



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

TRABAJO EXPERIMENTAL

**DETERMINACIÓN DE LA TRAZABILIDAD DEL CONTENIDO DE ARSÉNICO EN
DOS ZONAS ARROCERAS DEL LITORAL ECUATORIANO Y SU IMPACTO EN LA
INGESTA ALIMENTARIA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera en Biotecnología

AUTORES:

RUTH MAGDALENA MUÑOZ ROCA

MARIA DE LOS ANGELES NOLES PIÑA

TUTOR:

JAIRO JOEL JAIME CARVAJAL

GUAYAQUIL-ECUADOR

2024

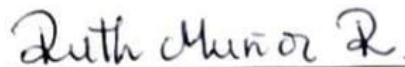
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ruth Magdalena Muñoz Roca con documento de identificación N° 0931623441 y María de los Ángeles Noles Piña, con documento de identificación N° 0931407225; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

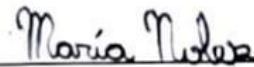
Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ruth Magdalena Muñoz Roca

0931623441



María de los Ángeles Noles Piña

0931407225

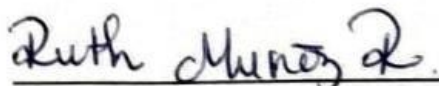
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ruth Magdalena Muñoz Roca con documento de identificación No. 0931623441 y María de los Ángeles Noles Piña con documento de identificación No. 0931407225, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “ DETERMINACIÓN DE LA TRAZABILIDAD DEL CONTENIDO DE ARSÉNICO EN DOS ZONAS ARROCERAS DEL LITORAL ECUATORIANO Y SU IMPACTO EN LA INGESTA ALIMENTARIA”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

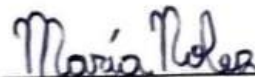
Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ruth Magdalena Muñoz Roca

0931623441



María de los Ángeles Noles Piña

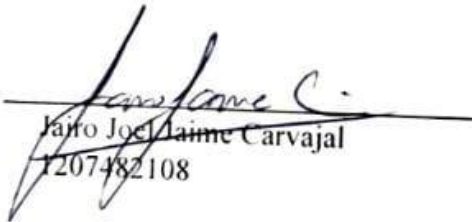
0931407225

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jairo Joel Jaime Carvajal con documento de identificación N° 1207482108, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN DE LA TRAZABILIDAD DEL CONTENIDO DE ARSÉNICO EN DOS ZONAS ARROCERAS DEL LITORAL ECUATORIANO Y SU IMPACTO EN LA INGESTA ALIMENTARIA”** realizado por Ruth Magdalena Muñoz Roca con documento de identificación N° 0931623441 y por María de los Ángeles Noles Piña con documento de identificación N° 0931407225, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Jairo Joel Jaime Carvajal
1207482108

Dedicatoria

El presente estudio se lo dedico a mi familia, a mi madre Olga Roca, mi padre Miguel Muñoz y mi hermano Israel, por su amor incondicional y ser mi pilar fundamental en esta faceta de mi vida que su sacrificio y dedicación me han permitido llegar tan lejos.

Agradecimiento

Le agradezco principalmente a mis padres, Miguel y Olga, por ser ese motor que impulsa toda mi vida mediante su paciencia, consejos, disciplina y amor incondicional. A mi hermano, por siempre estar presente en cada uno de mis logros e inculcarme el amor hacia el conocimiento y la ciencia, siendo una fuente de inspiración a seguir mis sueños. Así mismos a mis amigos y a mi compañera de tesis, María, por alentarme a seguir a superar cada uno de los obstáculos.

Además, quisiera agradecer al Q.F Jairo Jaime, Ing. Jaime Naranjo y al Ing. Kevin Cedeño, quienes nos han compartido conocimiento con mucha paciencia e invaluable apoyo.

Ruth Muñoz.

Dedicatoria

Este proyecto de investigación se lo dedico a mi familia, en especial a mi padre Patricio Noles porque a pesar de ya no encontrarse en este mundo siempre sentí su apoyo y amor incondicional dentro de cada recorrido de mi vida. A mi madre Katerine Piña por todos sus sacrificios realizados para que podamos seguir adelante.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis. En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por apoyarme durante todo mi recorrido académico, además de ser pilares fundamentales en mi vida, luego a mis amigos por su apoyo incondicional en todo momento, en especial a mi compañera de tesis y amiga Ruth por siempre estar conmigo ante cualquier situación y apoyarme. También quiero agradecer a mi tutor el Q.F Jairo Jaime y el Ing. Kevin Cedeño por toda la paciencia y apoyo brindado dentro de este proyecto.

María de los Ángeles Noles.

Resumen

El arroz desempeña un papel fundamental en la dieta ecuatoriana, siendo Daule la capital arrocera del país con un rendimiento de 4.8 t/h, el más alto a nivel nacional, seguido por Ventanas con un rendimiento de 4.2 t/h. Por lo que la determinación de la trazabilidad del contenido de Arsénico es imperativa para su impacto alimenticio. Diversos estudios han encontrado niveles de As en *Oryza sativa*, causa de preocupación en diversas áreas de investigación. Tras cuantificar el As mediante ICP-OES en agua de riego, suelo, raíz, tallo y hoja, se encontró una diferencia significativa en los suelos y tallos de ambos cantones, con Ventanas mostrando una menor cantidad y una reducción de 1.38 mg kg^{-1} ; en raíz de Daule, se observó una concentración elevada de As, alcanzando 4.533 ± 1.22 , la más alta registrada en el estudio. Por otro lado, las hojas de Ventanas evidenciaron una mayor concentración de As, confirmando la hipótesis alternativa. Los valores del agua de riego superan la normativa establecida por la EPA. Los resultados de $\text{FBC} > 1$ demostraron que *O. sativa* es una planta bioacumuladora de As, mientras que en su FT se evidencia que en Ventanas las plantas están más susceptibles a la traslocación desde la raíz hasta la biomasa aérea. En los granos locales y comerciales, los niveles de As se encontraron dentro de los límites permisibles, además su riesgo cancerígeno como el $\text{HQ} > 1$, alejándose de un posible riesgo de cáncer. El promedio del EDI es de 0.0013, excediéndose los límites permisibles, implica que el consumidor promedio estaría ingiriendo niveles de As que podrían repercutir con la inocuidad alimentaria.

Palabras clave: Arroz, arsénico, ICP-OES, metales pesados.

ABSTRACT

Rice plays a fundamental role in the Ecuadorian diet, with Daule being the rice capital of the country with a yield of 4.8 t/h, the highest at the national level, followed by Ventanas with a yield of 4.2 t/h. Therefore, the determination of the traceability of arsenic content is imperative for its impact on food. Several studies have found As levels in *Oryza sativa*, a cause of concern in several research areas. After quantifying As by ICP-OES in irrigation water, soil, root, stem and leaf, a significant difference was found in the soils and stems of both cantons, with Ventanas showing a lower amount and a reduction of 1.38 mg kg⁻¹, in Daule's root, a high concentration of As was observed, reaching 4.533 ± 1.22 , the highest recorded in the study. On the other hand, Ventanas leaves showed a higher concentration of As, confirming the alternative hypothesis. The values of the irrigation water exceed the regulation established by the EPA. The results of BCF >1 showed that *O. sativa* is an As bioaccumulator plant, while in its TF it is evident that in Ventanas the plants are more susceptible to translocation from the root to the aerial biomass. In local and commercial grains, As levels were found to be within the permissible limits, in addition to its carcinogenic risk as HQ >1, moving away from a possible cancer risk. The average EDI is 0.0013, exceeding the permissible limits, implying that the average consumer would be ingesting levels of As that could have an impact on food safety.

Key words: Rice, arsenic, ICP-OES, heavy metals.

Tabla de Contenido:

CAPÍTULO 1.....	13
1. Antecedentes.....	13
Introducción.....	13
Planteamiento del problema.....	15
Pregunta de Investigación.....	16
2. Formulación del problema.....	16
Justificación.....	16
3. Delimitaciones.....	17
Localización de plantaciones de arroz en estudio.....	17
4. Objetivos.....	18
Objetivo general:.....	18
Objetivos específicos:.....	18
5. Hipótesis.....	19
CAPÍTULO 2.....	20
6. Marco teórico.....	20
Cultivo de arroz.....	20
Análisis de nutrientes en plantaciones arroceras.....	20
Insumos agrícolas como fuente de metales pesados.....	24
Taxonomía:.....	25

Cultivo orgánico de arroz en Ecuador	26
Producción de arroz en Daule	26
Producción de arroz en Ventanas:.....	27
Metales pesados	28
Arsénico (As).....	28
Toxicidad de Arsénico	29
Suelo	29
Dinámica de As en suelo.....	29
Agua.....	30
Dinámica de As en agua	31
Bioacumulación de As en arroz	31
Factor de bioconcentración (FBC).....	32
Factor de translocación (FT).....	32
Variable no controlada: condiciones climáticas (fenómeno del niño).....	33
Impacto biotecnológico.....	33
Criterios de calidad en la producción de cultivos arroceros BPA	34
Cálculo de estimación ingesta diaria consumible de metal pesado:	35
Evaluación de riesgo Humano:	37
Riesgo no carcinogénico:.....	37
Evaluación de riesgo carcinogénico:	38

CAPÍTULO 3.....	39
7. Materiales y métodos:.....	39
8. Diseño experimental	39
9. Recolección de muestras en el agroecosistema arrocero	41
Suelo y foliares	41
Agua.....	41
10. Recursos.....	42
Proceso de digestión	42
Proceso de secado	42
Proceso de obtención de muestra.....	42
Protocolo de digestión de muestra	43
Cuantificación de Arsénico por ICP-OES	46
Digestión de la muestra:.....	47
Control de calidad de muestras:.....	47
CAPÍTULO 4.....	49
11. Resultados y discusión.....	49
Cuantificar los niveles de arsénico presente en muestras recolectas (agua, suelo, raíz, tallo, hoja, fruto) de los cultivos arroceros de Daule y Ventanas mediante técnica de ICP-OES.....	49

Evaluar la bioconcentración y translocación del arsénico en las plantaciones de arroz de Daule y Ventanas.	53
Comparar de los niveles de arsénico entre 10 marcas comerciales de granos de arroz conforme a los limite permisible del códex alimentario.	58
Cálculo de Riesgo cancerígeno:	60
CAPÍTULO 5.....	65
12. Conclusión	65
13. Recomendaciones	66
14. Bibliografía	67
15. Anexo:.....	85
Anexo 1. Encuesta al público general:.....	85
Anexo 2. Tabla de recopilación de concentraciones de As registradas	90
Anexo 3. Test de Shapiro- Wilks.....	91
Anexo 4. Prueba t para muestras independientes:	92
Anexo 5. Prueba ANOVA Descriptivo.....	94
Anexo 6. Correlación de Pearson para agroecosistema Daule	97
Anexo 7. Correlación de Pearson para agroecosistema Ventanas.	97
Anexo 8. Gráfica de calibración de ICP-OES	98

Índice de Figuras:

Figura 1	Área de cultivo orgánico de arroz Daule-Guayas	17
Figura 2	Área de cultivo orgánico de arroz Ventanas-Los Ríos.....	18
Figura 3	Cultivo de <i>Oryza sativa</i>	25
Figura 4	Secado de muestra en estufa.....	43
Figura 5	Tamizado de muestra.....	43
Figura 6	Protocolo de Digestión de muestras sólidas.	44
Figura 7	Protocolo de Digestión de muestras acuosas.....	45
Figura 8	Equipo ICP-OES.	47
Figura 9	Concentración de As en agroecosistemas: Daule y Ventanas.....	50
Figura 10	Factor de bioconcentración en agroecosistemas	54
Figura 11	Factor de traslocación en agroecosistemas.....	55

Índice de Tablas

Tabla 1	Análisis nutricional del arroz	22
Tabla 2	Clasificación taxonómica de <i>Oryza sativa</i>	25
Tabla 3	Establecimiento de límites de ingesta diaria de As.....	36
Tabla 4	Descripción de parámetros establecidos.....	37
Tabla 5	VARIABLES ESTADÍSTICAS	40
Tabla 6	Trazabilidad de As en los agroecosistemas	49
Tabla 7	Factor de bioconcentración y traslocación del cantón Daule y Ventanas.....	53
Tabla 8	Comparación de contenido As en los granos de Daule y Ventanas.....	58
Tabla 9	Cálculo de riesgo cancerígeno en granos locales.....	60
Tabla 10	<i>Riesgo cancerígeno promedio de marcas comerciales</i>	60
Tabla 11	Matriz CDIU para estrategias de mitigación	63

CAPÍTULO 1

1. Antecedentes

Introducción

El arroz (*Oryza sativa*) es considerado como uno de los alimentos más importantes en la dieta de varias poblaciones a nivel mundial a razón Asia y Europa se considera como parte imperativa en la dieta de la población a nivel mundial. En Ecuador se estima que el consumo este alrededor de 42.3kg al año (FAO, 2018), *O. sativa* es el producto por excelencia dentro del rango de los carbohidratos que aporta una calidad nutricional alta además de vitaminas y minerales presentes en su composición. Se destaca la importancia para el estudio de la gramínea en diferentes campos de investigación científica: agricultura, alimentación y sanidad.

Los metales pesados y los metaloides pueden inhibir el crecimiento de las plantas, reducir el rendimiento de los cultivos y alterar la composición nutricional de los alimentos. También causan problemas de salud en los consumidores, como cáncer, trastornos reproductivos y problemas neurológicos. *O. sativa*, pese a su importante densidad nutricional existe una controversia sobre la acumulación de arsénico (As), metal pesado a razón de los diferentes impactos antropogénicos.

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, EFSA, ha establecido la ingesta diaria máxima tolerada de alimentos contaminados con arsénico de 0.33 mg kg^{-1} en adultos (Arcella et al., 2021), el límite puede ser superado dependiendo de la bioacumulación del arroz y de la cantidad consumida. La OMS ha establecido la ingesta diaria máxima tolerada de arroz contaminado con arsénico de $2,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (Joint FAO/WHO, 2011).

Se ha evidenciado contaminación tanto en suelo como en agua por As a lo largo de la Cordillera de los Andes en países como Perú, Chile, Bolivia y Argentina. Estudios realizados en Ecuador acerca de la existencia de metales pesados en suelos agrícolas de la provincia del Guayas concluyen que existen concentraciones de As y otros metales por encima de los límites establecidos por el Ministerio del Ambiente del Ecuador que es de $5 \mu\text{gL}^{-1}$ para As (Cargua Chávez et al., 2010; Tierra et al., 2018).

Según Joint FAO/WHO (2011), la concentración de As en el suelo debe ser inferior a 20 mg kg^{-1} , mientras que en los arrozales debe ser inferior a 1 mg kg^{-1} de peso seco, cada día hay más sospechas, en efecto, que los altos niveles de As podrían desgastar los suelos, por ende, reducir las cosechas y transferirse a los alimentos (Huayamave Navarrete, 2013).

Dentro de los agroecosistemas el As causa distintas patologías: menor tasa de germinación de semillas, plantas atrofiadas, tasas fotosintéticas más bajas, que indican una menor productividad en los cultivos mencionado por Murugaiyan et al. (2021) involucran una contaminación en el ecosistema por lo consiguiente influye en el ámbito de alimentario. Se consideró estudios a nivel de calidad alimentaria enfocados en las consecuencias en el paciente, además de estrategias para mitigar la ingesta (Cubadda et al., 2017; Nachman et al., 2017). La ingesta de As por bioacumulación en la dieta causa, sobre todo, complicaciones sanitarias graves: toxicidad hepática, neurotoxicidad inducida por estrés oxidativo, alteraciones cromosómicas, melanosis, queratosis, enfermedades ligadas al sistema cardiovascular entre otras. (Asociación Costarricense de Medicina Forense. & SciELO (Online service), 2021; Duan et al., 2022; Thakur et al., 2021).

Lo que ha llevado a organismos internacionales a desarrollar planes para un adecuado control en las plantaciones analizando los productos usados por los agricultores, y a nivel de la

industria alimentaria se desarrollan estudios para evaluar el contenido de As en: agua, suelo, raíz, tallo, hoja y fruto. Para determinar el límite de consumo de As mediante técnicas que cuantifiquen dicho contenido. En el ámbito de salud se busca concientizar la importancia de la ingesta de As en el organismo (Licht et al., 2022).

La biotecnología toma un papel fundamental dentro de este tópico, puesto que combina las tres ramas (agricultura, alimento y sanidad) para ofrecer una respuesta a esta crisis. El propósito de esta investigación es determinar la concentración de los niveles de arsénico contenidos en: agua, suelo, raíz, hoja, fruto de los cultivos que se encuentran en Daule y Ventanas, puesto que determinar la ingesta diaria del metal en el *O. sativa* establecería un nuevo paradigma para autoridades competentes analizar a profundidad sobre este fenómeno adjunto con permitir buscar una solución coherente con dicho problema (Deng et al., 2018).

Planteamiento del problema

El alto contenido de As biodisponible en un agroecosistema, arrozales, generan problemas agrícolas relacionados con la calidad: hojas marchitas, enanismo, semillas infértiles, disminución de biomasa, entre otras. Asimismo, representa riesgos al nivel alimenticio y sanitario, la intoxicación por metales pesados, siendo el As un carcinogénico bioacumulado en la planta que se asocia a diferentes patologías complicadas como: cardiopatías, desarrollo de cáncer, síndrome metabólico, entre otras.

La incertidumbre se genera sobre cuánta cantidad de arsénico se encuentra ingiriendo el consumidor común, en adición con los inconvenientes que pueden registrarse a nivel agrícola. Lo cual destaca un área de investigación prioritaria para la biotecnología agrícola, alimentaria y sanitaria.

