Chocolate”, que es demandado por la población de todo el mundo debido a su sabor y el sinnúmero de beneficios para la salud, el principal mercado se encuentra en Europa. Esta cadena productiva se relaciona con varios componentes del mercado como el transporte, insumos, equipos, asistencia técnica, servicios financieros y maquinaria incrementando así la demanda (Barrientos 2015, 140).

Tomando como base la importancia de los sistemas agroforestales es fundamental proponer alternativas de uso y manejo de suelo que conserven el medio ambiente y generen alternativas sostenibles a los productores (Altieri y Nicholls 2000).

Para que sea alternativa agroecológica debe contar con efectos potenciales o atributos como es la productividad, sostenibilidad y adaptabilidad, o sea que el sistema puede producir los bienes requeridos por el productor, la sostenibilidad en permanecer productivo indefinidamente y la adaptabilidad en adaptarse las especies al sistema.

Además, se menciona que la soberanía alimentaria está fuertemente ligada con los movimientos sociales. Uno de los mayores movimientos sociales es la “Vía Campesina” que dentro de sus objetivos comprende generar igualdad y solidaridad para tener relaciones comerciales basadas en la justicia social, la soberanía alimentaria y una producción sostenible (Hernández y Aurélie 2009, 90).

La soberanía alimentaria está ligada a fomentar culturas agrícolas amigables con el medio ambiente y así garantizar que las futuras generaciones logren obtener alimentos sanos y en la cantidad necesaria para sobrevivir. Por lo que un eje fundamental es empoderar al campesino, en lograr que el campesino se vincule al mercado y genere mayores beneficios para evitar que se deje esta actividad a grandes monopolios, que su único interés es monetario sin considerar los daños a la biodiversidad y a los recursos que cada vez disponemos de menor cantidad. La lucha de poderes y la poca conciencia social puede poner en peligro la soberanía alimentaria.

El análisis de sostenibilidad del cultivo de cacao en el Ecuador es importante por la historia en el país, al ser considerado un cultivo emblemático y generador de ingresos para pequeños y medianos agricultores, su continuidad es fundamental para el desarrollo. Para evaluar la sostenibilidad hay que entender el concepto, para lo cual se emplea el presentado en un informe a las Naciones Unidas emitido por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo:

El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. (ONU, 1987)

Para completar este concepto se utiliza el concepto de sustentable emitido por la FAO:

El manejo y conservación de la base de recursos naturales, y la orientación de los cambios tecnológicos e institucionales, de manera que garantice la satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras, ahora y en el futuro. Este desarrollo sustentable, en los sectores de la agricultura, la silvicultura la pesca, conserva los recursos de la tierra, el agua, plantas y animales, no degrada el medio ambiente, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable. (ONU, 1991)

A partir de estos conceptos se analiza la salud del cultivo para obtener la percepción de los agricultores sobre cómo está el cultivo y después evaluar las alternativas de sostenibilidad del cultivo.

1. Análisis de la salud del cultivo

Para evaluar la sostenibilidad de un cultivo existen varios métodos de estimación, uno de ellos es aplicar encuestas para evaluar la percepción de la salud del cultivo. Posterior, se estandariza los criterios en un mismo indicador, logrando que los resultados sean comparables, facilitando el análisis. La encuesta se debe aplicar a varias fincas que presenten características diferentes como por ejemplo extensión o tipo de producción, para ayudar a comprender las diferentes respuestas ecológicas (Altieri y Nicholls 2002, 18).

Este estudio se realizó a los dueños de las fincas en las cuales se obtuvo las muestras de material vegetal para su posterior análisis de concentración de metales pesados. Estas encuestas se realizaron presenciales y por llamada telefónica debido a las restricciones de movilidad emitidas por el gobierno debidas a la pandemia de Covid 19. La encuesta realizada se encuentra en el anexo 1, además está disponible en el enlace <https://ee.humanitarianresponse.info/x/qtaHR6Cj>.

La encuesta utilizada evaluaba la apariencia, crecimiento del cultivo, sistema de manejo, diversidad natural circundante, resistencia o tolerancia a estrés, diversidad vegetal y el rendimiento actual o potencial, en donde se presentó 3 escenarios para cada pregunta y se valoró en una escala de 1 a 10. Por ejemplo, para el caso de apariencia se asignó 1 a la categoría de un cultivo clorótico o descolorido, con signos severos de deficiencia de nutrimentos, cuando presentaba algunas decoloraciones se le asignó el número 5 característico por un cultivo verde claro, con y 10 a plantas que presentaban follaje verde oscuro, sin signos de deficiencia.

