

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



**“LOS ELEMENTOS PESADOS EN LA PRODUCCIÓN  
SUSTENTABLE DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) EN POROTO, LA  
LIBERTAD”**

**Presentada por:**

**NÉLSON ENRIQUE GÓMEZ ARROYO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**Lima - Perú**

**2023**

# LOS ELEMENTOS PESADOS EN LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE LA PIÑA (Ananas comosus) EN POROTO, LA LIBERTAD

## INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://vbook.pub">vbook.pub</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://www.minagri.gob.pe">www.minagri.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.usm.cl">repositorio.usm.cl</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://erp.untumbes.edu.pe">erp.untumbes.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://ri.ues.edu.sv">ri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://westanalitica.com.mx">westanalitica.com.mx</a> Fuente de Internet	1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**"LOS ELEMENTOS PESADOS EN LA PRODUCCIÓN  
SUSTENTABLE DE LA PIÑA (*Ananas comosus*) EN POROTO, LA  
LIBERTAD"**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**NÉLSON ENRIQUE GÓMEZ ARROYO**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Ph.D. Walter Apaza Tapia  
**PRESIDENTE**

Dr. Oscar Loli Figueroa  
**ASESOR**

Mg.Sc. Luis Rubén Bazán Tapia.  
**MIEMBRO**

M.Sc. Andrés Virgilio Casas Diaz  
**MIEMBRO**

*Con todo el amor dedico el presente trabajo a Dios.  
A mis padres, por ser la herramienta principal  
del espíritu resiliente en mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y hermanos César, Eliana, Pedro y Luis por su incondicional apoyo.

Al Dr. Oscar Loli Figueroa por su excelente apoyo y guía en la realización de este trabajo.

Al Jurado Calificador, Ph.D. Walter Apaza Tapia, Mg.Sc. Rubén Bazán Tapia y M.Sc. Andrés Casas Díaz, por su buena predisposición y apoyo.

A mi Madrina Malena Alosilla Salas, por sus consejos y guía.

Al Ing. Julio Zavaleta Armas, por su excelente apoyo profesional.

Al Blg. Johnnel Paredes Villanueva, por su apoyo profesional y logístico.

Al Ing. Juan Guerrero, por su colaboración en la ejecución de este trabajo.

A Mg. Sc. Mirta Urcia, por su apoyo y logística.

Al Ing. Alcides Gutiérrez Castro, por su apoyo y trabajo en campo.

A la memoria del Ing. José Luis Moncada

Al Dr. Daniel Mendoza Marin, por su inestimable apoyo.

A la Profesora Laura López Ibañez, por su oportuna atención.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, institución que me brindó la formación en la especialidad.

Al personal de Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo, por hacer posible este trabajo.

A los pobladores del distrito de Poroto, por su colaboración e interés en el desarrollo de su comunidad.

A todas las personas que contribuyeron con mi crecimiento profesional, resultado de la confianza y la fuerza de cada uno de ustedes.

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Cultivo de piña.....	3
2.2. Metales pesados .....	3
2.3. Absorción de elementos pesados .....	4
2.4. Incidencia en la salud humana .....	5
2.5. Elementos pesados en la planta.....	5
2.6. Acumulación de metales pesados en el suelo y sedimentos de relaves mineros .....	6
2.7. Alcances de la tesis .....	6
2.8. Estudios previos similares realizados .....	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1. Fase preliminar.....	9
3.2. Fase de campo.....	9
3.2.1. Caracterización de suelos .....	9
3.2.2. Características químicas de los suelos .....	10
3.2.3. Muestreo de agua .....	11
3.2.4. Muestreo de tejido vegetal .....	12
3.2.5. Recolección de información.....	12
3.3. Fase de laboratorio.....	12
3.3.1. Análisis de suelos .....	12
3.3.2. Análisis de material vegetal .....	13
3.3.3. Análisis de agua .....	13
3.4. Fase de gabinete.....	13
3.4.1. Análisis de la sustentabilidad .....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. Presencia de plomo, cadmio, cromo en el área en estudio.....	19
4.2. Elementos pesados en el suelo.....	20
4.2.1. Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en el suelo con las zonas en estudio .....	23
4.3. Presencia de elementos pesados en el agua de riego .....	24
4.3.1. Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en el agua de riego con las zonas en estudio .....	27
4.4. Presencia de elementos pesados en frutos de piña.....	28
4.4.1 Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en frutos de piña con las zonas en estudio .....	31