Pregunta de Investigación.

¿El contenido As en plantaciones de arroz ecuatoriano cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa del Código Alimentario?

2. Formulación del problema

Justificación

En Ecuador, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2018) menciona que el consumo de arroz promedio es de 42.3 kg mientras que el promedio mundial es 58,4 kg, el cual es alto en comparación con el consumo promedio en Latinoamérica de 38 kg. El arroz tiende a tener concentraciones de As más altas que otros cultivos de cereales (trigo y cebada) debido, a su capacidad para absorber arsénico del suelo y el agua, por sus condiciones de cultivo (inundación). Aumenta el potencial de bioacumulación de As (U.S. Food and Drug Administration, 2016).

A raíz de esa primicia se han realizado estudios por parte de organizaciones enfocadas al ámbito de salud alimentaria, por lo que según El Universo (2024) menciona que muestras de arroz reportadas en un estudio: 76% de ellas presentaron valores de arsénico total de entre 0.20 y 1.0 mg kg⁻¹ cuando el límite máximo de residuos establecido para el metal arsénico en el arroz se ubica en 0.20 mg kg⁻¹ según el Codex, lo que resulta en un daño hacia la inocuidad y bienestar del consumidor.

De esta manera se destaca la importancia de guiarnos con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas, ONU, primicias que buscan mejorar las condiciones de vida a nivel mundial (M. Mishra et al., 2023). Los principales objetivos en este trabajo son: el objetivo 3 que involucra la salud y bienestar además el objetivo

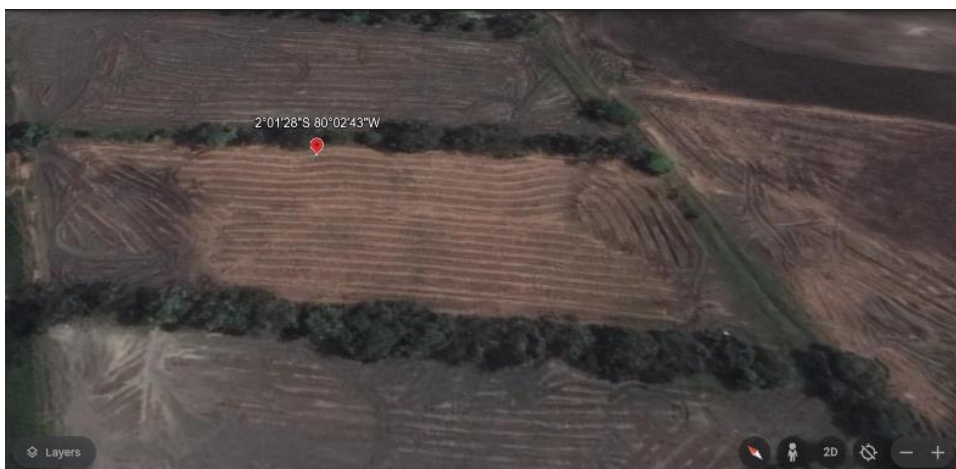
12 relacionado con la producción y consumo responsable. Del mismo modo, con el plan del Buen Vivir a nivel nacional que menciona garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, para implantar una mejora significativa en los consumidores, siendo así que esta tesis tiene la finalidad de determinar la trazabilidad del contenido de arsénico en dos zonas arroceras del litoral ecuatoriano y su impacto en la ingesta alimentaria en los cantones Daule-Guayas y Ventanas-Los Ríos. La cuantificación de As en granos se la realizó empleando la técnica de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). La trazabilidad del contenido de As en arrozales puede utilizarse para analizar el impacto en ingesta de alimentos en los cantones de estudio. Los resultados permitirían determinar los riesgos potenciales para la salud asociados al consumo de arroz proveniente de dichos cantones.

3. Delimitaciones

Localización de plantaciones de arroz en estudio

Figura 1

Área de cultivo orgánico de arroz Daule-Guayas



El área de muestreo en Daule fue ubicada en 2°01'28"S80°02'43"W, en donde la zona es característica de la producción de la gramínea por los agricultores locales.

Figura 2

Área de cultivo orgánico de arroz Ventanas-Los Ríos



El área de muestreo en Ventanas fue ubicada en $1^{\circ}33'26''S79^{\circ}23'4.2''W$. El espacio del estudio se caracteriza por la producción de la gramínea así mismo como el cultivo de tabaco.

4. Objetivos

Objetivo general:

Determinar de la trazabilidad del contenido de arsénico en dos zonas arroceras del litoral ecuatoriano para análisis del porcentaje de ingesta alimentaria.

Objetivos específicos:

- Cuantificar los niveles de arsénico presentes en muestras recolectas (agua, suelo, raíz, tallo, hoja, fruto) de los cultivos arroceros de Daule y Ventanas mediante técnica de ICP-OES.
- Evaluar la bioconcentración y translocación del arsénico en las plantaciones de arroz de Daule y Ventanas.

- Comparar los niveles de arsénico entre 10 marcas comerciales de granos de arroz conforme a los límites permisibles del código alimentario.

5. Hipótesis

H_0 = El contenido de arsénico (As) de los cultivos de arroz del cantón Daule y cantón Ventanas cumplen con una trazabilidad transversal que se ve afectada por el uso de agroquímicos y fuente de agua de riego.

H_1 = El contenido de arsénico (As) de los cultivos de arroz del cantón Daule y cantón Ventanas no cumplen con una trazabilidad transversal y no se ve afectada por el uso de agroquímicos y fuente de agua de riego.

CAPÍTULO 2

6. Marco teórico

Cultivo de arroz

El arroz es una de las plantas más antiguas que existieron, caracterizada por su aporte como fuente de energía por el alto contenido de carbohidratos. Las características básicas del cultivo son: duración de 120-160 días, altura de 1-1.4m, en algunas variedades tardan de 50-55 días de panícula hasta cultivo; requieren de gran cantidad de fertilizante a base de Nitrógeno (N), Potasio (K) y Fosforo (P)(International Rice Research Institute, n.d.).

La siembra de la gramínea se da en zonas tropicales y subtropicales, específicamente, en condiciones de alta concentración de humedad, situados en las partes bajas del paisaje, que se inundan en parte por el agua del flujo superficial o la escorrentía durante la mayor parte del período vegetativo (Moormann & Breemen, 1978). En relación con el sistema edáfico debe conformarse por diferentes componentes que permitan infiltrar el agua.

Análisis de nutrientes en plantaciones arroceras

El conocer qué nutrientes son requeridos en las fases de crecimiento y la capacidad del suelo agrícola es fundamental para una producción rentable. En total son 16 nutrientes significativos para el arroz, siendo los macronutrientes primarios el nitrógeno (N), el fósforo (F) y el potasio (K); en los secundarios encontramos al magnesio (Mg), el calcio (Ca) y el azufre (S); por último, encontramos los micronutrientes que intervienen en el metabolismo de las plantas de arroz y trigo, incluida la síntesis de clorofila, la fotosíntesis, la activación de enzimas y la integridad de las membranas son el zinc (Zn), el manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y el cloro (Cl) (Talukder & Sarkar, 2023).

El arroz blanco es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, al ser una fuente de carbohidratos su principal componente es el almidón, pero el salvado y el germen que son eliminados al pulir, contienen grandes cantidades de micronutrientes y compuestos bioactivos (Ram et al., 2020) la reducción del contenido de nutrientes en el arroz se relaciona con el cambio climático (Smith & Myers, 2019). Diversos estudios han demostrado que no proporciona suficientes micronutrientes para una salud óptima, por lo que se han desarrollado cultivos de arroz fortificados.

En la siguiente tabla se recopiló algunos estudios realizados en el arroz blanco de análisis de la concentración de nutrientes de este.

Tabla 1*Análisis nutricional del arroz*

		Autor
Agua	12.9 g	
Energía	1510 KJ	
Proteína	6.61 g	
Lípidos totales (grasas)	0,58 g	
Carbohidratos, por diferencia	79,3 g	
Calcio	9 mg	
Hierro	0,8 mg	
Magnesio	35 mg	
Fósforo	108 mg	
Potasio,	86 mg	(USDA, 2019)
Sodio	1 mg	
Zinc	1.16 mg	
Cobre	0,11 mg	
Manganeso	1.1 mg	
Vitamina C	0 mg	
Tiamina	0,07 mg	
Riboflavina	0,048 mg	
Niacina	1.6 mg	
Ácido pantoténico	1.34 mg	
Vitamina B-6	0.145 mg	

Folato, total	9 µg
Ácido fólico	0 µg
folato, comida	9 µg
Folato, DFE	9 µg
Vitamina B12	0 µg
Ácidos grasos, saturados totales	0,158 g
Ácidos grasos monoinsaturados totales	0.181g
Ácidos grasos poliinsaturados totales	0.155 g
Colesterol	0 mg

Nota de tabla: Valores referenciales en 100g.

Insumos agrícolas como fuente de metales pesados

El cultivo de arroz requiere de varios insumos agrícolas para una producción óptima que supla las necesidades del mercado por lo que se han usado desde las etapas de siembra hasta su cosecha es decir el uso de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas acompañan en toda la etapa de crecimiento de la gramínea.

Si bien estos suplen su misión de obtener una producción llamativa del cultivo, se revelan consecuencias de sus usos a razón de los ingredientes que se utilizaron en su formulación. A los fertilizantes químicos se los relaciona con contener trazas de metales pesados y metaloides como es el caso de los fertilizantes fosfóricos que contienen una gran cantidad de cadmio (Cd) y una pequeña cantidad de As. Un estudio realizado mediante espectrometría de absorción atómica y espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente a diferentes agroquímicos utilizados en Sri Lanka demostró que los agroquímicos, especialmente los fertilizantes fosfatados, son una fuente importante de arsénico inorgánico, resultando con mayor cantidad de trazas de As en el superfosfato triple (TSP), con un valor medio de 31 mg kg^{-1} (Jayasumana et al., 2015).

El estudio realizado por Chen et al. (2008) con fertilizantes nitrogenados en microcosmos de macetas para analizar la absorción de As en cultivos de arroz. Se comparo con un control tratado con nitrato y otro amonio, los resultados arrojaron que la adición de nitrato produjo la oxidación de Fe (II), mientras que la adición de amonio la inhibición de la reducción de Fe (III) se vio influenciada al analizar la cantidad de As contenida en el arroz. Se conoció que una gran parte del suelo retiene el As móvil, lo que resulta en una reducción en la absorción de este metal.

Taxonomía:

Figura 3
Cultivo de *Oryza sativa*.



Fuente: Los autores, 2023

Tabla 2

Clasificación taxonómica de Oryza sativa.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Ehrhartoideae
Tribu	Oryzeae
Género	Oryza
Especie	<i>Oryza sativa</i> L., 1753

Nota de tabla: GBIF, 2011, *Oryza sativa*

Cultivo orgánico de arroz en Ecuador

En Ecuador se producen cultivos orgánicos de arroz en provincias como Manabí y Guayas, donde los productores optaron por un proyecto piloto de agricultura orgánica del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). El proyecto implica técnicas agroecológicas como el uso de microorganismos y abonos orgánicos (L. Zambrano, 2022).

Algunos aspectos clave de este tipo de cultivo incluyen: uso de sistemas de campos inundados, rotación de cultivos, rotación de labranza, cultivos de cobertura, técnicas de gestión del agua, selección de semillas, métodos de control de plagas o enfermedades, fertilización orgánica, prácticas cuidadosas de cosecha y almacenamiento. Estos métodos ayudan a mejorar la salud del suelo, reducir la contaminación del agua, además de producir arroz con menos residuos de pesticidas (Held, 2021).

Producción de arroz en Daule

El cultivo de arroz ha concentrado una gran superficie agrícola en el cantón Daule (Ecuador) que es parte importante de la economía y paisaje agrícola de la región costera, conocida como la capital del arroz del Ecuador (Silva, 2015). La eficacia de la producción en la región se estima de alrededor de 48 mil hectáreas sembradas, por lo que, el rendimiento de 4.8 t/h, la más alta del país según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022). En adición el 7 de octubre del 2022 agricultores del cantón fueron beneficiados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) con fertilizantes de urea para mejorar la productividad o rendimiento en cultivos de *O. Sativa*.

Un estudio realizado por (Barzola, 2012) demostró que el suelo de Daule carece de macronutrientes principales por lo que se ha obligado a los agricultores a utilizar fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos. Sin embargo, el cantón se enfrenta a desafíos debido a su

susceptibilidad a fenómenos climáticos extremos, el fenómeno del niño, lo que pone de relieve la importancia de la gestión del agua o estrategias de adaptación para el cultivo sostenible del arroz.

Producción de arroz en Ventanas:

Ventanas es un cantón ubicado en la provincia de Los Ríos ocupa el 36% de la superficie sembrada con 49,566 ha (Aguilar et al., 2016) por lo que se ubica en las principales provincias del país que se dedican a la agricultura además se caracteriza también por la producción de diversas gramíneas de importancia alimentaria entre ellas, el arroz. Con una productividad de 4.2/t-1 (Zambrano et al., 2019), de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022) esta producción está dentro de los primeros ingresos económicos de la región, de igual manera la provincia de Los Ríos es la segunda provincia que más arroz produce, el 23% a escala nacional.

La producción agrícola se ha introducido mecanización en la preparación del suelo y la cosecha, se conserva prácticas manuales en la siembra, fertilización y control de malezas. Se requiere implementación de nueva tecnología para incrementar la producción y mejorar la rentabilidad (Valladares, 2018). De tal manera que la producción arroceras se caracteriza por el uso de fertilizantes nitrogenados donde se da por liberación lenta, lo que ha mejorado la calidad del cultivo se reportó más peso en el grano, una mayor aparición de panículas (Vera, 2019).

Empero, la crisis climática afecta a los cultivos hasta el punto de que se encuentran desalentados por los efectos del invierno y la proliferación de enfermedades en los cultivos, lo que se traduce en una baja productividad que recae en la caída de la producción del 50%, en promedio mencionado por Banco Central del Ecuador (2016).

Metales pesados

Los metales pesados son considerados según la tabla periódica como elementos químicos de alta densidad (mayor a 4 g/cm^3), masa y peso atómico por encima de 20 g/mol y son tóxicos en concentraciones bajas. Ejemplos estos elementos son: Aluminio (Al), Arsénico (As), Berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros (Londoño Franco et al., 2016).

En la actualidad, uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación del agroecosistema arrocero por metales pesados, debido a la toxicidad que presentan estos en el agua usada en suelos agrícolas que como consecuencia disminuyen la productividad de los cultivos. Sin embargo, el aumento de la concentración de metales pesado es resultado de actividades antropogénicas y geológicas que elevan los efectos nocivos de estos, de modo que representa un problema para los habitantes de las poblaciones aledañas (S. Mitra et al., 2022).

Arsénico (As)

El As es considerado un elemento químico dentro de la tabla periódica; su símbolo es As junto con el número atómico 33. Es un sólido metálico grisáceo que se vuelve negro al exponerse al aire. En plantas y animales este elemento se mezcla con carbono (C) e hidrógeno (H) para formar As orgánico el cual es utilizado para la fabricación de pesticidas (National Center for Biotechnology Information, 2023). La liberación de este al medio ambiente se propaga a través de procesos de meteorización y minería, así como fenómenos naturales como la actividad volcánica. Este último se lo reconoce como arsénico inorgánico (iAs), se encuentra en agua, suelos, partículas en el aire y en alimentos (Carlin et al., 2016).

Las personas están expuestas a niveles elevados de iAs a través del consumo y uso de agua contaminada en la preparación de alimentos, además del riego de cultivos alimentarios, los

procesos industriales, la ingestión de alimentos contaminados y el consumo de tabaco (WHO, 2022).

Toxicidad de Arsénico

La etiología del As es un metaloide distribuido en la corteza terrestre y el agua subterránea que además puede ser un subproducto de procesos geológicos y antropológicos. De tal manera que generan especies reactivas preocupantes en el ecosistema: el arseniato (As V) y el arsenito (As III), este último el más tóxico mencionado por Kuivenhoven M (2023). El pronóstico de toxicidad por arsénico es muy variable dependiendo del estado de As, la cantidad ingerida y la duración de la exposición. El As es considerado como un teratogénico y carcinógeno en diferentes áreas: piel, pulmón, vejiga y carcinoma hepatocelular (kaur et al., 2023).

Suelo

El suelo es la superficie sólida usada en la agricultura, su composición es a base de diferentes partículas orgánicas e inorgánicas que proporcionan un soporte a las plantas.

Los suelos de cultivo predominantes en el cantón Daule son arcillosos, de poca a moderada profundidad, con drenaje regular a pobre y fertilidad media a alta. Estos suelos dominantes constituyen el 86.20 por ciento del área del cantón, que son aproximadamente 47,229 hectáreas (GAD, 2015).

Dinámica de As en suelo

El elemento As es un metaloide reconocido como una toxina ambiental que se encuentra naturalmente en todos los suelos, el cual puede afectar la fertilidad del suelo, reducir la actividad microbiana, reduce la biodiversidad y el rendimiento de cultivos. Las concentraciones naturales

de arsénico en el suelo oscilan entre 1 a 40 mg kg⁻¹ (Texas: Health and Human Services, 2023), con concentraciones más altas en algunas áreas.

El tipo de suelo, la estructura, las propiedades, los componentes minerales y el pH influyen en gran medida las interacciones de As, la movilidad y la disponibilidad de As en suelos adjunto con la bioacumulación por parte de las raíces de plantas; la mayor disponibilidad asimismo la toxicidad se evidencia en suelos arenosos, pero más bajos en suelos franco, arcillosos y limosos (Anawar et al., 2018).