Los datos obtenidos se clasificaron en tres categorías: fincas con menos de 5 ha, fincas de 5 a 10 ha y fincas con más de 10 ha, en cada categoría se sacó la media para cada respuesta de la encuesta y se realizó un diagrama tipo "ameba".

Se presentan en la figura 25 los indicadores para la salud de los cultivos de cacao analizados, en la mayoría de los parámetros están cerca al lumbral (5), destacando a las fincas con mayor a 10 ha que presentan mayor diversidad vegetal lo que explicaría la menor incidencia de enfermedades.

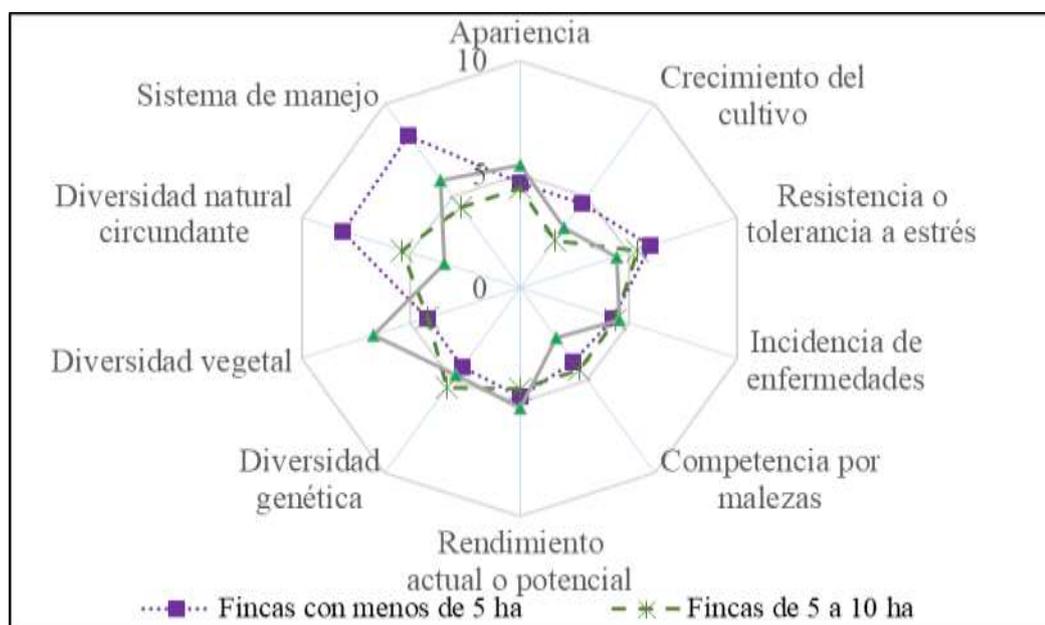


Figura 25. Comparación de indicadores de calidad de suelo

Se observa que fincas con menos de 5 ha presentan un 50 % de sus bordes con vegetación natural generando problemas en la vigilancia de plagas y enfermedades por lo que se explica que también tengan un sistema de manejo poco orgánico o biológico, siendo una alternativa de control por los agricultores el uso de compuestos químicos.

También se realizó el análisis de Pearson de las variables de interés, obtenido que presentan una correlación significativa de 0,01 entre las variables diversidad vegetal y competencia por malezas explicada debido a que al presentar varias especies vegetales estas absorben nutrientes del suelo y disminuyen la cantidad disponible para el cultivo de interés, generando una competencia entre el cultivo y las otras especies vegetales que se convierten en malezas en el cultivo. También se observa esta correlación entre el crecimiento del cultivo y la resistencia o tolerancia al estrés y con el rendimiento actual, lo cual explica que entre mayor es el crecimiento de la planta, es decir, mayor absorción de nutrientes ayuda a la resistencia al estrés y genera una mayor producción.