4.5. Análisis de sustentabilidad.....	32
V. CONCLUSIONES .....	45
VI. RECOMENDACIONES .....	46
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
VIII. ANEXOS .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Posición georreferenciada de los puntos de muestreo en el distrito de Poroto, La Libertad .....	18.
Tabla 2: Niveles críticos encontrados en las localidades en estudio en suelo, agua de riego y frutos de piña .....	19
Tabla 3: Indicadores y subindicadores socioculturales de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto.....	34
Tabla 4: Valores promedios de indicadores socioculturales de los productores de piña en el distrito de Poroto .....	36
Tabla 5: Indicadores y subindicadores económicos de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto .....	38
Tabla 6: Valores promedio de indicadores económicos de sustentabilidad del cultivo de piña.....	39
Tabla 7: Indicadores y subindicadores ambientales de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto .....	40
Tabla 8: Valores promedio de indicadores de sustentabilidad ambiental para el cultivo en piña .....	41
Tabla 9: Valores de los indicadores de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Área de estudio dentro de la cuenca del río Moche .....	8
Figura 2. Imagen satelital de la Cuenca media baja del río Moche, con la ubicación de los puntos de muestreo.....	18
Figura 3. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de suelos utilizados para cultivo de piña en 16 zonas del distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015. ....	23
Figura 4. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de agua utilizados para riego de cultivo de piña en 16 zonas del distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015.....	27
Figura 5. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de pulpa de frutos de piña en 16 zonas del Distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015. ....	31
Figura 6. Agroecosistema del cultivo de piña .....	33
Figura 7. Niveles de sustentabilidad sociocultural. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del distrito de Poroto, La Libertad.....	37
Figura 8. Niveles de sustentabilidad económica. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del distrito de Poroto, La Libertad.....	40
Figura 9. Niveles de Sustentabilidad Ambiental. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del Distrito de Poroto, La Libertad. ....	42
Figura 10. Sustentabilidad para el sistema de producción de piña en el distrito de Poroto	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: pH (1:1) del suelo de 16 zonas del área de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm. ....	53
Anexo 2: C.E. del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	54
Anexo 3: MO del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	55
Anexo 4: P (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm.....	56
Anexo 5: K (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	57
Anexo 6: CIC del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	58
Anexo 7: Suma de cationes del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	59
Anexo 8: Pb (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm .....	60
Anexo 9: Cd (ppm). del suelo de 16 zonas de Estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm.....	61
Anexo 10: Cr (ppm). del suelo de 16 zonas de Estudio, en capas hasta una profundidad 50 cm.....	62
Anexo 11: Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo tomadas en cada localidad en la capa superficial hasta 25 cm de profundidad .....	63
Anexo 12: Análisis de agua de riego de las diferentes zonas en estudio.....	64
Anexo 13: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.....	65
Anexo 14: Estándares nacionales de calidad ambiental para el suelo .....	67
Anexo 15: Valores máximos permisibles de elementos pesados para pulpa de frutas.....	68
Anexo 16: Coeficientes de transferencia de elementos pesados del suelo a la planta.....	69
Anexo 17: Aporte de elementos pesados en el agua de riego por volumen mensual.....	70
Anexo 18: Relación de elementos pesados entre suelo y plantas de piña .....	71
Anexo 19:Ficha utilizada para levantamiento de suelos .....	72

Anexo 20: Encuesta para el productor agrícola.....	73
Anexo 21: Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside.....	77
Anexo 22: Factor de bioacumulación de elementos pesados de hoja y frutos de piña.....	78
Anexo 23: Clasificación de frutos de piña Ananás comosus Merr por calidad para el consumo fresco excluido el procesamiento industrial .....	79
Anexo 24: Grados de madurez de los frutos de piña .....	80
Anexo 25: Interacciones de elementos pesados dentro de los organismos vegetales y adyacentes a las raíces de las plantas. ....	81
Anexo 26: Lineamientos para la interpretación de la calidad del agua para riego <sup>1</sup> .....	82
Anexo 27: Concentraciones máximas recomendadas de oligoelementos en el agua de riego <sup>1</sup> .....	83
Anexo 28: Concentraciones aproximadas de oligoelementos en tejido foliar maduro generalizadas para diversas especies (mg/kg).....	84
Anexo 29: Concentraciones críticas de elementos pesados (elementos traza) en tejidos vegetales.....	85
Anexo 30: Análisis de componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a las propiedades químicas del suelo .....	86
Anexo 31: Análisis de Componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a las propiedades químicas del agua de riego.....	87
Anexo 32: Análisis de componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a los componentes químicos de los frutos de piña.....	88