En el ámbito de la agricultura, la toxicidad en las plantas se da por diferentes mecanismos adjunto con la cantidad biodisponible en suelo y agua. El ingreso de As es forma inorgánica, As (III) o As (V), mediante proteínas transportadoras (proteínas NIP) por consecuencia generan especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daños a nivel molecular, morfológicos (clorosis, reducción en el número de hojas, necrosis) y fisiológicos (Abbas et al., 2018).

Agua

El agua de riego puede provenir de aguas subterráneas (GW), manantiales o pozos, aguas superficiales, ríos, lagos o embalses, o incluso de otras fuentes como aguas residuales tratadas o agua desalinizada. Es imperativo mantener la producción de frutas, verduras y cereales que alimentan a la población mundial (Water Science School, 2018). Pueden ser una fuente de contaminación si no se maneja adecuadamente, es muy importante que los agrícolas ser una fuente de contaminación si no se maneja adecuadamente, es muy importante que los agricultores protejan las fuentes de agua agrícolas para minimizar el potencial de contaminación.

Dinámica de As en agua

En los cuerpos de agua naturales la forma más común de As encontrado es el inorgánico. La concentración de As en estos cuerpos de agua se encuentra influenciados por condiciones biológicas y ambientales como: pH, actividad microbiana, elevada concentración de P también niveles de productividad. Este tipo de As es absorbido por microorganismos acuáticos para proceder a ser metiladas a su forma orgánica a través de diferentes vías de eliminación, es decir la cantidad de este metal es proporcional a la actividad microbiana (N. Wang et al., 2022).

La contaminación As de las aguas subterráneas (GW) es un problema grave en muchos países del mundo, además de considerarse una amenaza global (Rahaman et al., 2022).

Bioacumulación de As en arroz

La contaminación por As puede ser de origen natural, que entra al arroz por el suelo, ya que las plantaciones están construidas en llanuras aluviales, por lo que el mismo lo absorbe. La bioacumulación de As en arroz depende de muchos factores como: método de cultivo, la concentración del metal en el suelo y el agua de riego. Por lo que resulta en una amenaza importante para la salud pública debido a la contaminación en cadena alimentaria. Las raíces de las plantas pueden absorber el As del suelo y trasladarlo a varias partes de las plantas mediante difusión (Gupta et al., 2022).

La bioacumulación de As en plantas de arroz puede reducir significativamente la altura de las plantas, la biomasa de los brotes y la producción de semillas (Estrella Salvador & Yépez Villacis, 2017). La bioacumulación de As en plantas de arroz puede reducir significativamente la altura de las plantas, la biomasa de los brotes y la producción de semillas (Estrella Salvador & Yépez Villacis, 2017). El arroz se cultiva mediante inundación natural con agua de lluvia durante la temporada de los monzones, a través del riego con agua subterránea (GW) o agua superficial

(SW) durante la temporada sin monzones. Por lo tanto, la composición de As y otros elementos controla la migración de estos durante las inundaciones. GW y SW están naturalmente sindicalizados o mínimamente ionizados (Azam et al., 2023).

Factor de bioconcentración (FBC)

El factor de bioconcentración (FBC) tiene la finalidad de cuantificar la concentración de un metal específico en una parte de la planta, raíces, tallos, hojas además de determinar la correlación entre el metal de interés con el suelo. La aplicación del FBC pretende determinar si la especie es una planta acumuladora de metal pesado. Solo si el resultado del cociente es >1 (T. Mishra & Pandey, 2019).

La fórmula para determinar FBC es:

$$FBC = \frac{\text{Metal (parte de la planta)}}{\text{Metal en suelo}}$$

Factor de translocación (FT)

El factor de translocación es un cociente que mide la transferencia del metal desde las raíces de la planta hasta cualquier parte aérea. Para determinar la predisposición de las plantas para transferir el metal esta dado en base a: Si TF es >1 , hay mayor transferencia del metal, si es <1 entonces hay menor transferencia, si es $= 1$ indica que la concentración de metales pesados es igual a la medida del suelo por lo que no existe preferencia por la transferencia del metal desde el suelo a la planta (Mng'ong'o, 2023).

La fórmula para determinar TF es:

$$TF = \frac{\text{Metal en parte aérea}}{\text{Metal en la raíz}}$$

Variable no controlada: condiciones climáticas (fenómeno del niño)

El estudio se desarrolla entre octubre y enero del año 2023 en Ecuador, Daule al ser aledaño a una zona costera, esta afectación grave por el fenómeno del Niño que, según la Secretaría de Gestión de Riesgos (2023), causa Caudales, disminución de la productividad y precipitaciones fuertes.

Impacto biotecnológico

En la actualidad la biotecnología juega un rol vital para mejorar la calidad de producción alimentaria bajo un enfoque sustentable, siendo uno de sus impactos conocidos el desarrollo de alternativas naturales hacia una crisis de contaminación por parte de diversas practicas agronómicas que resultan en un aumento de diferentes concentraciones de especies reactivas capaces de afectar la salud del consumidor (Ferne & Sonnewald, 2021). El grave problema del consumo de metales pesados, como el arsénico (As), tiene amplias repercusiones en múltiples ámbitos, incluyendo la agricultura, la alimentación y la salud. Es imperativo buscar soluciones efectivas a corto, medio y largo plazo que beneficien a toda la comunidad involucrada, desde los productores de arroz hasta los agricultores y consumidores

Una de las estrategias para mitigar las presencia de metales pesados es la biorremediación directamente en plantaciones mediante el uso de microorganismos inoculados en la rizosfera del cultivo en donde se ha identificado hongos con capacidad de adherir a su pared celular el metal entre ellos está: *Westerdykella aurantiaca* (Verma et al., 2018), *Aspergillus niger*, micorrizas arbusculares entre esas están identificadas, *Glomus clarum*, *G. intraradices*, *Paraglomus occultum*, y *Scutellospora pellucida* (D. Mitra et al., 2022).

Desde el ámbito de soluciones enfocadas a biomateriales se evidencio que el agregar encapsulados de ácido de sílice en suelo redujo a 0.17 mg kg⁻¹ a los granos de arroz (H. Wang et

al., 2022). En adición, según lo mencionado por (Jalil et al., 2023) las nanopartículas de óxido de Zinc (nZn) han sido agentes pivótales en la reducción del As en los cultivos a razón de su estructura química que permite crear enlaces, así como buscar ROS. Bajo un punto de vista molecular la identificación de los transportadores (OsNRAMP1) que regulan la absorción de este metal (Chu et al., 2022) podrían mejorar la inocuidad alimentaria con un grano libre de As con modificaciones genéticas.

Criterios de calidad en la producción de cultivos arroceros BPA

Existen criterios de calidad en la producción de cultivos de arroz conocidos como Buenas Prácticas Agrícolas o BPA en donde se detalla una serie de medidas en los diferentes estadios del crecimiento del arroz es decir desde el establecimiento del terreno, elaboración del semillero, el trasplante, cosecha asimismo como pautas para el control de malezas, el manejo del agua y el manejo integrado de plagas (MIP).

El arroz ecuatoriano debe cumplir con las siguientes condiciones propuestas por (Agrocalidad, 2015) con el objetivo de obtener la certificación:

Se debe contar un croquis y/o mapa que detalle de manera precisa la ubicación adjunto con las referencias y distribución del terreno de siembra, de manera certificada por un profesional que además evalúe los inminentes peligros ambientales y a la salud humana con el fin de garantizar la inocuidad alimentaria.

En el apartado de requerimientos medioambientales y gestión del suelo menciona características en donde el cultivo de arroz se puede cosechar adjunto con detalles técnicos que determinen la fertilidad del suelo, el riesgo a contaminación por metales pesado, análisis químico del suelo. Por lo tanto, la preparación del terreno involucra el levantamiento topográfico y curvas

de nivel, la eliminación de residuos que no sea la quema, en adición los canales tienen pendiente adecuada para evitar erosión o acumulación de sedimentos. El uso de cualquier agroquímico (herbicidas, fertilizantes orgánicos e inorgánicos), así como la desinfección deben ser autorizadas por AGROCALIDAD.

En cuanto a la protección de cultivos con MIP menciona como primera instancia el uso de alternativas naturales es decir soluciones a base de productos naturales (bioproductos), controles culturales, físicos o biológico y como última instancia un control químico con plaguicidas que para su uso deben estar registradas en AGROCALIDAD por lo que MIP debe estar a cargo de un profesional que seleccione el plan correcto y sus limitaciones. La aplicación de estos químicos debe supervisarse con el equipo de protección adecuado, EPP, deben lavado por separado y almacenarse tras cada uso en la bodega exclusiva acondicionado a los plaguicidas usados.

Para el manejo del agua se define la identificación de fuentes que cuenten con una legalización, un sistema de distribución renovable que cumpla con los criterios de calidad de agua de riego mencionados por el Ministerio de Ambiente además de sus posibles riesgos de contaminación. La planificación para su uso debe tener medidas sustentables optimizadas con controles anuales. De esta manera se da un enfoque a la trazabilidad de la producción desde el origen de las variedades usadas, cosecha, poscosecha hasta su comercialización para asegurar la conformidad del consumidor.

Cálculo de estimación ingesta diaria consumible de metal pesado:

La estimación de ingesta diaria (EDI) hace referencia a la cantidad de una sustancia consumida a través del alimento durante el día. Así mismo la ingesta diaria aceptable (ADI, en

inglés) definida como la ingesta diaria de una sustancia durante toda la vida de un ser humano que no cause repercusiones en la salud humana (Gray, 2024).

Tabla 3

Establecimiento de límites de ingesta diaria de As

Cantidad máxima tolerada de As			
Organismo regulador	Concentración (mg kg⁻¹)	Requerimiento	Autor
OMS	2,1	Alimento	(Joint FAO/WHO, 2011)
EFSA	0.00033	Alimento	(Arcella et al., 2021)
EPA	0.00001	Agua	EPA 815-F-00-016 (EPA, 2001)
FSANZ	1	Alimento	(Ashmore et al., 2019)

OMS: Organización Mundial de la Salud

EFSA: La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

EPA: Agencia de protección ambiental de Estados Unidos.

FSANZ: Food Standards Australia New Zealand.

La importancia del desarrollo de este cálculo es debido a la creciente exposición a metales pesados dentro de productos locales que se comercializan por lo consiguiente (Arcsa, 2023), *O. sativa* al ser una planta imperativa en la dieta de la población amerita desarrollar la estimación del contenido de As como ya fue realizado en otros países (Batista et al., 2011).

La fórmula estaba basada en lo descrito por Shao et al. (2023)

$$EDI = \frac{CF \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Tabla 4

Descripción de parámetros establecidos

Parámetro	Descripción	Valores asignados	Unidades	Referencias
CF	Concentración de metal en arroz	-	mg kg ⁻¹	En este estudio
EF	Frecuencia de exposición	365	día/año	
IR	Ingesta de arroz	-	g/día	En este estudio
ED	Duración de exposición	70	Años	
BW	Peso	67,9	Kg	
AT	Tiempo de exposición promedio	365× ED 365 ×70	Día	

Evaluación de riesgo Humano:**Riesgo no carcinogénico:**

$$HQ = \frac{EDI}{RfD}$$

HQ: Cociente de peligro

EDI: Ingesta diaria estimada

RfD (mg/kg⁻¹ /día⁻¹): dosis referencial del metal pesado (0.0003mgkg⁻¹ As (EPA, 2000))

Se resalta que al ser cociente de peligro (HQ) si este es mayor a 1 se considera como un riesgo potencial de un efecto no carcinogénico.

Evaluación de riesgo carcinogénico:

$$CR = EDI \times SF$$

CR: Riesgo Carcinogénico

EDI: Ingesta diaria estimada

SF: Factor pendiente del cáncer ($1.5 \times 10^{-3} \text{ mg/kg}^{-1} / \text{día}^{-1}$ As (Ferreira-Baptista & De Miguel, 2005))

CAPÍTULO 3

7. Materiales y métodos:

Se realizó una revisión bibliográfica de tema de interés mediante base datos válidas como: Scopus, NCBI, Wiley, WHO, FAO, ELSAVIER. De tal manera que se evidenció investigaciones nacionales e internacionales acopladas a la temática además de las normativas internacionales para la presencia de As en los cultivos y alimentos. Por lo consiguiente, se desarrolló un fichaje crítico que permitió separar los artículos de interés en diferentes segmentos para la investigación.

La toma de muestra se realizó en dos haciendas ubicadas en el cantón Daule, cabe recalcar que se solicitó a los dueños del lugar la autorización correspondiente.

8. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizará es un diseño factorial. En este tipo de diseño, se manipularon dos o más factores al mismo tiempo para estudiar su efecto sobre una variable de respuesta. En este estudio, los factores son la localidad (Ventanas y Daule) y el componente del cultivo (agua, suelo, raíz, tallo, hojas, granos y granos comerciales). La variable de respuesta es el nivel de arsénico.

Se realizará un análisis estadístico ANOVA para analizar los datos de este diseño. La ANOVA es una prueba estadística que se utiliza para comparar las medias de dos o más grupos. En este caso, los grupos se definen por la combinación de los factores localidad y componente del cultivo.

Las variables dependientes son las variables que se miden en el experimento y que se espera que cambien como resultado de la manipulación de los factores.

En este caso, la variable dependiente es el nivel de arsénico.

Las variables independientes son las variables que se manipulan en el experimento.

En este caso, las variables independientes son la localidad y el componente del cultivo.

La siguiente tabla contiene

Tabla 5

Variables estadísticas

Factor	Niveles
Localidad	Ventanas, Daule
Componente del cultivo	Agua, suelo, raíz, tallo, hojas, granos, granos comerciales
Variable de respuesta	Fórmula estadística
Nivel de arsénico	ANOVA de dos factores

Los resultados del ANOVA de dos vías mostrarán los valores p para cada efecto. Un valor p menor que 0,05 indica que el efecto es estadísticamente significativo. (Es decir muestran diferencias significativas entre tratamientos). Para el análisis estadístico se usó el software Infostat 2020.

El ANOVA de dos vías es una herramienta estadística útil para evaluar los efectos de dos permite comprender la trazabilidad en la ciudad de Daule y Ventanas sobre los niveles de arsénico en diferentes partes del cultivo de arroz.

9. Recolección de muestras en el agroecosistema arrocero

El período en que se recolectaron las muestras fue de septiembre-octubre del 2023.

Suelo y foliares

Se recolectaron las muestras de suelo y foliares conforme a la metodología establecida por (Agrocalidad, 2018) Respaldada por la norma ISO IEC/17025. Se tomaron seis submuestras en cada hectárea de muestreo en ambas áreas dándose 12 muestras recolectadas para suelo donde se extrajo un kg, se guio con un patrón en zigzag a 20 cm de profundidad. Así, se recolectaron 24 muestras de foliares (Tallos, hojas, granos y raíces), donde las hojas recolectadas eran jóvenes químicamente estables, de igual manera de raíces tomadas de plantas cercanas a floración. Las muestras se las introdujo en fundas Ziploc rotuladas para su análisis en el laboratorio.

Agua

Se baso en la metodología (Agrocalidad, 2020), donde se tomó un litro de agua de diversas fuentes de riego que se encontraron en el lugar. El agua se colocó en envases de plástico y rotuladas, se obtuvieron 12 muestras recolectadas.

Granos comerciales

Los granos comerciales se consiguieron en mercados y piladoras locales ubicados en el cantón Daule y cantón Ventanas de cinco diferentes marcas con el fin de verificar una trazabilidad transversal en los datos. Siendo listos para la venta, ya han pasado un tratamiento industrial de secado, conservación y pulidos.

10. Recursos

Proceso de digestión

La digestión de muestras es el proceso por el cual se usan reactivos para liberar los metales presentes en las formas orgánicas e inorgánicas presentes. Es imperativo escoger el método adecuado para digerir cada una de las muestras en base a las características de estas adjunto con el objetivo de estudio. Por lo que, uno de los métodos más usados es la digestión por microondas en donde se usa ácido nítrico libre de metales se someten a analizarse en un microondas a temperaturas arriba de 100°C (Barros et al., 2016).

Proceso de secado

Uno de los parámetros a seguir para en base a los protocolos seleccionados es la remoción completa de la humedad de la muestra, es decir implementar un proceso de secado para obtener una muestra homogénea. Existen varias metodologías para secar muestras como secado al sol o al medio ambiente, y existe una alternativa en el laboratorio, la estufa. El equipo de laboratorio tiene una base en la circulación de aire a una temperatura previamente determinada. (Thamkaew et al., 2021)

Proceso de obtención de muestra

Una vez que la muestra se encuentre completamente seca se realiza el proceso de pesado y colocar la misma en tubos eppendorf rotulados. Al obtener la muestra, un punto importante es seguir un protocolo, en este caso Agrocalidad 2020 y una correcta asepsia para evitar contaminación cruzada, además de garantizar precisión en los resultados obtenidos. Las muestras obtenidas se utilizarán para la verificar si existe una trazabilidad del contenido de arsénico en ambas zonas arroceras del litoral ecuatoriano y su impacto en la ingesta alimentaria.

Figura 4
Secado de muestra en estufa.



Por lo consiguiente, se procedió con la molienda en un mortero hasta conseguir un polvo fino, posterior se tamizo a 250um cada una de las muestras, exceptuando muestras acuosas.

Figura 5
Tamizado de muestra.