Además, se consiguió una correlación significativa de 0,05 como se muestra en la tabla 16 entre la incidencia de enfermedades y el crecimiento del cultivo, esta correlación es menor debido a que el crecimiento del cultivo no solo se relaciona a la incidencia de enfermedades, sino que también está relacionado a la cantidad y disponibilidad de nutrientes, agua y al manejo agrícola, también presenta una correlación entre el sistema de manejo y la diversidad natural circundante lo que explica que los sistemas agrícolas deben evaluarse con todas las variables que afectan al cultivo y no solo las necesidades de una determinada labor.

Tabla 16
Análisis de Pearson de para evaluación de la salud del cultivo de cacao

		Apariencia	Crecimiento del cultivo	Resistencia o tolerancia a estrés	Incidencia de enfermedades	Competencia por malezas	Rendimiento actual o potencial	Diversidad genética	Diversidad vegetal	Diversidad natural circundante	Sistema de manejo
Apariencia	Correlación de Pearson	1	0,337	0,395	0,119	0,120	0,480*	0,544*	-0,027	-0,095	0,155
	Sig. (bilateral)		0,146	0,085	0,617	0,614	0,032	0,013	0,910	0,690	0,515
Crecimiento del cultivo	Correlación de Pearson	0,337	1	0,670**	0,529*	0,202	0,704**	0,173	-0,259	-0,008	0,307
	Sig. (bilateral)	0,146		0,001	0,017	0,393	0,001	0,466	0,270	0,974	0,187
Resistencia o tolerancia a estrés	Correlación de Pearson	0,395	0,670**	1	0,248	0,214	0,395	0,377	-0,271	0,195	0,221
	Sig. (bilateral)	0,085	0,001		0,292	0,365	0,085	0,101	0,247	0,411	0,349
Incidencia de enfermedades	Correlación de Pearson	0,119	0,529*	0,248	1	0,429	0,522*	0,340	-0,174	-0,358	-0,041
	Sig. (bilateral)	0,617	0,017	0,292		0,059	0,018	0,142	0,464	0,122	0,863
Competencia por malezas	Correlación de Pearson	0,120	0,202	0,214	0,429	1	0,120	0,417	-0,786**	-0,035	0,042
	Sig. (bilateral)	0,614	0,393	0,365	0,059		0,614	0,068	0,000	0,883	0,860
Rendimiento actual o potencial	Correlación de Pearson	0,480*	0,704**	0,395	0,522*	0,120	1	0,263	0,090	-0,234	0,196
	Sig. (bilateral)	0,032	0,001	0,085	0,018	0,614		0,263	0,707	0,320	0,408
Diversidad genética	Correlación de Pearson	0,544*	0,173	0,377	0,340	0,417	0,263	1	-0,095	-0,046	-0,184
	Sig. (bilateral)	0,013	0,466	0,101	0,142	0,068	0,263		0,689	0,848	0,439
Diversidad vegetal	Correlación de Pearson	-0,027	-0,259	-0,271	-0,174	-0,786**	0,090	-0,095	1	0,001	-0,188
	Sig. (bilateral)	0,910	0,270	0,247	0,464	0,000	0,707	0,689		0,995	0,426
Diversidad natural circundante	Correlación de Pearson	-0,095	-0,008	0,195	-0,358	-0,035	-0,234	-0,046	0,001	1	0,525*
	Sig. (bilateral)	0,690	0,974	0,411	0,122	0,883	0,320	0,848	0,995		0,017
Sistema de manejo	Correlación de Pearson	0,155	0,307	0,221	-0,041	0,042	0,196	-0,184	-0,188	0,525*	1
	Sig. (bilateral)	0,515	0,187	0,349	0,863	0,860	0,408	0,439	0,426	0,017	

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

2. Análisis de las interacciones que posiblemente explican el mejor comportamiento del sistema (cultivo de cacao-contenido de metales)

La contaminación generada en los cultivos debido al contenido de metales pesados ha incrementado a nivel global y local identificando problemas que comprometen el medio ambiente, la salud humana y la seguridad alimentaria. Se debe realizar un monitoreo permanente para evitar que los problemas por altas concentraciones afectan la sostenibilidad de los cultivos, considerando que el problema de contaminación puede tener origen natural o antropogénico, siendo difícil su control (Reyes et al. 2016, 74).

En la tabla 17 se presentan casos a nivel mundial de intoxicación con metales pesados que provocó heridos y muertos por consecuencia de la ingesta y exposición a metales como Ar, Pb, Cd y compuestos como el metilmercurio y metil isocianato.

Tabla 17
Casos de intoxicación por metales pesados a nivel mundial

Año	Contaminación	Localidad	Muertos	Heridos
1900	Cerveza con arsénico	Inglaterra, Manchester	70	6.000
1960	Agua subterránea contaminada con altos niveles de As usada para agricultura	Taiwán, Bangladesh, India, Tailandia		>70 millones
1968	Pan con presencia de organomercurial (cereales)	Irak	500	>5.000
1960	Peces con metilmercurio	Japón, Bahía Minamata	3.000	>10.000
1975	Plomo presente en pintura genera diversos grados de intoxicación en niños	USA	200	800 daño cerebral >400.000
1945	Agua y arroz con presencia de cadmio genera intoxicación masiva	Japón	300	> 1.000
1970	Cadmio provoca enfermedad de Itai-Itai	Japón	180	7.000
1984	Fuga de metil isocianato	India, Bhopal	>2.500	>10.000

Fuente: Londoño, Londoño y Muñoz 2016

Elaboración propia

Dentro del análisis se observa que la presencia de metales pesados en el cultivo de cacao no se puede evitar debido a que la planta absorbe los nutrientes que tiene disponibles en el suelo. El análisis de cómo y dónde se mueven los metales pesados dentro del sistema de la planta es importante para conocer como intervenir en el cultivo, que herramientas de remediación o biorremediación se utiliza. Considerando que en el estudio una gran cantidad de metales se encuentran en las hojas del cultivo, se debería considerar

dentro de las labores agrícolas aprovechar este mecanismo para biorremediar, es decir, al realizar maniobras de poda recoger este material vegetal y no dejar que se descomponga en el suelo, evitando así que regresen los metales pesados al suelo y se conviertan en disponibles para la planta.

Para el caso del Cd, metal de interés dentro la regulación nacional e internacional para comercializar el chocolate, subproducto del cacao, se observa que se podría determinar la concentración de este metal en los granos de cacao si se realiza una regresión lineal con la concentración en las hojas, logrando medir cuanto de Cd absorbe la planta y que un futuro se podría retirar del sistema planta-suelo y cuanto se encontraría en los granos de cacao.

Conclusiones y recomendaciones

En la mayoría de los metales analizados, las concentraciones de metales pesados no fueron superiores a las mencionadas en las normas alimentarias, sin embargo, se debe realizar monitoreos frecuentes para asegurar que la concentración en los granos de cacao no se vuelva un problema para la salud.

La concentración de metales a una profundidad de 20 cm es diferente a la concentración a 50 cm, por lo que cada muestra se debe analizar por separado. Se debe considerar las afecciones antrópicas que afectan al suelo superficial.

De los metales analizados se observa que el Cd tiene poder de movilidad dentro de la planta, considerando que este metal está regulado para el chocolate, subproducto del cacao, se debe generar alternativas para disminuir la absorción de este metal por la planta.

Dentro de las labores agrícolas, se recomienda remover las hojas cuando se realiza la poda y no dejar en el suelo, como mecanismo natural de fitorremediación.

Del análisis de riesgo para la salud humana se concluye que la población expuesta del cantón Ponce Enríquez puede considerarse a salvo del riesgo no cancerígeno por la ingestión de la concentración metálica de Cd, Pb, Cr y Fe en alimentos que contengan cacao de la zona.

Los metales Mg, Ca, Mg, Sr, Zn, Cd y Cu presentan la capacidad de movilizarse desde el suelo hacia las hojas y del suelo a los granos de cacao; estos metales se deben monitorear para evitar que la concentración sea perjudicial para la salud.

Del análisis de movilidad se concluye que el Cd y Zn tienen un comportamiento similar y que su mayor factor de transferencia está en zonas donde la cuenca hídrica tiene influencia de la minería.

La presencia en la planta de contaminantes de origen mineralógico no se puede atribuir a las actividades mineras únicamente, sino además de las actividades agrícolas en la zona, como es el caso del banano y su uso de fungicidas para el control de plagas.

El cuidado del medio ambiente es importante para el futuro de la humanidad, pero es trascendental que su cuidado este enfocado en todos los contaminantes presentes en la naturaleza, no solo los visibles como residuos sólidos, tala de bosques, emisiones de gases de efecto invernadero, etc., sino además de aquellos que están presentes silenciosamente como los metales y metaloides tóxicos.