Protocolo de digestión de muestra

En el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana se realizó la digestión del suelo, hojas, granos y tallos de la siguiente manera:

1. Se colocó 0,5 g de la muestra en los tubos de digestión, se agregó 10ml de ácido nítrico puro. Se cierran correctamente los tubos (todo el proceso de trabajo en sorbona).
2. Se configuró el programa de digestión (CEN MARS 6) indicado para el tipo de muestra en el digestor.
3. Se dejó reposar en la sorbona las muestras ya digeridas sin tapa por 15 min.
4. Se colocó 10 ml de ácido nítrico al 2% para bajar la concentración, se procede a filtrar con un papel filtro libre de metales.
5. Se enrasó en un matraz aforado de 50ml con ácido nítrico al 2%.

Figura 6

Protocolo de Digestión de muestras sólidas.



Las muestras de agua fueron digeridas en el laboratorio del Consorcio ILM-Guayaquil.

1. Se tomó una alícuota de 100ml de la muestra y colocarle 3ml de ácido nítrico puro.
2. Se evaporó casi a sequedad
3. Se agregó 5ml más de ácido nítrico puro y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

4. Regresó a placa de calentamiento, aumentó temperatura hasta reflujo.
5. Se completó hasta digestión total.
6. Se agregó 2ml de ácido nítrico y calentar hasta disolución del residuo.
7. Se lavó con agua tipo 1 y filtrar.
8. Finalmente, se llevó a volumen de 100ml

Figura 7

Protocolo de Digestión de muestras acuosas.

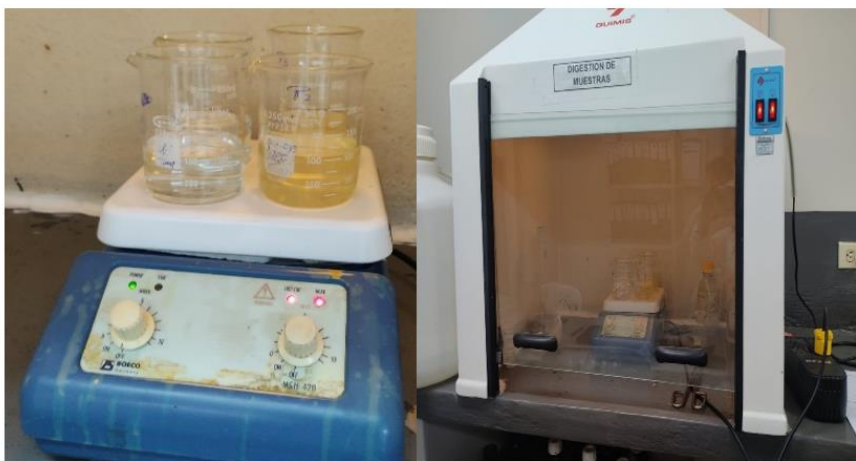
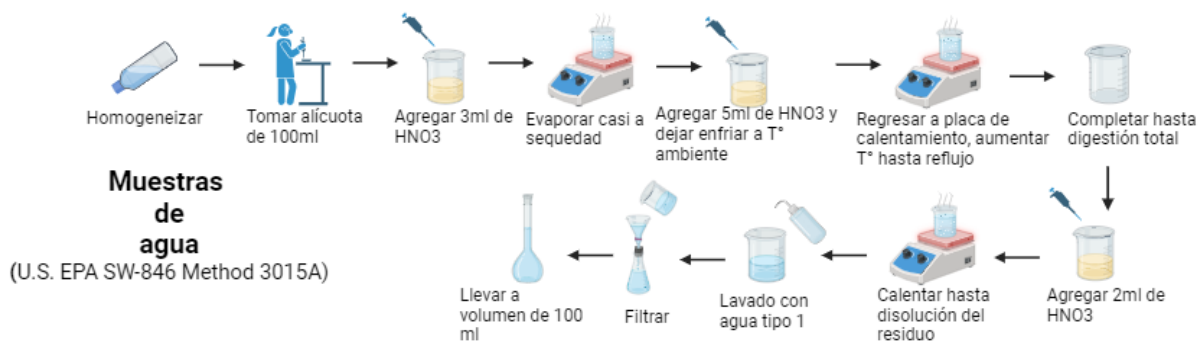
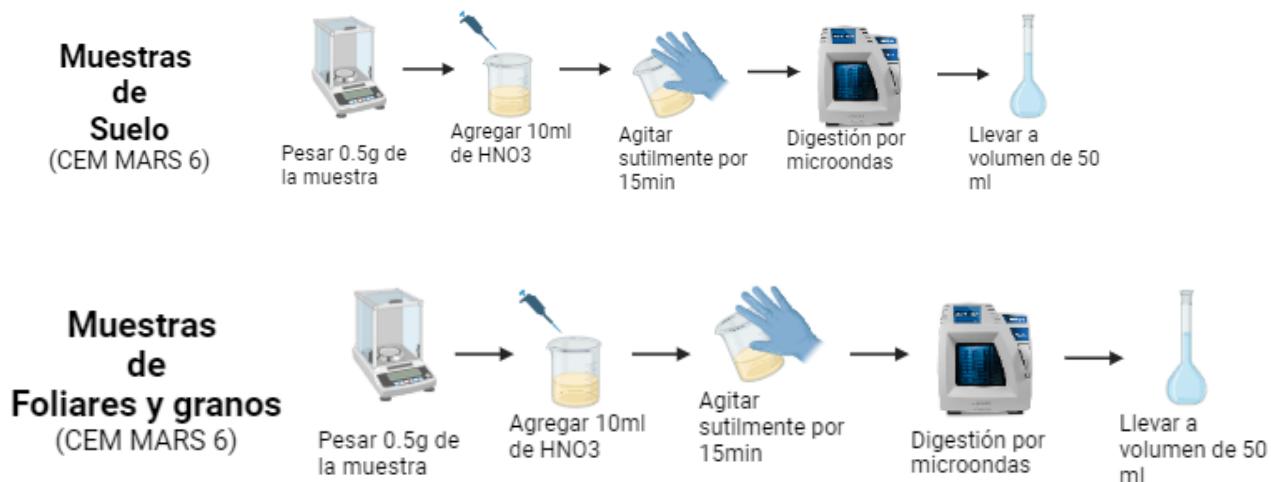


Figura 8

Esquema de digestión de muestras





Cuantificación de Arsénico por ICP-OES

La Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo es un método validado para la detección y cuantificación de metales pesados en distintos tipos de muestras. El equipo utilizado para analizar es ICP-OES ThermoScientific 7400 duo.

El principio de funcionamiento del ICP-OES se basa en el uso del gas Argón para inducir el plasma acoplado por radio frecuencia, donde la muestra líquida se convierte en aerosol por las altas temperaturas del equipo (8000-10000K). Por lo que, dentro del plasma, las muestras son atomizadas e ionizadas lo que resulta en emisión de espectros atómicos que el detector de luz mide su intensidad (monocromador), al finalizar los datos son procesados por un equipo informático. (Khan et al., 2022)

Figura 8

Equipo ICP-OES.



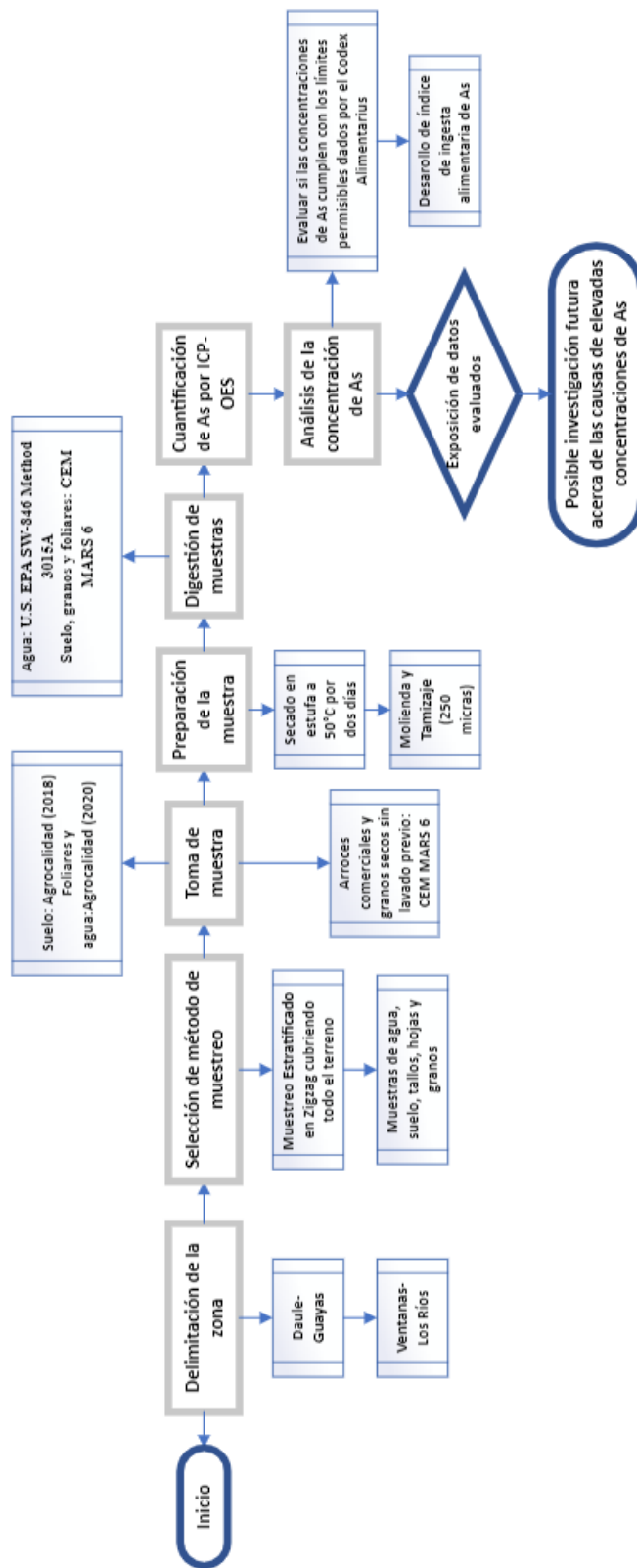
Digestión de la muestra:

De esta manera garantizamos la representatividad de muestras para análisis de metales pesados. La metodología se base en la digestión asistida por microondas para ICP-OES establecida por CEM-Corporation y ThermoScientific para suelo, muestras sólidas, arroz y para muestras acuosas el protocolo se basó en la norma EPA, en específico U.S. EPA SW-846 Method 3015A.

Control de calidad de muestras:

La utilización de blancos, el trabajo demuestras por triplicado en el equipo así mismo la utilización del estándar para As (AA03N-1) del National Institute of Standard and Thecnology, adjunto con estándar interno. Los límites de detección para As fueron $0.0086 \text{ mg kg}^{-1}$ ([Anexo 8](#)) La exactitud y precisión de los análisis de todas las muestras cumplieron con las especificaciones.

Flujograma del proceso:



CAPÍTULO 4

11. Resultados y discusión

Cuantificar los niveles de arsénico presente en muestras recolectas (agua, suelo, raíz, tallo, hoja, fruto) de los cultivos arroceros de Daule y Ventanas mediante técnica de ICP-OES.

Se cuantificó las diferentes muestras pertenecientes a los dos agroecosistemas Daule y Ventanas, en donde se identificó valores en de As en mg kg^{-1} , observándose resultados imperativos para la trazabilidad que permitirá evaluar los niveles del metal encontrados de manera individual en las partes de las plantas y su medio en que se desarrolla. A continuación, en la Tabla 6 se evidencia las medias y la desviación estándar seguidas de la concentración de As en cada una de las muestras de los agroecosistemas.

Tabla 6

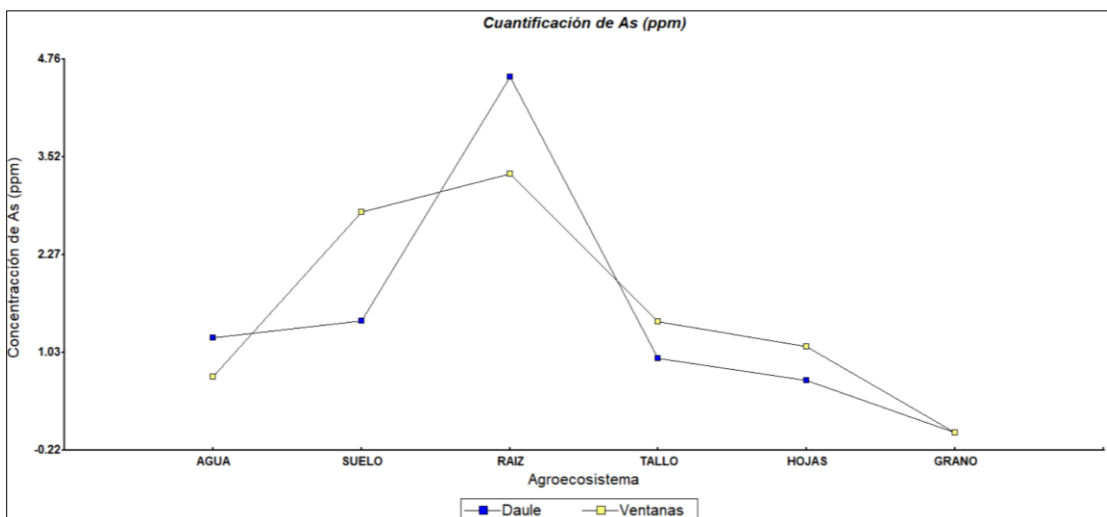
Trazabilidad de As en los agroecosistemas

	Media \pm SD (mg kg^{-1}) (Mínimo - Máximo)					
	Arsénico					
	Agua	Suelo	Raíz	Tallo	Hoja	Grano
Daule	1.217 \pm 0.504 (0.6-2.1)	1.433 \pm 0.432 (0.8-2.)	4.533 \pm 1.224 (2.2 -5.6)	0.950 \pm 0.539 (0.3-1.8)	0.667 \pm 0.280 (0.3-1)	1.700 \pm 0.854 (0.80-2.50)
Ventanas	0.717 \pm 0.454 (0.3-1.4)	2.817 \pm 0.954 (2.1-4.6)	3.300 \pm 0.881 (2.2-4.4)	1.417 \pm 0.436 (1-2.1)	1.033 \pm 0.809 (-0.3-1.7)	1.800 \pm 0.781 (1.30-2.70)

A continuación, se presentan gráficas de perfiles multivariados en relación con la concentración de As en los agroecosistemas usando siete variables para evaluar la cantidad de metal pesado en cada una de las partes de planta y medio.

Figura 9

Concentración de As en agroecosistemas: Daule y Ventanas.



El análisis de trazabilidad de metales pesados en los alimentos permite establecer límites de consumo con el fin de mejorar la calidad de vida de los consumidores. La evaluación de la trazabilidad dentro de los cultivos de arroz de grano largo en Daule y Ventanas para medir el metal pesado, As, bioacumulado por la planta permite investigar sobre la ingesta diaria de As por parte del consumidor ecuatoriano. Es imperativo resaltar que las condiciones climáticas actuales (Fenómeno del niño) pueden variar las estimaciones de As biodisponible en el suelo, agua, raíz, partes áreas de *O. sativa*.

Los valores del agua de riego están por encima de la normativa (EPA, 2001) y los reportados en investigaciones de Otero et al.(2016) 0.00367 en Guayas y 0.00103 en la provincia de Los Ríos por lo que existe un aumento en la biodisponibilidad de As en el agua usada para el riego. Se ve una diferencia significativa entre los valores de raíz entre los dos agroecosistemas, siendo estos los más altos recopilados.

La concentración de As en suelo muestra una clara diferencia entre Ventanas y Daule, siendo este último en menor cantidad esta reducción de 1.38 mg kg^{-1} significa que puede haber condiciones en el suelo que aumenten las condiciones del metal, sin embargo, en la raíz perteneciente a Daule tiene una concentración elevada de As, 4.533 ± 1.22 , la más alta registrada en todo el estudio, lo que indica el traspaso del metal por medio de mecanismos de la rizosfera, así como lo menciona (Sultana et al., 2023). Los tallos presentaron una diferencia significativa, donde el Cantón Ventanas poseen elevados valores de As. En el apartado de Hojas se evidencia cómo Ventanas tiene una mayor concentración de As que en Daule de esta manera se confirma la hipótesis alternativa ([Anexo 4](#)) lo que indica una diferencia significativa entre las medias y valores por debajo de lo registrado por (He et al., 2020; Yao et al., 2021). Los valores se encuentran dentro de los rangos establecidos en ([Anexo 2](#)) en ciertas partes, sin embargo, se registran valores más bajos a esos niveles.

En relación con los parámetros analizados se muestra cómo la concentración del metal en las dos zonas presenta diferencias significativas debido a las prácticas agrícolas de la región, uso de agroquímicos, prácticas culturales, condiciones climáticas, entre otras por consiguiente Ventanas tiene una mayor concentración de As en sus partes aéreas que Daule debido al As biodisponible en el suelo que no puede ser absorbido por los microorganismos en la rizosfera.

Los estudios han demostrado que el calentamiento del suelo aumenta la disponibilidad de arsénico en la rizosfera del arroz, lo que indica la influencia de factores ambientales en la absorción de As por las plantas de arroz. (Neumann et al., 2017)

A pesar de que Ecuador sea un productor grande de arroz, la falta de estudios para el establecimiento del límite permisible consumible es concertante, no obstante, información

recopilada de otros países de determinan un orden de biodisponibilidad de As a lo largo de la cadena de cultivo siendo: agua, suelo, raíz, hoja, tallo, grano (Suriyagoda et al., 2018).

Evaluar la bioconcentración y translocación del arsénico en las plantaciones de arroz de Daule y Ventanas.