La aparición de metales tóxicos en el suelo, agua y aire tiene diferentes orígenes, a los naturales hay que monitorear para evaluar su influencia en el medio ambiente, pero los de origen antropogénicos como los generados en las industrias, la actividad minería, la agricultura, etc., generan la urgente necesidad de reducir la cantidad antes de que sea demasiado tarde.

En este estudio, los valores presentados se deben considerar como una referencia ya que en la actualidad y por limitantes en los equipos en el país no se cuenta con valores similares, esto debido a que los límites de detección del equipo utilizado cuentan con un mayor número de cifras significativas. Al no tener en la normativa nacional estos límites la información presentada en este trabajo se lo considera como una guía para futuras investigaciones.

Se recomienda realizar un estudio complementario evaluando la concentración de los metales en otros productos de consumo en la zona, por ejemplo, en el agua de consumo para evaluar su influencia en la bioacumulación.

Lista de referencias

- Abad, Andrés, Cristina Acuña, y Efraín Naranjo. 2020. "El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica". *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración* 7: 59-83. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.7.3>.
- Afoakwa, Emmanuel Ohene. *Cocoa Production and Processing Technology*. Boca Raton: CRC Press, 2014. <https://doi.org/10.1201/b16546>.
- Altieri, Miguel A., y Clara I Nicholls. *Agroecología Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Mexico: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2000. [http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2\[1\].pdf](http://www.agro.unc.edu.ar/~biblio/AGROECOLOGIA2[1].pdf).
- Altieri, Miguel A., y Clara Inzs Nicholls. 2002. "Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales". *Manejo Integral de Plagas y Agroecología* 64: 17-24.
- ANECACAO. 2019. "Estadísticas actuales Anecacao Ecuador". ANECACAO. Consultado 17 de mayo. <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>.
- Anyimah-Ackah, Ekpore, Isaac Williams Ofori, Herman Erick Lutterodt, y Godfred Darko. 2021. "Health Benefit: Risk Assessment of Trace and Essential Elements Found in Cocoa Beans and Derived Products". *Chemistry Africa* 4 (2): 299-312. <https://doi.org/10.1007/s42250-020-00214-8>.
- Appleton, J. D., T. M. Williams, H. Orbea, y M. Carrasco. 2001. "Fluvial contamination associated with artisanal gold mining in the Ponce Enríquez, Portovelo-Zaruma and Nambija areas, Ecuador". *Water, Air, and Soil Pollution* 131 (1-4): 19-39. <https://doi.org/10.1023/A:1011965430757>.
- Babin, R. 2018. "Pest management in organic cacao." En *Handbook of pest management in organic farming*, 502-18. CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780644998.0502>.
- Banco de Desarrollo de América Latina. 2020. "Observatorio del cacao fino y de aroma para América Latina". *Iniciativa Latinoamericana del Cacao* 8: 1-3. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1530>.
- Barraza, F., E. Schreck, T. Lévêque, G. Uzu, F. López, J. Ruales, J. Prunier, A. Marquet, y L. Maurice. 2017. "Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in

- cacao: A field study in areas impacted by oil activities in Ecuador”. *Environmental Pollution* 229: 950-63. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>.
- Barrezueta-Unda, Salomón, Eveligh Prado Carpio, y Rodrigo Jimbo Sarmiento. 2017. “Características Del Comercio De Cacao A Nivel Intermediario En La Provincia De El Oro-Ecuador”. *European Scientific Journal, ESJ* 13 (16): 273-282. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n16p273>.
- Barrezueta, Salomón Alejandro, y Julio Enrique Chabla. 2017. “Características sociales y económicas de la producción de cacao en la provincia El Oro, Ecuador”. *Revista La Técnica*. 25-34. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.952.
- Barrientos, Pedro. 2015. “La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial”. *Semestre Económico* 18 (37): 129-56. <https://doi.org/10.22395/seec.v18n37a5>.
- Betancourt, Óscar, Ramiro Barriga, Jean Remy Davée Guimarães, Edwin Cueva, y Sebastián Betancourt. 2012. “Impacts on Environmental Health of Small-Scale Gold Mining in Ecuador”. En *Ecohealth Research in Practice*, 119-30. New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0517-7_11.
- Castebianco, Javier Andrés. 2018. “Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation”. *Granja* 27 (1): 21-35. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02>.
- CEPAL. *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2015: desafíos para impulsar el ciclo de inversión con miras a reactivar el crecimiento*. Santiago de Chile: CEPAL, 2015. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/38713-estudio-economico-america-latina-caribe-2015-desafios-impulsar-ciclo-inversion>.
- Challenger, Antony, y Rodolfo Dirzo. 2009. “Tendencias de cambio y estado de la biodiversidad, los ecosistemas y sus servicios”. *Factores de cambio y estado de la biodiversidad* 11 (2009): 205-10.
- Cobos, Eduardo. 2021. “Ecuador tiene en el cacao una oportunidad de oro”. *Gestión Digital*. <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/ecuador-tiene-en-el-cacao-una-oportunidad-de-oro>.
- Duguma, B, J Gockowski, y J Bakala. 1999. “Desafíos biofísicos y oportunidades para el cultivo sostenible de cacao (*Theobroma cacao* Linn.) en sistemas agroforestales de África Occidental y Central.” *Revista Agroforestería en las Américas* 6 (22): 7-10. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6019>.
- EC. 2015. *Ley Orgánica Reformatoria a la Ley de Minería, a la Ley Reformatoria para*

- la Equidad Tributaria En El Ecuador Y A La Ley Orgánica De Régimen Tributario Interno*. Registro Oficial 037, Segundo Suplemento, 16 de julio de 2013.
- EC. Banco Central. 2015. "Publicaciones de Banca Central 2015 Subgerencia de Programación y Regulación Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica". *Banco Central*. Marzo
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo2015.pdf>.
- EC. 2008. *Constitución de la Republica del Ecuador*. Registro Oficial 449, 20 octubre.
- EC. Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Camilo Ponce Enríquez. 2015. "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Camilo Ponce Enríquez". *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Camilo Ponce Enríquez*.
<https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-CAMILO-PONCE-ENRIQUEZ-2014-2030.pdf>
- EC. Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2021. "Boletín Técnico Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua". *INEC*. Mayo.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf.
- EC. Ministerio de Agricultura y Ganadería 2020. Acuerdo Ministerial 068, 12 de junio.
- García González, Martha L., Yesid Carvajal Escobar, y Henry Jiménez. 2011. "La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático". *Ingeniería y Competitividad* 9 (1): 19-29.
<https://doi.org/10.25100/iyc.v9i1.2492>.
- Gómez-Molina, Rosangel, Samuel Villanueva, y Magaly Henríquez. 2019. "Tendencia mundial en la elaboración de productos derivados del cacao". *Revista Ingeniería UC* 26 (2): 213-22.
- Gunson, A. J., y Marcello M. Veiga. 2004. "Mercury and artisanal mining in China". *Environmental Practice* 6 (2): 109-20.
<https://doi.org/10.1017/S1466046604000225>.
- Hernández, Luis, y Desmarais Aurélie. 2009. "Crisis y soberanía alimentaria: vía campesina y el tiempo de una idea". *El Cotidiano*, 153: 89-95.
<https://www.proquest.com/docview/199498280?parentSessionId=i9UwMOgkOAgOiHPexZl7jhDaFL6w7SI65vr3XgwgUz8%3D>.
- Huancaré, R.K. 2014. "Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de Trucha

- arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la Laguna Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca-P”. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Perú. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3749>.
- IISD. 2019. “Evaluación del marco de políticas mineras del IGF”. *International Institute for Sustainable Development*. Marzo. <https://www.iisd.org/system/files/publications/ecuador-mining-policy-framework-assessment-es.pdf>.
- Limbeck, Andreas, Patrick Galler, Maximilian Bonta, Gerald Bauer, Winfried Nischkauer, y Frank Vanhaecke. 2015. “Recent advances in quantitative LA-ICP-MS analysis: Challenges and solutions in the life sciences and environmental chemistry ABC Highlights: Authored by Rising Stars and Top Experts”. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 407 (22): 6593-6617. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-8858-0>.
- Londoño, Luis, Paula Londoño, y Fabián Muñoz. 2016. “Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14 (2): 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153).
- López, Esteban, y Diana Carlina Rodríguez. 2018. “Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua”. *UNED Research Journal* 10 (2): 387-96. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998>.
- Lozada, Dario. 2016. “La conminución en la minería pequeña y artesanal en”. <https://www.researchgate.net/publication/292983759>.
- Mensah, E., N. Kyei-Baffour, E. Ofori, y G. Obeng. 2009. “Influence of human activities and land use on heavy metal concentrations in irrigated vegetables in Ghana and their health implications”. *Appropriate Technologies for Environmental Protection in the Developing World*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-9139-1_2.
- Mesa-Pérez, María Aurora, Oscar Díaz-Rizo, Marie-Jose Tavella, David Baqué, y José Miguel Sanchez-Pérez. 2018. “Soil-to-Plant Transfer Factors of Rare Earth Elements in Rice (*Oryza sativa* L.)”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27 (2): 1-9. <http://revistas.unah.edu.cu>.
- Moreno, Edmundo, George Argota Pérez, René Alfaro Tapia, Martha Aparicio Saavedra, Sabino Atencio Limachi, y Gilmar Goyzueta Camacho. 2018. “Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú”. *Revista*