Se evaluó el factor de bioconcentración y translocación a las diferentes muestras pertenecientes a los dos agroecosistemas Daule y Ventanas, en donde se identificó valores mayores a 1 en ambos casos, estos resultados nos permitirán conocer si la planta es bioacumuladora del metal As además del movimiento del metal a partes aéreas de la planta, los datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7

Factor de bioconcentración y traslocación del cantón Daule y Ventanas

AGROECOSISTEMA	Muestras	Concentración de As (mg kg ⁻¹)			
		Parte aérea	Parte radicular	FBC	FT
DAULE	1	3.10 ± 1.09	2.20 ± 1.22	3.31 ± 1.51	1.41 ± 0.43
	2	3.80 ± 1.09	5.30 ± 1.22	5.35 ± 1.51	0.72 ± 0.43
	3	1.10 ± 1.09	4.50 ± 1.22*	7.00 ± 1.51*	0.24 ± 0.43
	4	2.30 ± 1.09	4.50 ± 1.22*	6.18 ± 1.51	0.51 ± 0.43
	5	1.30 ± 1.09	5.60 ± 1.22	3.45 ± 1.51	0.23 ± 0.43
	6	3.20 ± 1.09	5.10 ± 1.22	5.93 ± 1.51	0.63 ± 0.43
VENTANAS	1	2.40 ± 1.27	3.10 ± 0.88	1.77 ± 0.81	0.77 ± 0.76
	2	2.90 ± 1.27	2.40 ± 0.88	2.41 ± 0.81	1.21 ± 0.76
	3	5.80 ± 1.27	2.20 ± 0.88	3.81 ± 0.81	2.64 ± 0.76*
	4	2.70 ± 1.27	3.90 ± 0.88	3.00 ± 0.81	0.69 ± 0.76
	5	3.60 ± 1.27	3.80 ± 0.88	1.61 ± 0.81	0.95 ± 0.76
	6	2.70 ± 1.27	4.40 ± 0.88	2.63 ± 0.81	0.61 ± 0.76

Nota de tabla: * valor más alto registrado, ± desviación estándar.

De tal manera que permite graficar las interacciones entre las zonas de estudio para establecer una comparación con el objetivo de verificar la existencia de una diferencia significativa entre los resultados encontrados de los dos factores: FBC y FT. Mediante el empleo de una prueba de ANOVA ([Anexo 5](#)).

Figura 10

Factor de bioconcentración en agroecosistemas

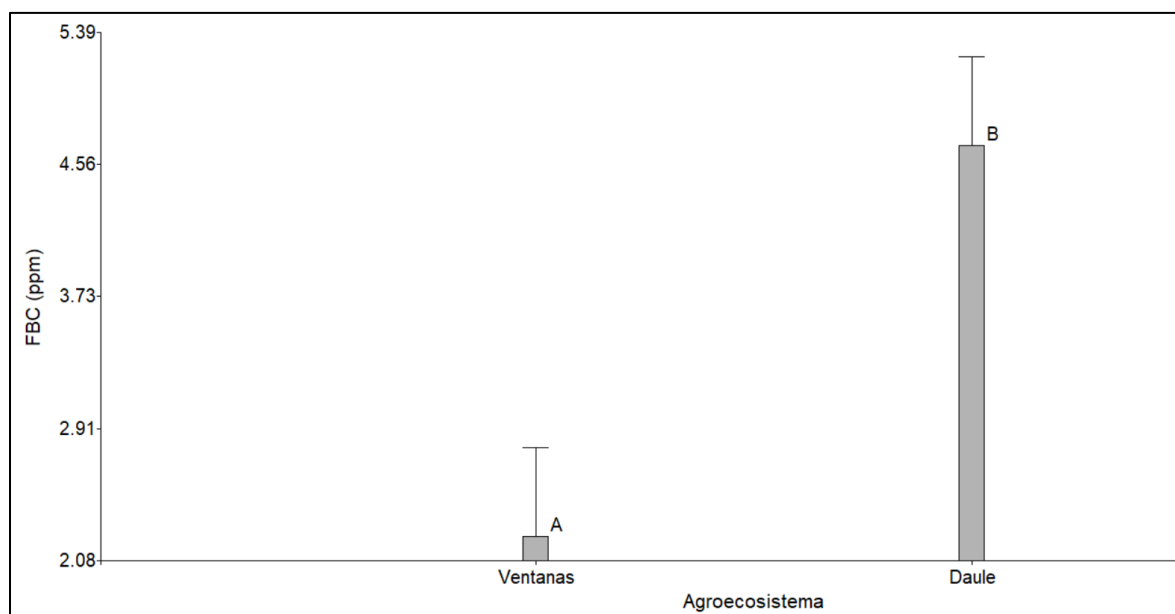
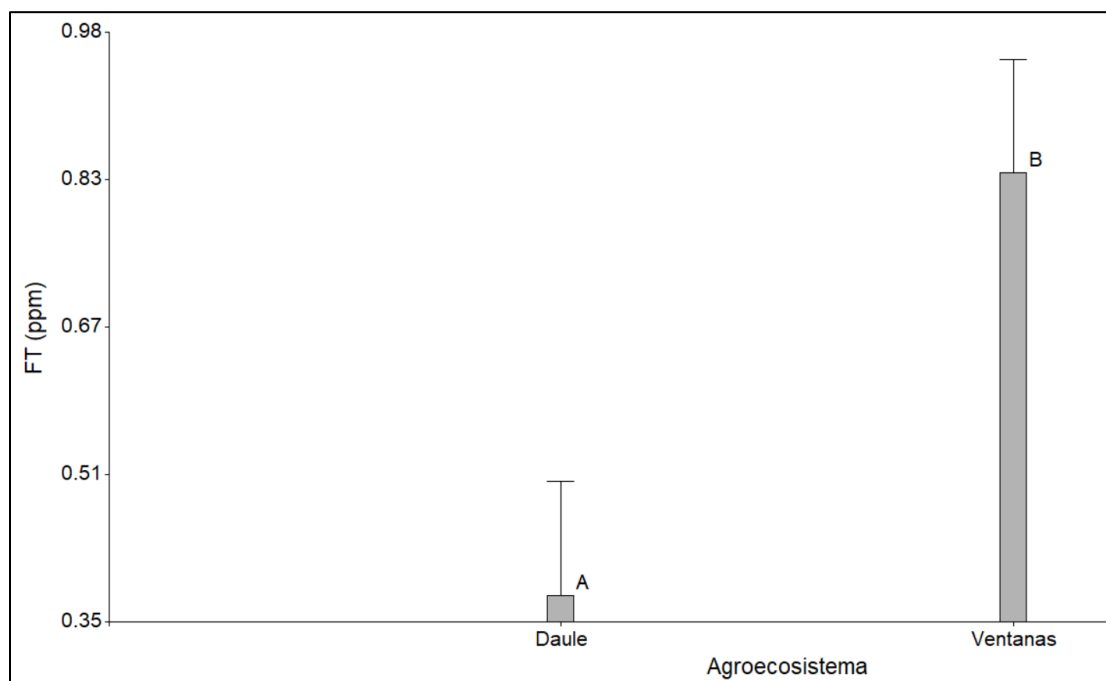


Figura 11*Factor de traslocación en agroecosistemas*

Los resultados encontrados en la investigación demostraron que sí existe una diferencia significativa entre las medias de los factores analizados. *O. sativa*, en efecto es una planta bioacumuladora de As puesto que el FBC es >1 . La revisión bibliográfica indica la que en rizosfera existe una mayor concentración de Arsenito o arsénico inorgánica por acciones geogénicas y antropogénicas, de esta manera las acuaporinas absorben el compuesto e ingresa a los sistemas vasculares de las plantas. Un artículo que describe un estudio de estos factores fue realizado en Bangladesh en el distrito de Chandpur por Rokonuzzaman et al. (2022) en el que se analizó el factor de traslocación y bioconcentración en dos variaciones de arroz (BRRI dhan28 y BRRI dhan29) que emplean prácticas de riego diferentes, en donde en la variación BRRI dhan28 se obtuvo un valor de traslocación y bioconcentración mayor a 1, mientras que es BRRI dhan29 menor a 1. Lo cual coincide con lo registrado en este estudio.

Los valores encontrados en las muestras de Daule y Ventanas se encuentran dentro del rango recopilado por investigaciones internacionales ([Anexo 2](#)) de la misma forma, coincide con estudios realizados por Domínguez-González et al (2020); Suriyagoda et al (2018). La raíz es donde más predispuesta se encuentra a la bioacumulación por metal pesado seguido de las hojas jóvenes, tallo y el grano. Se infiere que el tallo al ser el medio de transporte entre raíz-hoja, posee el menor valor, en este caso se muestra como Daule posee un mayor índice de FBC con 7 mg kg^{-1} lo que coincide con que las plantas son hiper acumuladoras del metal pesado, es decir que la concentración encontrada en las raíces es mayor a la biodisponible en el suelo, por lo que las raíces absorben este metal por medio de las proteínas NIP, proteínas transportadoras de elementos inorgánicos en el suelo, en comparación con el FBC de Ventanas, también las plantas de arroz son acumuladoras de As, este es menor por lo que no existe una diferencia significativa ([Anexo 4](#)).

No obstante, los valores de FT en los dos agroecosistemas evidencian que en Ventanas las plantas están más susceptibles a una traslocación desde la raíz hasta la biomasa aérea (Mng'ong'o, 2023), obteniendo el valor más alto registrado de 1.41 mg kg^{-1} que significa que estas plantas trasladan el metal hacia su parte aérea con mayor eficiencia a comparación de Daule que estas poseen una retroalimentación negativa, la movilidad del metal es menor y más lenta puesto que se retiene en las raíces. Así mismo se observa una diferencia significativa en los valores promedios del FT en la Figura 11.

Estos valores no reflejan lo acordado por las instituciones internacionales que velan por la salud del consumidor (OMS; FAO, EFSA) mencionados anteriormente por lo que sobrepasan los valores estipulados en su normativa. En otras palabras, el consumidor y el agricultor está expuesto a una intoxicación por As en su día a día.

Las desventajas de estos índices altos van relacionadas con un, crecimiento de plantas atrofiadas, baja producción de biomasa, pérdida de rendimiento relacionada con la esterilidad, y un trastorno fisiológico denominado enfermedad de la cabeza recta (Murugaiyan et al., 2021), en otras palabras, el obtener los factores de bioconcentración y traslocación de As permiten establecer de mejor claridad la influencia del metal en las plantas adjunto con su producción que con posteridad será ingerido por el consumidor, resalta así la cadena de bioacumulación y movilidad del As es decir su trazabilidad.

Comparar de los niveles de arsénico entre 10 marcas comerciales de granos de arroz conforme a los límite permisible del códex alimentario.

En la siguiente tabla se identificaron los granos de arroz orgánico de los agroecosistemas de estudio y las 10 marcas de Daule y Ventanas para establecer una trazabilidad más precisa de los valores de As, donde se muestran los valores promedios y la desviación estándar de las muestras.

Tabla 8

Comparación de contenido As en los granos de Daule y Ventanas

Agroecosistema	Grano	Concentración de As (mg kg ⁻¹)				
		Marca	Marca	Marca	Marca	Marca
		Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
		1	2	3	4	5
Daule	1.7±0.854	-	-	1.4	0.5	0.1
Ventanas	1.8±0.781	-	-	1.4	0.5	-

Estos resultados tabulados permiten comparar el comportamiento del metal acumulado en un grano de arroz previo y post procesos industriales, así se contrasta con límites permisibles dentro del Códex Alimentario. Según la investigación realizada en China por J.-Y. Chen et al. (2022) se recolectó 108 muestras de granos comerciales de mercados locales y fuentes en línea en 13 importantes regiones productoras de arroz. El contenido total de arsénico encontrado fue de 0.025-0.327 mg kg⁻¹, en el que el As inorgánico fue el predominante en los granos junto con valores dados dentro del estándar normativo del consumo de As de China que es de 0.200 mg kg⁻¹.

En cambio, en alimentación y salud, el consumidor ingiere el grano contaminado con una intoxicación por obesidad, resistencia a la insulina, dislipidemia, hipertensión, aterosclerosis, NAFLD mientras se perjudica la secreción de insulina, contribuyendo a desarrollar trastorno metabólico (Pánico et al., 2022). Estos resultados se ven reflejados por los índices ecuatorianos de salud en donde señalan que cardiopatías y diabetes son las principales causas de defunciones en el Ecuador (INEC, 2019).

Según lo mencionado por el (Codex Alimentarius Commission, 2011) 0.2 mg kg^{-1} , es imperativo resaltar la opinión del consumidor que si bien considera el problema del consumo de metales pesados como concertante aún desconoce sobre los efectos que pueden afectarles.

A razón de los resultados expuestos es imperativo presentar estrategias para mitigación del metaloide en el suelo que vayan de la mano con autoridades competentes, ministerios y comunidades locales en el cantón Daule y Ventanas que se encuentren involucrados en este inconveniente. En resumen, la bioacumulación de As en los cultivos arroceros que sobrepasan los límites establecidos por normas internacionales evidencia un serio problema para la comunidad, bajo la perspectiva biotecnológica existen mecanismos capaces de concientizar y mitigar las concentraciones del metal pesado dentro de los cultivos localizados en Daule-Ecuador.

Los valores pertenecientes a concentraciones de As analizadas por el ICP-OES en ppm son tomados como referencias para realizar los cálculos matemáticos de la ingesta diaria y riesgo cancerígeno (Tabla 9 y 10).

Cálculo de Riesgo cancerígeno:**Tabla 9***Cálculo de riesgo cancerígeno en granos locales*

Agroecosistema	Ingesta diaria (kg/día)	EDI	HQ	CR
Daule	0.3	0.01	25.04	0.00
	0.15	0.00	12.52	0.00
	0.1	0.00	8.35	0.00
	0.05	0.00	4.17	0.00
Ventanas	0.3	0.01	26.51	0.00
	0.1	0.00	8.84	0.00
	0.15	0.00	13.25	0.00
	0.05	0.00	4.42	0.00

Tabla 10*Riesgo cancerígeno promedio de marcas comerciales.*

MARCA COMERCIALES				
Agroecosistema	Ingesta diaria (kg/día)	EDI	HQ	CR
Daule	0.3	0.003	9.82	0.00
	0.15	0.001	4.91	0.00
	0.1	0.001	3.27	0.00
	0.05	0.000	1.64	0.00
Ventanas	0.3	0.004	13.99	0.00
	0.15	0.002	7.00	0.00
	0.1	0.001	4.66	0.00
	0.05	0.001	2.33	0.00

Los datos obtenidos en granos locales/comerciales mediante el cálculo en referencia a la fórmula de la EPA, los resultados de la estimación de ingesta diaria además del riesgo cancerígeno de granos, en relación con la cantidad diaria de arroz ingerido por el consumidor (Anexo 1), se evaluó mediante esos valores. El valor de referencia de dosis (RfD) considerado por EPA (2000) , para As es de $0.0003 \text{ (mg kg}^{-1} \text{ día}^{-1}\text{)}$. Los valores obtenidos indican que el arroz producido en Ecuador, orgánica e industrial, tiene un alto potencial NO carcinogénico independiente de la cantidad de arroz consumido.

La estimación de ingesta diaria por los ecuatorianos de arroz se encuentra arriba de límites permisibles propuestos por los organismos reguladores (Tabla 3), en especial para el comité europeo (Arcella et al., 2021) el consumo de As en arroz excede sus niveles. El promedio del EDI es de 0.0013, excediéndose los límites permisibles, esto implica que el consumidor promedio estaría ingiriendo niveles de As que podrían repercutir con la inocuidad alimentaria por lo tanto influye en el ámbito sanitario. Estos valores se relacionan con los representados en un estudio realizado en Perú donde sus ciudadanos consumen $0.0056 \text{ mg kg}^{-1}$ sobrepasando igualmente los límites (Zhunaula Guaman et al., 2021). Por otro lado, en Nepal se encuentran por encima de los límites permisibles siendo el más alto $0.000671 \text{ mg kg}^{-1}$ (Shao et al., 2023) quiere decir que el EDI va a variar en relación con las condiciones edafo-climáticas, prácticas culturales y los hábitos alimenticios.

No obstante, el HQ (Cociente de Peligro) analiza el riesgo no carcinogénico, el resultado obtenido en ambos agroecosistemas resulto ser mayor >1 (Miletić et al., 2023) de esta manera se concluye la posibilidad de un riesgo NO carcinogénico al consumir los granos locales. De igual manera, en granos comerciales poseen niveles >1 a comparación de los hallados en la

investigación de Tan & Khaw (2020) que se encuentran <1 en donde Indonesia posee 0.010 HQ, con posible riesgo cancerígeno.

En cambio, el CR, riesgo carcinogénico mantuvo el valor de cero confirmando la posibilidad de un riesgo NO carcinogénico en los arroces ecuatorianos. De acuerdo con las directrices de la USEPA (2023) si el valor de CR es <1 el riesgo de cáncer se considera insignificante. En el artículo de Adomako et al. (2011) fueron analizadas 549 muestras de arroz integral de tres países, donde sus valores de CR se encuentran relacionados, Ghana con 0.000557 mg kg^{-1} , USA con 0.00056 mg kg^{-1} y Tailandia 0.00062, considerándose un riesgo de cáncer insignificante. Los valores de CR del presente estudio realizado son igual a 0 descartando un riesgo carcinogénico.

Una herramienta para organizar las posibles estrategias de mitigación a la bioacumulación de metales pesados es la matriz CDIU, mediante la planeación de mejoras a áreas de preocupación de distintos factores.

Tabla 11*Matriz CDIU para estrategias de mitigación*

Carácter	Dimensión	Instrumento	Unidad de análisis
Agricultura	Dosificaciones fuera de normativa. Baja calidad y anomalías en el producto. Desequilibrio de nutrientes en el suelo.	Estudio de la trazabilidad del metal. Observación del crecimiento de cultivo.	Capacitación a agricultores. Historial de dosificación de químicos. Evaluación de rendimiento de cultivo.
Controles químicos	Excesivas aplicaciones, incorrectos usos de agroquímicos, Cambios irreversibles en sistema edáfico. Resistencia agroquímicos.	Historial de aplicaciones por parte del agricultor, observaciones de condiciones básicas del suelo.	Sustentabilidad del cultivo. Alternativas biotecnológicas. Manejo integral de plagas.
Impacto	Contaminación de aguas cercanas. Intoxicación con posible desarrollo de enfermedades más complejas, local, nacional e internacional.	Revisión Bibliográfica	Estudios del consumo de metales pesados en gramíneas. Estudios ambientales. Capacitación sobre salubridad alimentaria.

Se presenta una matriz CDIU que analiza factores de carácter, dimensión, instrumento y unidad de análisis con el objetivo de establecer posibles estrategias de mitigación a la concentración de As que es absorbido por la gramínea, luego consumido por los locales, en donde la dosificación de Agroquímicos es superior a la necesitada en el sistema edáfico por lo que coincide con lo mencionado por Chen et al. (2008) en donde las prácticas establecidas por el ente regulador no son respetadas lo que incide en contaminación a los acuíferos y a otras masas de agua cercanas a la zona, desarrollo de patologías en el arroz, baja calidad en la producción adjunto con una reducción en la máxima capacidad de producción (Chaudhary et al., 2023) este tipo de estrés producido por el creciente uso de agroquímicos en las prácticas agrícolas influye en el siguiente carácter de Controles químicos se recopiló que las condiciones del suelo no eran las mejores para el cultivo obtenga las certificaciones BPA de tal manera que estos necesiten de una mayor concentración de insumos que genera un desgaste en la capa superficial del sistema edáfico influencia el cambio en el microcosmo con una retroalimentación positiva hacia la perturbación.

De esta manera, resulta en una mayor concentración de contaminantes absorbidos que prevalecen en el sistema siendo su mayor Impacto la resistencia a estos agroquímicos de tal manera que se forma un ciclo de consumo. En el ámbito de la alimentación y la sanidad resulta es una consternación a razón del consumo con posible intoxicación por consumo de dicho contaminante en casos más extremos enfermedades metabólicas o de alto riesgo como lo menciona (Asociación Costarricense de Medicina Forense. & SciELO (Online service), 2021) en síntesis, existen alternativas para mejorar la calidad de los cultivos y su impacto en la ingesta diaria.

CAPÍTULO 5

12. Conclusión

El análisis la trazabilidad del contenido de As en el suelo, agua y partes del cultivo de arroz de los dos agroecosistemas, es un paso imperativo para calcular la ingesta del metal pesado hacia el consumidor. La recolección de cada muestra se dio bajo condiciones inocuas además se realizó la cuantificación por medio de un análisis ICP-OES con factores de bioacumulación y traslocación que indicaron elevados índices presentes en cada parte recolectada.

Las muestras analizadas del cantón Daule poseen elevados factores de bioconcentración mayores a 1 siendo el mismo caso que el cantón Ventanas, dando a entender que efectivamente la planta de *O. Sativa* es bioacumuladora para As y posee valores de translocación menores a 1 por lo que la planta no ha movilizadado a gran escala el As a partes aéreas o granos. Por otro lado, las muestras analizadas en el cantón Ventanas poseen tres factores de translocación mayor a 1, lo que da a entender que el As absorbido por las raíces si se ha movilizadado a partes aéreas y granos de la planta.

En granos comerciales y locales se observó una tendencia similar ya que los valores se encuentran por encima de la normativa. De tal manera que el ecuatoriano que consume el arroz producido en el cantón Daule y Ventanas ingiere una concentración de 1.5 mg kg^{-1} arriba del valor estipulado por las normativas. De esta manera se comprobó la hipótesis de investigación planteada.

La importancia de este estudio fue la identificación de este índice que permitirá establecer estrategias de mitigación al agricultor mediante la identificación de factores causales, campañas de concientización dirigidas al agricultor y consumidor. De igual manera es hito encontrar estos hoy resultados a razón de la falta de investigación en este tópicoo de manera local.

13. Recomendaciones

Se recomienda establecer aplicaciones futuras que se pueden desarrollar con este tópico es buscar estrategias de mitigación tanto *in situ* como *ex situ* que involucren a la biotecnología como área de estudio.

Evaluación de microorganismos con potencial biorremediador en el suelo de arrozales seguido de la modificación con CRISPR-CAS 9 de estos microorganismos, mejorar prácticas agrícolas, desarrollo de bio-productos como biofertilizantes, herbicidas, pesticidas que dentro de su composición no contengan As.

De igual manera se recomienda realizar un análisis metagenómico de la rizosfera, la comunidad para la identificación de las interacciones entre los hongos micorrícicos, bacterias y otros microorganismos de interés asimismo la biodisponibilidad del metal pesado así realizar un estudio del microcosmo para conocer el aporte de solubilización o retención de As en cultivos de *Oryza sativa*.

14. Bibliografía

Abbas, G., Murtaza, B., Bibi, I., Shahid, M., Niazi, N., Khan, M., Amjad, M., Hussain, M., & Natasha. (2018). Arsenic Uptake, Toxicity, Detoxification, and Speciation in Plants: Physiological, Biochemical, and Molecular Aspects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 59. <https://doi.org/10.3390/ijerph15010059>

Adomako, E. E., Williams, P. N., Deacon, C., & Meharg, A. A. (2011). Inorganic arsenic and trace elements in Ghanaian grain staples. *Environmental Pollution*, 159(10), 2435–2442. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.06.031>

Agrocalidad. (2015). *Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para arroz*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/guia-de-bpa-para-arroz/>

Agrocalidad. (2018). Instructivo INT/SFA/10. Muestreo para análisis de suelo . In *Agrocalidad*. Agrocalidad.

Agrocalidad. (2020). *Instructivo INT/FP/01. Toma de muestra para el laboratorio de Fitopatología*.

Aguilar, D., Álava, D., Burbano, J., Díaz, M., Garcés, A. L., Jácome, D., Leiva, D., Simbaña, B., Yépez, R., Andrade, D., Perez, P. ., & Ruiz, V. (2016). *Estimación de superficie sembrada de arroz (oryza sativa l.), maíz amarillo duro (Zea mays l.) y soya (Glycine max) del año 2016; en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas, Santa Elena, Loja y El Oro*. http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/estimacion_superficie_arroz_2016.pdf

Anawar, H. M., Rengel, Z., Damon, P., & Tibbett, M. (2018). Arsenic-phosphorus interactions in the soil-plant-microbe system: Dynamics of uptake, suppression and toxicity to plants. *Environmental Pollution*, 233, 1003–1012. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.098>

Antoine, J. M. R., Hoo Fung, L. A., Grant, C. N., Dennis, H. T., & Lalor, G. C. (2012). Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26(1–2), 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.01.003>

Arcella, D., Cascio, C., & Gómez Ruiz, J. Á. (2021). Chronic dietary exposure to inorganic arsenic. *EFSA Journal*, 19(1). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6380>

Arcsa. (2023). *ARCOSA informa sobre Retiro del Mercado de WanaBana Apple Cinnamon Fruit Purée (puré de frutas de MANZANA Y CANELA de WanaBana)*.

Ashmore, E., Molyneux, S., Watson, S., Miles, G., & Pearson, A. (2019). Inorganic arsenic in rice and rice products in New Zealand and Australia. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 12(4), 275–279. <https://doi.org/10.1080/19393210.2019.1651403>

Asociación Costarricense de Medicina Forense., C., & SciELO (Online service), C. (2021). Medicina legal de Costa Rica. In *Medicina Legal de Costa Rica* (Vol. 38, Issue 2). Asociación Costarricense de Medicina Forense.

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152021000300004&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Azam, M. S., Shafiqzaman, Md., & Haider, H. (2023). Arsenic release dynamics of paddy field soil during groundwater irrigation and natural flooding. *Journal of Environmental Management*, 343, 118204.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118204>

Banco Central del Ecuador. (2016). *Reporte de Coyuntura Sector Agropecuario*.

Barros, J. A. V. A., de Souza, P. F., Schiavo, D., & Nóbrega, J. A. (2016). Microwave-assisted digestion using diluted acid and base solutions for plant analysis by ICP OES. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 31(1), 337–343.

<https://doi.org/10.1039/C5JA00294J>

Barzola, J. (2012). *Producción de arroz bajo riego de la variedad F-50 mediante el uso de briquetas compuestas de N.P.K. en el canton Daule* [Escuela Superior Politécnica del Litoral].

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/20783>

Batista, B. L., Souza, J. M. O., De Souza, S. S., & Barbosa, F. (2011). Speciation of arsenic in rice and estimation of daily intake of different arsenic species by Brazilians through rice consumption. *Journal of Hazardous Materials*, 191(1–3), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.087>

Cargua Chávez, J., Mite, F., Durango, W., Carrillo Zenteno, & Manuel Danilo. (2010). Determinación de las formas de cu, cd, ni, pb, y zn y su

biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano. *XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo* .

Carlin, D. J., Naujokas, M. F., Bradham, K. D., Cowden, J., Heacock, M., Henry, H. F., Lee, J. S., Thomas, D. J., Thompson, C., Tokar, E. J., Waalkes, M. P., Birnbaum, L. S., & Suk, W. A. (2016). Arsenic and Environmental Health: State of the Science and Future Research Opportunities. *Environmental Health Perspectives*, *124*(7), 890–899. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510209>

Chaudhary, A., Venkatramanan, V., Kumar Mishra, A., & Sharma, S. (2023). Agronomic and Environmental Determinants of Direct Seeded Rice in South Asia. *Circular Economy and Sustainability*, *3*(1), 253–290. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00173-x>

Chen, J.-Y., Zeng, J.-Y., Ding, S., Li, J., Liu, X., Guan, D.-X., & Ma, L. Q. (2022). Arsenic contents, speciation and bioaccessibility in rice grains from China: Regional and variety differences. *Journal of Hazardous Materials*, *437*, 129431. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129431>

Chen, X., Zhu, Y., Hong, M., Kappler, A., & Xu, Y. (2008). Effects of different forms of nitrogen fertilizers on arsenic uptake by rice plants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, *27*(4), 881–887. <https://doi.org/10.1897/07-368.1>

Chu, C., Huang, R., Liu, L., Tang, G., Xiao, J., Yoo, H., & Yuan, M. (2022). The rice heavy-metal transporter OsNRAMP1 regulates disease resistance

by modulating ROS homeostasis. *Plant, Cell & Environment*, 45(4), 1109–1126.
<https://doi.org/10.1111/pce.14263>

Codex Alimentarius Commission. (2011). Report of the fifth session of the codex committee on contaminants in foods. In *Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods* (pp. 21–25). World Health Organization : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Cubadda, F., Jackson, B. P., Cottingham, K. L., Van Horne, Y. O., & Kurzius-Spencer, M. (2017). Human exposure to dietary inorganic arsenic and other arsenic species: State of knowledge, gaps and uncertainties. *Science of The Total Environment*, 579, 1228–1239.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.108>

Deng, F., Yamaji, N., Ma, J. F., Lee, S., Jeon, J., Martinoia, E., Lee, Y., & Song, W. (2018). Engineering rice with lower grain arsenic. *Plant Biotechnology Journal*, 16(10), 1691–1699. <https://doi.org/10.1111/pbi.12905>

Domínguez-González, M. R., Barciela-Alonso, M. C., Calvo-Millán, V. G., Herbello-Hermelo, P., & Bermejo-Barrera, P. (2020). The bioavailability of arsenic species in rice. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412(13), 3253–3259. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02589-6>

Duan, X., Xu, G., Li, J., Yan, N., Li, X., Liu, X., & Li, B. (2022). Arsenic Induces Continuous Inflammation and Regulates Th1/Th2/Th17/Treg Balance in Liver and Kidney In Vivo. *Mediators of Inflammation*, 2022, 1–14.
<https://doi.org/10.1155/2022/8414047>

El Universo. (2024). *Análisis de Agrocalidad detectó metales pesados en muestras de arroz sin cáscara en tres provincias de Ecuador*.

EPA. (2000). *Risk-based concentration table*. United States Environmental Protection Agency, Washington DC.

EPA. (2001). *Technical Fact Sheet: Final Rule for Arsenic in Drinking Water*. .

Estrella Salvador, J. R., & Yépez Villacis, K. E. (2017). *Determinación de la concentración de arsénico total en cultivos de arroz en la provincia de El Oro y su relación con propiedades físicas y químicas del suelo, agua y planta* [Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE].

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12612>

FAO. (2018). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO (SMA)*.
<https://www.fao.org/economic/RMM/es>

Fernie, A. R., & Sonnewald, U. (2021). Plant biotechnology for sustainable agriculture and food safety. *Journal of Plant Physiology*, 261, 153416.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153416>

Ferreira-Baptista, L., & De Miguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, 39(25), 4501–4512.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.026>

GAD. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Daule 2015-2025*. https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0960000490001_PDyOT%20DAULE%20-%202015-2025%20FASE%20DIAGN%C3%93STICO_13-03-2015_11-30-32.pdf

GBIF. (2011). *Oryza sativa L.* GBIF | Global Biodiversity Information Facility. <https://gbif.org/es/species/2703459>

Gray, J. P. (2024). Acceptable daily intake. In *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 15–16). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00504-2>

Gupta, A., Dubey, P., Kumar, M., Roy, A., Sharma, D., Khan, M. M., Bajpai, A. B., Shukla, R. P., Pathak, N., & Hasanuzzaman, M. (2022). Consequences of Arsenic Contamination on Plants and Mycoremediation-Mediated Arsenic Stress Tolerance for Sustainable Agriculture. *Plants*, *11*(23), 3220. <https://doi.org/10.3390/plants11233220>

He, S., Wang, X., Wu, X., Yin, Y., & Ma, L. Q. (2020). Using rice as a remediating plant to deplete bioavailable arsenic from paddy soils. *Environment International*, *141*, 105799. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105799>

Heitkemper, D. T., Vela, N. P., Stewart, K. R., & Westphal, C. S. (2001). Determination of total and speciated arsenic in rice by ion chromatography and inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, *16*(4), 299–306. <https://doi.org/10.1039/b007241i>

Held, L. E. (2021). *What You Need to Know About the Environmental Impacts of Rice Production*. FoodPrint. <https://foodprint.org/blog/environmental-impacts-of-rice-production/>

Hirzel, J., & Rodríguez, F. (2013). Increasing nitrogen rates in rice and its effect on plant nutrient composition and nitrogen apparent recovery. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(4), 385–390. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392013000400009>

Huang, M., Nhung, N. T. H., Dodbiba, G., & Fujita, T. (2023). Mitigation of arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings by oxygen nanobubbles in hydroponic cultures. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 268, 115700. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115700>

Huayamave Navarrete, J. P. (2013). *Estudio de las aguas y sedimentos del rio daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

INEC. (2019). *Caracterización de la mortalidad*. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). https://public.tableau.com/app/profile/instituto.nacional.de.estad.stica.y.censos.in ec./viz/Registroestadsticodedefuncionesgenerales_15907230182570/Men

International Rice Research Institute. (n.d.). *Rice production Manual: Steps to successful rice production*. International Rice Research Institute.

Jalil, S., Alghanem, S. M. S., AL-Huqail, A. A., Nazir, M. M., Zulfiqar, F., Ahmed, T., Ali, S., H. A. Abeed, A., Siddique, K. H. M., & Jin, X. (2023). Zinc oxide nanoparticles mitigated the arsenic induced oxidative stress through modulation of physio-biochemical aspects and nutritional ions homeostasis in rice (*Oryza sativa* L.). *Chemosphere*, 338, 139566.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139566>

Jayasumana, C., Fonseka, S., Fernando, A., Jayalath, K., Amarasinghe, M., Siribaddana, S., Gunatilake, S., & Paranagama, P. (2015). Phosphate fertilizer is a main source of arsenic in areas affected with chronic kidney disease of unknown etiology in Sri Lanka. *SpringerPlus*, 4(1), 90.
<https://doi.org/10.1186/s40064-015-0868-z>

Joardar, J. C. (2015). *Effect of arsenic both in soil and irrigation water on vegetable plants and promising soil additives for remedial measure of arsenic toxicity*. Iwate University .

Joint FAO/WHO. (2011). Safety evaluation of certain contaminants in food: prepared by the Seventy-second meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). *Expert Committee on Food Additives. Meeting*. <https://iris.who.int/handle/10665/44520> Relation

kaur, R., Garkal, A., Sarode, L., Bangar, P., Mehta, T., Singh, D. P., & Rawal, R. (2023). Understanding arsenic toxicity: Implications for environmental exposure and human health. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 100090.
<https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100090>

Khan, S. R., Sharma, B., Chawla, P. A., & Bhatia, R. (2022). Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES): a Powerful Analytical Technique for Elemental Analysis. *Food Analytical Methods*, *15*(3), 666–688. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02148-4>

Kuivenhoven M, M. K. (2023). *StatPearls* . Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541125/>

Licht, O., Breuer, F., Baskirov, A., Blümlein, K., Kellner, R., Pallapies, D., Partosch, F., Pieczyk, B., Schwonbeck, S., Wiedemeier, P., & Zwintscher, A. (2022). Extensive literature search on organic arsenic in food. *EFSA Supporting Publications*, *19*(9). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2022.EN-7565>

Liu, X., Hu, C., Zhu, Z., Riaz, M., Liu, X., Dong, Z., Liu, Y., Wu, S., Tan, Z., & Tan, Q. (2021). Migration of Chlorine in Plant–Soil–Leaching System and Its Effects on the Yield and Fruit Quality of Sweet Orange. *Frontiers in Plant Science*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.744843>

Liu, Y., Huang, Y., Li, L., Xiong, Y., Wang, X., Tong, L., Wang, F., Fan, B., & Gong, J. (2023). Arsenic source analysis of rice from different growing environments and health risk assessment in Hunan Province, China. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105637. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105637>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal.