- de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research* 20 (1): 09-18.
<https://doi.org/10.18271/ria.2018.326>.
- Muhammad, Said, M. Tahir Shah, y Sardar Khan. 2011. "Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan". *Microchemical Journal* 98 (2): 334-43.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2011.03.003>.
- Onyele, Onyinyechi Gladys, y Emeka Donald Anyanwu. 2018. "Human Health Risk Assessment of Some Heavy Metals in a Rural Spring, Southeastern Nigeria". *African Journal of Environment and Natural Science Research* 1 (1): 15-23.
www.abjournals.org.
- Pantoja, Freddy Hernán, y Sebastián David Pantoja. 2016. "Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia". *Revista Facultad de Ciencias Económicas* 24 (2). <https://doi.org/10.18359/rfce.2217>.
- Pascual, G., J Obrador, E García, E Carrillo, S Sánchez, A Guerrero, y C Ortiz. 2017. "Evaluación del Sistema Agroforestal Cacao (*Theobroma Cacao L.*) mediante Indicadores de Calidad de Suelo en Tabasco, México". *Agroproductividad* 10 (12).
<https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/34>.
- Pontón, Jorge, y Kevin Valarezo. 2018. "Diagnóstico de la oferta exportable de los Cantones Ponce Enríquez y Pucará". Universidad del Azuay.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7831>.
- Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, y Prieto García. 2009. "Tropical and Subtropical Agroecosystems". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1): 29-44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>.
- Quintero, y Díaz, K. 2004. "El mercado mundial del cacao". *Agroalimentaria* 9 (18): 47-59.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004.
- Reyes, Yulieth, Ines Vergara, Omar Torres, Mercedes Días, y Edgar Gonzales. 2016. "Heavy metals contamination: implications for health and food safety". *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo* 16 (2): 66-77.
- Rodríguez, Dayana, y Pablo Cárdenas. 2021. "Análisis de la cadena productiva del sector cacaotero en la economía ecuatoriana. Periodo 2014-2018". Tesis de Economista, Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54740>.
- Rosales-Huamani, Jimmy Aurelio, Jorge Luis Breña-Ore, Svitlana Sespedes-Varkarsel,