Biotechnología 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)

Miletić, A., Lučić, M., & Onjia, A. (2023). Exposure Factors in Health Risk Assessment of Heavy Metal(loid)s in Soil and Sediment. *Metals*, 13(7), 1266. <https://doi.org/10.3390/met13071266>

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). *Productores de Daule beneficiados con títulos de tierras, niveladora y urea*.

<https://www.agricultura.gob.ec/productores-de-daule-beneficiados-con-titulos-de-tierras-niveladora-y-urea%EF%BF%BC/>

Mishra, M., Desul, S., Santos, C. A. G., Mishra, S. K., Kamal, A. H. M., Goswami, S., Kalumba, A. M., Biswal, R., da Silva, R. M., dos Santos, C. A. C., & Baral, K. (2023). A bibliometric analysis of sustainable development goals (SDGs): a review of progress, challenges, and opportunities. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03225-w>

Mishra, T., & Pandey, V. C. (2019). Phytoremediation of Red Mud Deposits Through Natural Succession. In *Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 409–424). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00016-8>

Mitra, D., Saritha, B., Janeeshma, E., Gusain, P., Khoshru, B., Abo Nouh, F. A., Rani, A., Olatunbosun, A. N., Ruparelia, J., Rabari, A., Mosquera-Sánchez, L. P., Mondal, R., Verma, D., Panneerselvam, P., Das Mohapatra, P. K., & B.E., G. S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungal association boosted the arsenic resistance in crops with special responsiveness to rice plant. *Environmental and*

Experimental Botany, 193, 104681.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104681>

Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. Bin, Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Khandaker, M. U., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>

Mng'ong'o, M. E. (2023). Potentially toxic metals partitioning in paddy rice in Usangu agro-ecosystem, Tanzania. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100379.

<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100379>

Moormann, F. R., & Breemen, N. van. (1978). *Rice: Soil, Water, Land*. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE.

Muehe, E. M., Wang, T., Kerl, C. F., Planer-Friedrich, B., & Fendorf, S. (2019). Rice production threatened by coupled stresses of climate and soil arsenic. *Nature Communications*, 10(1), 4985. [https://doi.org/10.1038/s41467-019-12946-](https://doi.org/10.1038/s41467-019-12946-4)

4

Murugaiyan, V., Zeibig, F., Anumalla, M., Siddiq, S. A., Frei, M., Murugaiyan, J., & Ali, J. (2021). Arsenic Stress Responses and Accumulation in Rice. In *Rice Improvement* (pp. 281–313). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66530-2_9

Nachman, K. E., Ginsberg, G. L., Miller, M. D., Murray, C. J., Nigra, A. E., & Pendergrast, C. B. (2017). Mitigating dietary arsenic exposure: Current status in the United States and recommendations for an improved path forward. *Science of The Total Environment*, 581–582, 221–236.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.112>

National Center for Biotechnology Information. (2023). *PubChem Compound Summary for CID 5359596, Arsenic*.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Arsenic>

Neumann, R. B., Seyfferth, A. L., Teshera-Levy, J., & Ellingson, J. (2017). Soil Warming Increases Arsenic Availability in the Rice Rhizosphere. *Agricultural & Environmental Letters*, 2(1).
<https://doi.org/10.2134/ael2017.02.0006>

Otero, X. L., Tierra, W., Atiaga, O., Guanoluisa, D., Nunes, L. M., Ferreira, T. O., & Ruales, J. (2016). Arsenic in rice agrosystems (water, soil and rice plants) in Guayas and Los Ríos provinces, Ecuador. *Science of The Total Environment*, 573, 778–787. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.162>

Rahaman, Md. S., Mise, N., & Ichihara, S. (2022). Arsenic contamination in food chain in Bangladesh: A review on health hazards, socioeconomic impacts and implications. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 2, 100004.
<https://doi.org/10.1016/j.heha.2022.100004>

Ram, H., Gandass, N., Sharma, A., Singh, A., Sonah, H., Deshmukh, R., Pandey, A. K., & Sharma, T. R. (2020). Spatio-temporal distribution of

micronutrients in rice grains and its regulation. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(4), 490–507. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1742647>

Rauf, M. A., Hakim, M. A., Hanafi, M. M., Islam, M. M., Rahman, G. K. M. M., & Panaullah, G. M. (2011). Bioaccumulation of arsenic (As) and phosphorous by transplanting Aman rice in arseniccontaminated clay soils. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12), 1678–1684.

Rokonuzzaman, MD., Ye, Z., Wu, C., & Li, W. (2022). Arsenic accumulation in rice: Alternative irrigation regimes produce rice safe from arsenic contamination. *Environmental Pollution*, 310, 119829. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119829>

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2023). *Plan de acción ante el Fenómeno El Niño Ecuador 2023-2024*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/63490-2/>

Shao, Y., Xu, X., Wang, L., Han, J., Katuwal, H. B., Jiao, S., & Qiu, G. (2023). Human Dietary Exposure to Heavy Metals via Rice in Nepal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4134. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054134>

Silva, R. (2015). *Daule, Ecuador: A region caught between drought and floods*. DIPECHO LAC. <https://dipecholac.net/noticias/america-del-sur/75-daule-ecuador-a-region-caught-between-drought-and-floods.html>

Singh, J., Upadhyay, S. K., Pathak, R. K., & Gupta, V. (2011). Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (*Oryza sativa*), irrigated

with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 93(3), 462–473.

<https://doi.org/10.1080/02772248.2010.546559>

Smith, M. R., & Myers, S. S. (2019). Global Health Implications of Nutrient Changes in Rice Under High Atmospheric Carbon Dioxide. *GeoHealth*, 3(7), 190–200. <https://doi.org/10.1029/2019GH000188>

Sultana, R., Islam, S. M. N., & Sultana, T. (2023). Arsenic and other heavy metals resistant bacteria in rice ecosystem: Potential role in promoting plant growth and tolerance to heavy metal stress. *Environmental Technology & Innovation*, 31, 103160. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103160>

Suriyagoda, L. D. B., Dittert, K., & Lambers, H. (2018). Mechanism of arsenic uptake, translocation and plant resistance to accumulate arsenic in rice grains. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 23–37.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.017>

Talukder, Md. S. H., & Sarkar, A. K. (2023). Nutrients deficiency diagnosis of rice crop by weighted average ensemble learning. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100155>

Tan, K. W., & Khaw, E. H. (2020). Environmental Health Risk Assessment of Fe, Zn, As, Cd and Pb Concentration in Selected Asian Rice Grain (*Oryza sativa*). *Environmental Management and Sustainable Development*, 9(4), 49. <https://doi.org/10.5296/emsd.v9i4.17952>

Texas: Health and Human Services. (2023). *Metals in Soil: Reduce Exposure to metals in soil around your home*. Texas Department of State Health Services.

Thakur, M., Rachamalla, M., Niyogi, S., Datusalia, A. K., & Flora, S. J. S. (2021). Molecular Mechanism of Arsenic-Induced Neurotoxicity including Neuronal Dysfunctions. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 10077. <https://doi.org/10.3390/ijms221810077>

Thamkaew, G., Sjöholm, I., & Galindo, F. G. (2021). A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(11), 1763–1786. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765309>

Tierra, W., Otero, X. L., Ruales, J., & Maldonado–Alvarado, P. (2018). Cadmio y arsénico en chocolate y arroz de Quito, Guayaquil y Cuenca – Ecuador. *Bionatura*, 01(Bionatura Conference Serie). <https://doi.org/10.21931/RB/CS/2018.01.01.12>

U.S. Food and Drug Administration. (2016). *Arsenic in Rice and Rice Products Risk Assessment Report*. <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/RiskSafetyAssessment/default.htm>

USDA. (2019). *FoodData Central: Rice, white, long-grain, regular, enriched, cooked*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168878/nutrients>

USEPA. (2023). *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part E*. <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidancesuperfund-rags-part-e>

Valladares, D. (2018). *Producción y comercialización del arroz: recinto Monte de abajo* [Universidad de Especialidades Espíritu Santo]. <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2467/1/VALLADARES%20ALGADO%20ANDR%C3%89S%20DAVID%20%20PRODUCCI%C3%93N%20Y%20COMERCIALIZACI%C3%93N%20DEL%20ARROZ%20RECINTO%20MONTE%20DE%20ABAJO.pdf>

Vera, E. (2019). *Efecto de fertilizantes nitrogenados de liberación controlada en la producción de arroz (Oryza sativa L.) en la zona de Ricaurte, provincia de Los Ríos*. Universidad Técnica de Babahoyo.

Verma, S., Verma, P. K., Meher, A. K., Bansiwala, A. K., Tripathi, R. D., & Chakrabarty, D. (2018). A novel fungal arsenic methyltransferase, WaarsM reduces grain arsenic accumulation in transgenic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 344, 626–634. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.037>

Wang, H., Wang, X., & Peng, B. (2022). Using an improved Si-rich husk ash to decrease inorganic arsenic in rice grain. *Science of The Total Environment*, 803, 150102. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150102>

Wang, N., Ye, Z., Huang, L., Zhang, C., Guo, Y., & Zhang, W. (2022). *Arsenic Occurrence and Cycling in the Aquatic Environment: A Comparison*

between Freshwater and Seawater. *Water*, 15(1), 147.

<https://doi.org/10.3390/w15010147>

Water Science School. (2018). *Irrigation Water Use* . USGS.

www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/irrigation-water-use

WHO. (2022). *Arsenic*. World Health Organization.

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

Yao, B.-M., Chen, P., Zhang, H.-M., & Sun, G.-X. (2021). A predictive model for arsenic accumulation in rice grains based on bioavailable arsenic and soil characteristics. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125131.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125131>

Zambrano, C. E., Andrade Arias, M. S., & Carreño Rodríguez, W. V.

(2019). Factores que inciden en la productividad del cultivo de arroz en la provincia Los Ríos. *Universidad y Sociedad*, , 11(5), 270–277.

Zambrano, L. (2022). El arroz agroecológico, la opción al insumo caro.

Expreso. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/arroz-agroecologico-opcion-insumo-carro-126123.html>

Zhunaula Guaman, S. T., Coaquira Ccahua, W., Curasi Rafael, N.,

Unchupaico Payano, I., Angeles Suazo, J. M., Gioda, A., & Huamán De La

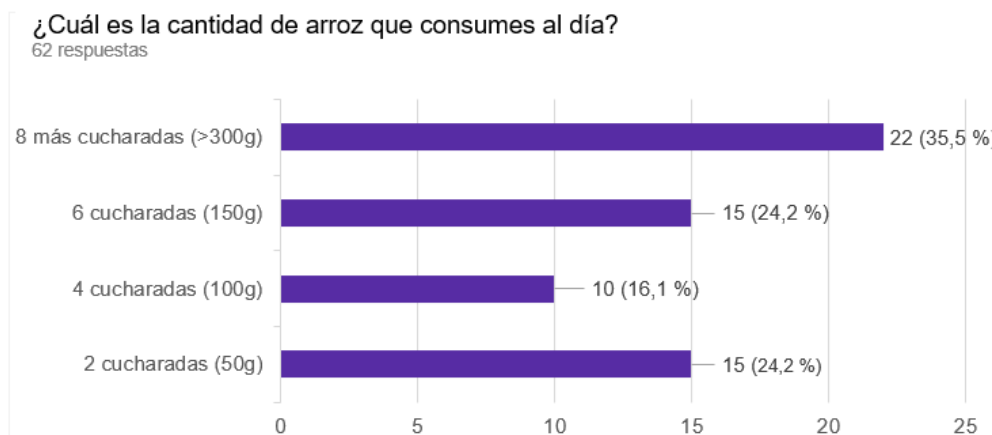
Cruz, A. R. (2021). Estimation of arsenic contents in rice purchased on

Peruvian markets and estimation of dietary intake by Peruvians through rice consumption. *Scientia Agropecuaria*, 24(2), 185–191.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.021>

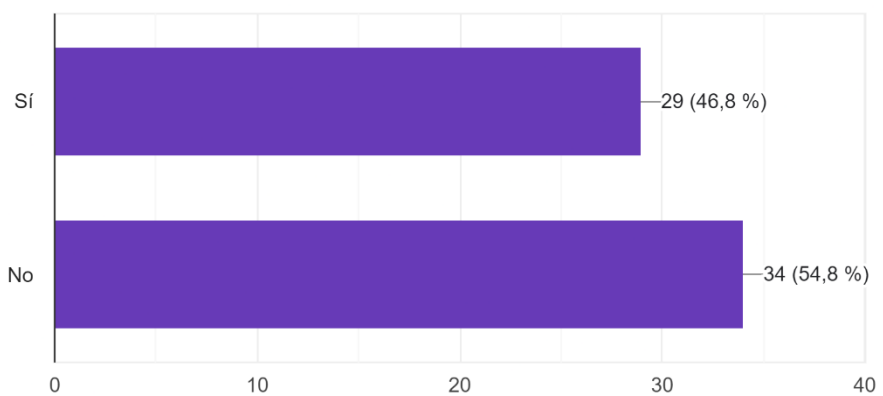
15. Anexo:

Anexo 1. Encuesta al público general:



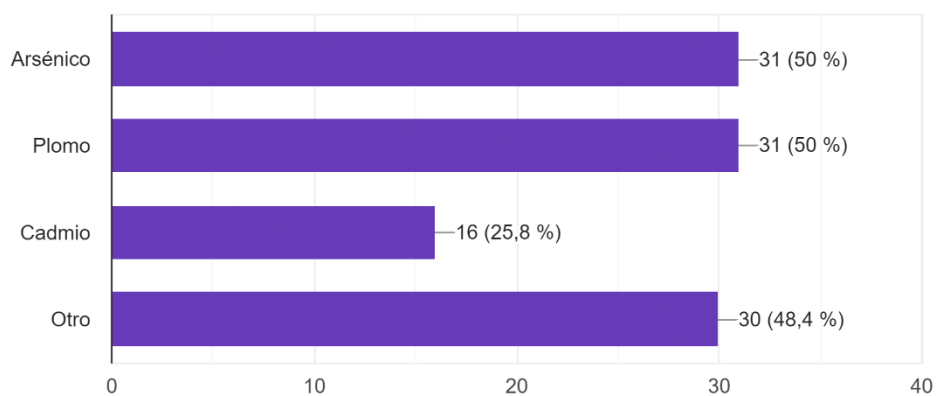
¿Es usted consciente de la presencia de metales en el arroz?

62 respuestas



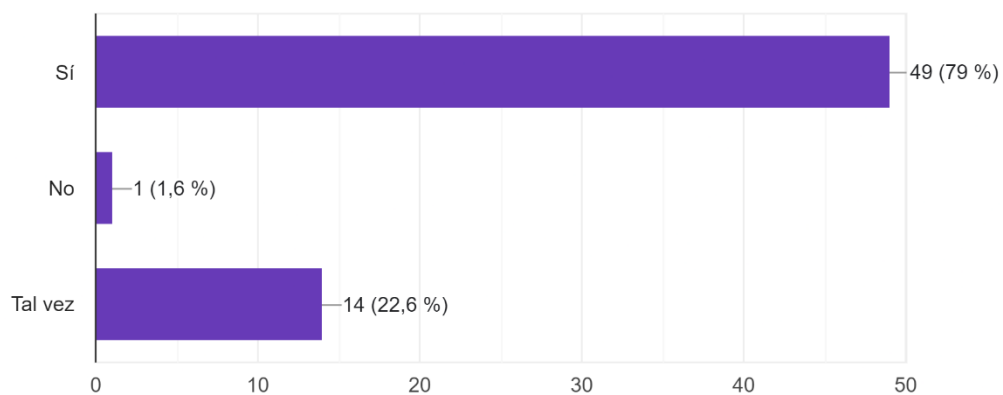
¿Qué metales crees que se encuentran comúnmente en el arroz? (Seleccione todo lo que aplique)

62 respuestas



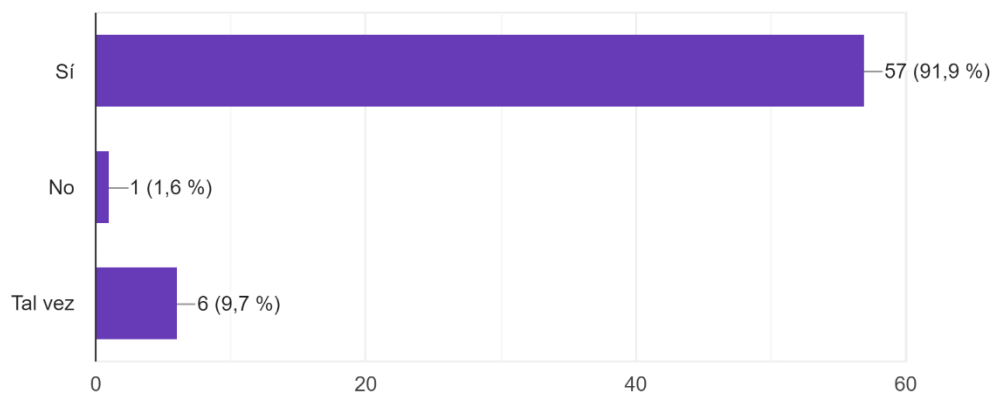
¿Cree que la presencia de metales en el arroz representa un riesgo para la salud?

62 respuestas



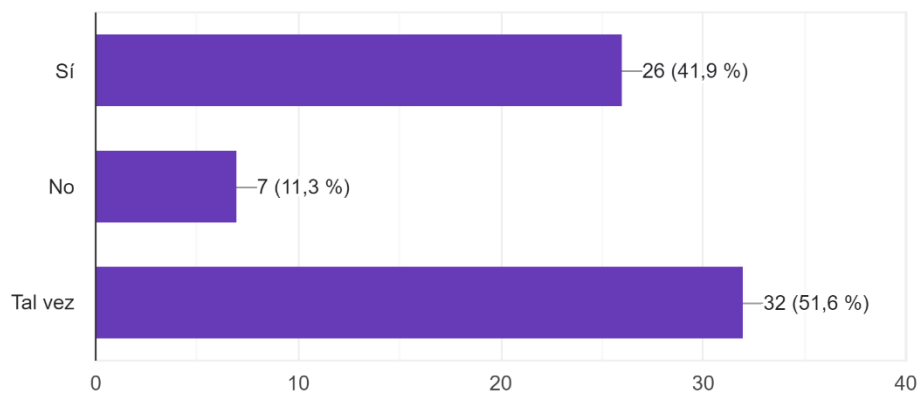
¿Cree que el gobierno debería proporcionar pautas sobre el consumo seguro de arroz en relación con el contenido de metal?

62 respuestas



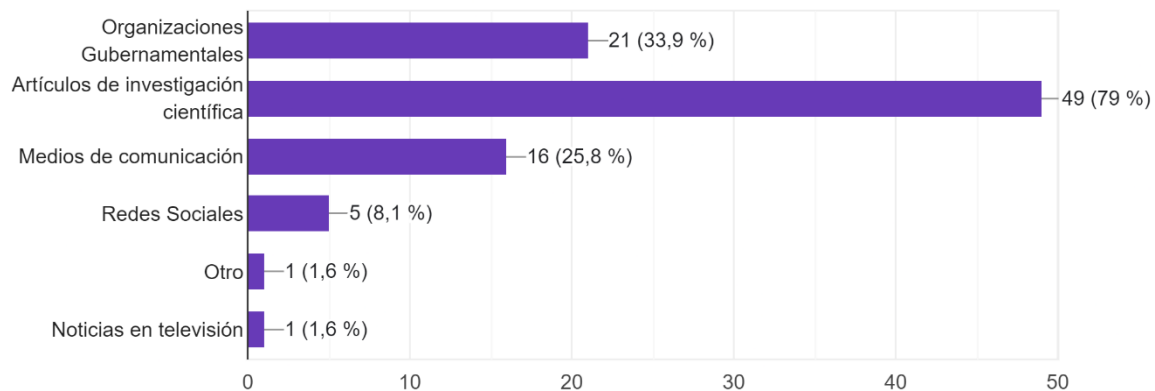
¿Considera que es menos probable que el arroz orgánico contenga metales en comparación con el arroz cultivado convencionalmente?

62 respuestas



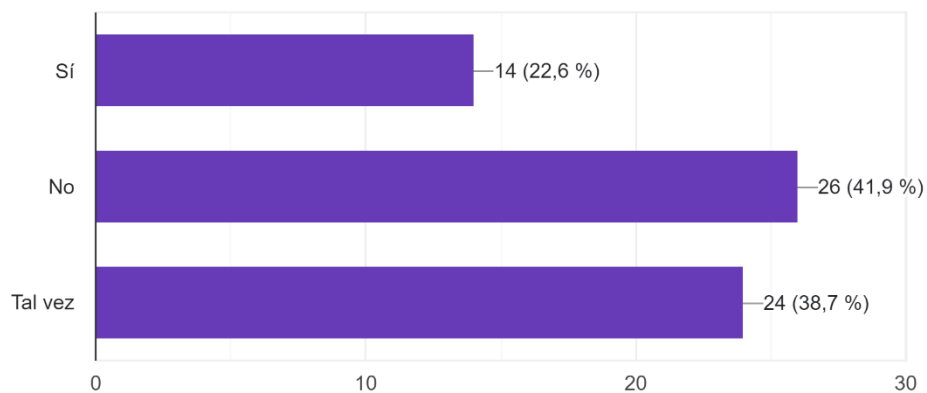
¿En qué fuentes de información confía con respecto al tema de los metales en el arroz? (Seleccione todo lo que aplique)

62 respuestas



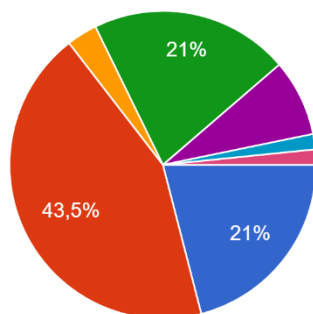
¿Cree que las normas de seguridad alimentaria garantizan que el arroz que consumimos es seguro?

62 respuestas



¿Cuál es el método más efectivo para reducir el contenido de metales en el arroz?

62 respuestas



- Tratar plantas de arroz con medidas orgánicas
- Disminuir el uso de agroquímicos en las plantaciones
- Lavar el arroz antes de la cocción
- Regular el contenido de metales por parte de control sanitario
- Ofrecer capacitaciones sobre los met...
- Análisis de suelos y aguas de riego
- No sé

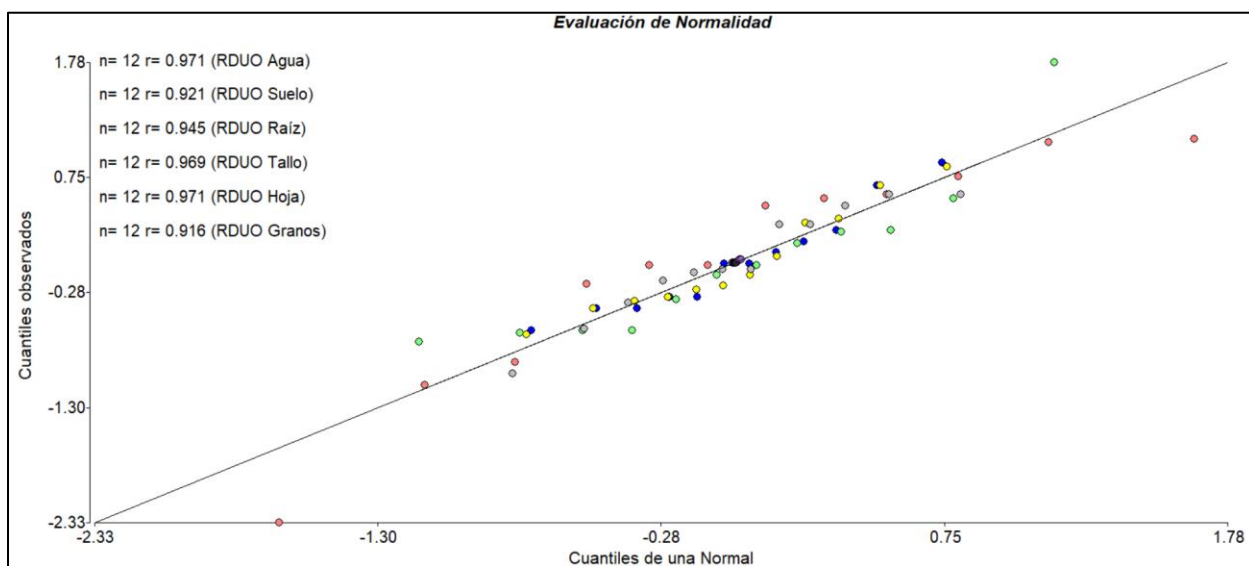
Anexo 2. Tabla de recopilación de concentraciones de As registradas

Tipo de muestra	Concentración As (mg kg ⁻¹)	Región	Autor
Suelo	7.3 - 24.1	Estados Unidos	(Muehe et al., 2019)
Agua	0.21	Japón	(Joardar, 2015)
Raíz	1.37-80.3	Blangladesh	(Rauf et al., 2011)
Tallo	1.48-17.6	Europa	(Heitkemper et al., 2001)
Granos	0.241-1.298		España
Hoja	10 -15		
Suelo	22		
Agua	0.125-0.145		
Raíz	20.56-22.77	India	(Singh et al., 2011)
Tallo	0.87-0.96		
Hoja	-		
Granos	0.067- 0.87		
Suelo	9.81-17.18	China	(Yao et al., 2021)
Raíz	667.8 - 83.3	China	(Huang et al., 2023)
Tallo	61.8-133.3		
Hoja	6.74-129.41	China	(Yao et al., 2021)
Granos	0.132	China	(Y. Liu et al., 2023)

Anexo 3. Test de Shapiro- Wilks

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Agua	12	0.00	0.46	0.92	0.4551
RDUO Suelo	12	0.00	0.71	0.86	0.0858
RDUO Raíz	12	0.00	1.02	0.89	0.1922
RDUO Tallo	12	0.00	0.47	0.91	0.3677
RDUO Hoja	12	0.00	0.50	0.91	0.3909
RDUO Granos	12	0.00	0.01	0.78	0.0048



Anexo 4. Prueba t para muestras independientes:

Variable:SUELO - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6
Media	1.43	2.82
Varianza	0.19	0.91
Media (1)-Media (2)	-1.38	
LI (95)	-2.34	
LS (95)	-0.43	
pHomVar	0.1071	
T	-3.24	
gl	10	
p-valor	0.0089	

Variable:RAIZ - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6
Media	4.53	3.30
Varianza	1.50	0.78
Media (1)-Media (2)	1.23	
LI (95)	-0.14	
LS (95)	2.61	
pHomVar	0.4875	
T	2.00	
gl	10	
p-valor	0.0730	

Variable:TALLO - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6
Media	0.95	1.42
Varianza	0.29	0.19
Media (1)-Media (2)	-0.47	
LI (95)	-1.10	
LS (95)	0.16	
pHomVar	0.6500	
T	-1.65	
gl	10	
p-valor	0.1302	

Variable:HOJAS - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6

Media	0.67	1.10
Varianza	0.08	0.47
Media (1)-Media (2)	-0.43	
LI (95)	-1.11	
LS (95)	0.24	
pHomVar	0.0726	
T	-1.44	
gl	10	
p-valor	0.1816	

Variable:FBC - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6
Media	4.68	2.22
Varianza	3.29	0.46
Media (1)-Media (2)	2.45	
LI (95)	0.69	
LS (95)	4.21	
pHomVar	0.0496	
T	3.10	
gl	10	
p-valor	0.0112	

Variable:FT - Clasific:CIUDAD*TRATAMIENTO - prueba:Bilateral

	Grupo 1	Grupo 2
	DAULE:1	VENTANAS:2
n	6	6
Media	0.38	0.83
Varianza	0.03	0.15
Media (1)-Media (2)	-0.45	
LI (95)	-0.83	
LS (95)	-0.07	
pHomVar	0.0775	
T	-2.63	
gl	10	
p-valor	0.0250	

Anexo 5. Prueba ANOVA Descriptivo.

Análisis de la varianza

Agua

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Agua	12	0.25	0.17	49.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.75	1	0.75	3.27	0.1009
Agroecosistema	0.75	1	0.75	3.27	0.1009
Error	2.30	10	0.23		
Total	3.05	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.61650

Error: 0.2297 gl: 10

Agroecosistema Medias n E.E.

VENTANAS	0.72	6	0.20	A
DAULE	1.22	6	0.20	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Suelo	12	0.51	0.46	34.84

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.74	1	5.74	10.47	0.0089
Agroecosistema	5.74	1	5.74	10.47	0.0089
Error	5.48	10	0.55		
Total	11.22	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.95244

Error: 0.5482 gl: 10

Agroecosistema Medias n E.E.

DAULE	1.43	6	0.30	A
VENTANAS	2.82	6	0.30	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Raíz

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Raíz	12	0.29	0.21	27.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.56	1	4.56	4.01	0.0730
Agroecosistema	4.56	1	4.56	4.01	0.0730

Error	11.37	10	1.14
Total	15.94	11	

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.37191

Error: 1.1373 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
VENTANAS	3.30	6	0.44 A
DAULE	4.53	6	0.44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tallo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tallo	12	0.21	0.14	41.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.65	1	0.65	2.72	0.1302
Agroecosistema	0.65	1	0.65	2.72	0.1302
Error	2.40	10	0.24		
Total	3.06	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63065

Error: 0.2403 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
DAULE	0.95	6	0.20 A
VENTANAS	1.42	6	0.20 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Hoja

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hoja	12	0.17	0.09	59.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.56	1	0.56	2.06	0.1816
Agroecosistema	0.56	1	0.56	2.06	0.1816
Error	2.73	10	0.27		
Total	3.30	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.67256

Error: 0.2733 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
DAULE	0.67	6	0.21 A
VENTANAS	1.10	6	0.21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos	12	6.3E-04	0.00	124.54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7.5E-07	1	7.5E-07	0.01	0.9382
Agroecosistema	7.5E-07	1	7.5E-07	0.01	0.9382
Error	1.2E-03	10	1.2E-04		
Total	1.2E-03	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01402

Error: 0.0001 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
DAULE	0.01	6	4.4E-03 A
VENTANAS	0.01	6	4.4E-03 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FBC

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FBC	12	0.49	0.44	39.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.06	1	18.06	9.68	0.0110
Agroecosistema	18.06	1	18.06	9.68	0.0110
Error	18.65	10	1.87		
Total	36.71	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.75683

Error: 1.8651 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
VENTANAS	2.23	6	0.56 A
DAULE	4.68	6	0.56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FT

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FT	12	0.41	0.35	48.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.61	1	0.61	6.92	0.0251
Agroecosistema	0.61	1	0.61	6.92	0.0251
Error	0.88	10	0.09		
Total	1.49	11			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.38119

Error: 0.0878 gl: 10

Agroecosistema	Medias	n	E.E.
DAULE	0.38	6	0.12 A
VENTANAS	0.83	6	0.12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 6. Correlación de Pearson para agroecosistema Daule

Coefficientes de correlación

Agroecosistema = DAULE

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Agua	Suelo	Raíz	Tallo	Hoja	Granos	FBC	FT
Agua	1.00	0.31	0.87	0.52	0.50	1.00	0.49	0.47
Suelo	-0.50	1.00	0.76	0.86	0.68	0.43	0.03	0.83
Raíz	-0.09	0.16	1.00	0.72	0.98	0.59	0.47	0.10
Tallo	-0.33	-0.09	0.19	1.00	0.80	0.33	0.59	0.38
Hoja	-0.35	-0.22	-0.01	-0.13	1.00	0.39	0.75	0.63
Granos	-1.8E-03	0.40	-0.28	-0.48	0.44	1.00	0.20	0.79
FBC	0.36	-0.85	0.37	0.28	0.17	-0.60	1.00	0.67
FT	-0.37	-0.12	-0.72	0.44	0.25	0.14	-0.22	1.00

Anexo 7. Correlación de Pearson para agroecosistema Ventanas.

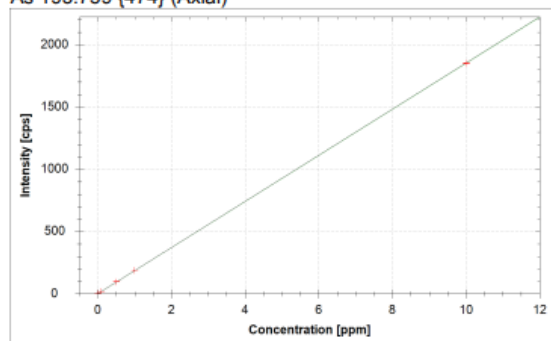
Agroecosistema = VENTANAS

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Agua	Suelo	Raíz	Tallo	Hoja	Granos	FBC	FT
Agua	1.00	0.29	0.62	0.88	0.08	0.72	0.02	0.53
Suelo	0.52	1.00	0.43	0.59	0.17	0.78	0.04	0.24
Raíz	-0.26	0.40	1.00	0.32	0.81	0.27	0.95	0.06
Tallo	0.08	0.28	-0.49	1.00	0.33	0.01	0.48	0.33
Hoja	-0.75	-0.64	0.13	-0.48	1.00	0.16	0.02	0.48
Granos	0.19	0.15	-0.54	0.91	-0.65	1.00	0.46	0.48
FBC	-0.87	-0.83	0.03	-0.36	0.89	-0.38	1.00	0.42
FT	-0.32	-0.57	-0.80	0.48	0.36	0.36	0.41	1.00

Anexo 8. Gráfica de calibración de ICP-OES

As 193.759 {474} (Axial)



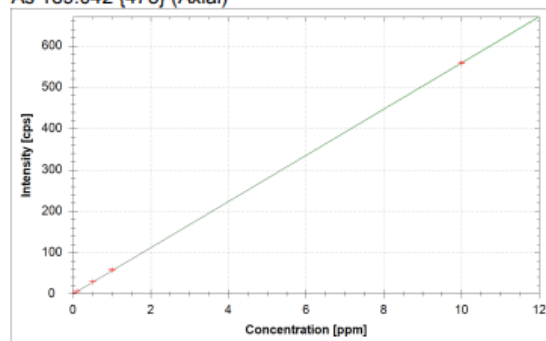
$$f(x) = 185.2046x + 1.2427$$

$$R^2 = 1.0000$$

$$\text{BEC} = 0.007 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0086 \text{ ppm}$$

As 189.042 {478} (Axial)



$$f(x) = 55.9417x - 0.1741$$

$$R^2 = 1.0000$$

$$\text{BEC} = -0.003 \text{ ppm}$$

$$\text{LoD} = 0.0312 \text{ ppm}$$