- Luis Huamanchumo De la Cuba, Luis Centeno-Rojas, Alonso Otiniano-Zavala, Joseps Andrade-Choque, Santiago Valverde-Espinoza, y Jose Luis Castillo-Sequera. 2020. "Study to Determine Levels of Cadmium in Cocoa Crops Applied to Inland Areas of Peru: The Case of the Campo Verde-Honorita Tournavista Corridor". *Agronomy* 10 (10): 1576-90. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101576>.
- Sandoval, Fabian. 2002. "La Pequeña Minería en el Ecuador". *Mining, Minerals and Sustainable Development*. Octubre. <https://pubs.iied.org/pdfs/G00721.pdf?>.
- Saravia-Matus, Silvia L., Adrian G. Rodríguez, y Jimmy A. Saravia. 2020. "Determinants of certified organic cocoa production: evidence from the province of Guayas, Ecuador". *Organic Agriculture* 10 (1): 23-34. <https://doi.org/10.1007/s13165-019-00248-4>.
- Scaccabarozzi, Daniela, Luis Castillo, Andrea Aromatisi, Lynne Milne, Adolfo Búllon Castillo, y Miriam Muñoz-Rojas. 2020. "Soil, site, and management factors affecting cadmium concentrations in cacao-growing soils". *Agronomy* 10 (6): 806-21. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060806>.
- Sepúlveda, Wilmer S., Irinuska Ureta, Claudia Mendoza, y Louiza Chekmam. 2018. "Ecuadorian Farmers Facing Coffee and Cocoa Production Quality Labels". *Journal of International Food and Agribusiness Marketing* 30 (3): 276-90. <https://doi.org/10.1080/08974438.2017.1413612>.
- Strong Zúñiga, Alexandra. 2020. "Riqueza , prestigio y ofrenda divina : los usos del cacao en el mundo nahua". *Hospitalidad ESDAI* 37: 35-54. <https://revistas.up.edu.mx/ESDAI/article/view/2238/1825>.
- US EPA. 1996. "Soil screening guidance: technical background document". *National Service Center for Environmental Publications (NSCEP)*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/100025LM.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995> Thru 1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=.
- Vassallo, Miguel. 2016. "Diferenciación y agregado de valor en la cadena ecuatoriana del cacao". *Informes de investigación*, 1: 23-43. <http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/repique/article/view/2/3>.
- Velásquez-López, Patricio Colón, Ivonne Yadira López Sánchez, y María Fernanda Rivera Velásquez. 2020. "Estimation of the ecological and human health risk of

mercury in a mangrove area of the La Puntilla estuary, El Oro province, southern Ecuador”. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 49 (1): 81-100. <https://doi.org/10.25268/BIMC.INVEMAR.2020.49.1.775>.

Voorra, V., S. Bermúdez, y C. Larrea. 2019. “Western Europe and developing economies in Asia are driving demand for cocoa but farm risks may affect supply in the long-term”. *IISD*. <https://iisd.org/ssi/>.

Williams, Martin. 2001. *Geoquímica y Ambiente: Algunas aplicaciones de la información geoquímica de la cordillera occidental del Ecuador*. Editado por UPC PRODEMİNCA. <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=19943>.

Anexo

Anexo 1: Encuesta sobre salud del cultivo

Esta encuesta tiene como objetivo conocer la percepción de los productores de cacao sobre la salud de su cultivo con el fin de evaluar la sostenibilidad del cultivo.

Apariencia

- Cultivo clorótico o descolorido, con signos severos de deficiencia de nutrimentos
- Cultivo verde claro, con algunas decoloraciones
- Follaje verde intenso, sin signos de deficiencia

Crecimiento del cultivo

- Muy poco crecimiento de nuevo follaje
- Cultivo más denso, pero no uniforme, con crecimiento nuevo y con ramas y tallos aún delgados
- Cultivo denso, uniforme, buen crecimiento, con ramas y tallos gruesos y firmes

Resistencia o tolerancia a estrés

- Susceptibles, no se recuperan bien después de un estrés
- Sufren en época seca o muy lluviosa, se recuperan lentamente
- Soportan sequía y lluvias intensas, recuperación rápida

Incidencia de enfermedades

- Susceptible a enfermedades, más del 50 % de plantas con síntomas
- Entre 20-45% de plantas con síntomas de leves a severos
- Resistentes, menos del 20% de plantas con síntomas leves

Competencia por malezas

- Cultivos estresados dominados por malezas
- Presencia media de malezas, cultivo sufre competencia
- Cultivo vigoroso, se sobrepone a malezas, o malezas chapeadas no causan problemas

Rendimiento actual o potencial

- Bajo con relación al promedio de la zona
- Medio, aceptable con relación al promedio de la zona
- Bueno o alto, con relación al promedio de la zona

Diversidad genética

- Pobre, domina una sola variedad de cacao
- Media, dos variedades
- Alta, más de dos variedades

Diversidad vegetal

- Monocultivo sin sombra
- Con solo una especie de sombra
- Con más de dos especies de sombra, e incluso otros cultivos o malezas dominantes

Diversidad natural circundante

- Rodeado por otros cultivos, campos baldíos o carretera
- Rodeado al menos en un lado por vegetación natural
- Rodeado al menos en un 50 % de sus bordes por vegetación natural

Sistema de manejo

- Monocultivo convencional, manejado con agroquímicos
- En transición a orgánico, con sustitución de insumos
- Orgánico diversificado, con poco uso de insumos orgánicos o biológicos