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en el distrito de Poroto, región La Libertad con el objetivo de determinar la sustentabilidad del cultivo de piña y caracterizar los suelos considerando la presencia de elementos pesados. Poroto, distrito de la provincia de Trujillo cuenta con un área de 276.01 km<sup>2</sup>; y una población de 3 413 habitantes, aproximadamente. Para el estudio se consideró 16 localidades, se realizó una encuesta a productores de piña la que incluye aspectos socio culturales, económico y ambiental para determinar la sustentabilidad del cultivo de piña usando el método de indicadores. Para la determinación de los niveles de concentración de elementos pesados (Pb, Cd y Cr) se tomó muestras de suelo, de agua de riego y frutos de piña. Los resultados nos indican que las concentraciones de Cd y Cr, exceden los límites permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental en todos los suelos muestreados, los niveles más altos de Pb y Cd en suelo están asociados a las localidades de Poroto, Con Con 1 y Con Con 2, suelos más fértiles; y los niveles más altos de Cr y más bajos de Cd están asociados a las localidades de Guayabito, Campo Piura, Canseco y Mochalito, zonas más áridas. En el agua de riego y pulpa de frutos, las concentraciones de Pb y Cd exceden los parámetros máximos de calidad ambiental. Los niveles altos de Cr en el agua de riego están asociados a las localidades de Mochalito y Samne. Los niveles altos en Cr y Pb en pulpa de frutos están asociados a las localidades de Plazapampa y Mishirihuanca. Existe una contaminación de los suelos debido al aporte elevado y constante de Cd por el agua de riego. El cultivo de piña es sustentable, en las dimensiones económico, sociocultural y ambiental, debido al acceso y facilidades al mercado.

**Palabras clave:** Indicadores, caracterización, sustentabilidad, contaminación, concentración.

## ABSTRACT

The present study was carried out in the district of Poroto, La Libertad region with the objective of determining the sustainability of pineapple cultivation and characterizing the soils considering the presence of heavy elements. Poroto, district of the province of Trujillo has an area of 276.01 km<sup>2</sup>; and a population of 3 413 inhabitants, approximately. For the study, 16 localities were considered, and a survey was carried out with pineapple producers that includes socio-cultural, economic and environmental aspects to determine the sustainability of pineapple cultivation using the indicator method. Soil, irrigation water and pineapple fruit samples were taken to determine the concentration levels of heavy elements (Pb, Cd and Cr). The results indicate that the concentrations of Cd and Cr exceed the permissible limits of the Environmental Quality Standards in all sampled soils, the highest levels of Pb and Cd in soil are associated with the localities of Poroto, Con Con 1 and Con Con 2, more fertile soils; and higher levels of Cr and lower levels of Cd are associated with the more arid areas of Guayabito, Campo Piura, Canseco and Mochalito. In irrigation water and fruit pulp, concentrations of Pb and Cd exceed maximum environmental quality parameters. High levels of Cr in irrigation water are associated with the towns of Mochalito and Samne. High levels in Cr and Pb in fruit pulp are associated with the localities of Plazapampa and Mishirihuanca. There is soil contamination due to the high and constant contribution of Cd by irrigation water. Pineapple cultivation is sustainable, in economic, socio-cultural and environmental dimensions, due to access and facilities to the market.

**Keywords:** Indicators, characterization, sustainability, pollution, concentration.

## I. INTRODUCCIÓN

La importancia del cultivo de piña en el distrito de Poroto, además de su rentabilidad, está relacionada con las condiciones ambientales muy favorables y brinda una ventaja competitiva para los agricultores locales.

En la actualidad el rendimiento de este cultivo se ha reducido en forma sensible, por ello los agricultores han sufrido un problema en su economía. Este problema ocurre en forma paralela al crecimiento de la actividad minera. En base a este problema fue que se planteó el presente trabajo tratando de estudiar el efecto de los elementos pesados provenientes de la actividad minera en los rendimientos del cultivo de piña.

Los bajos niveles de estos elementos brindarían la posibilidad de mejores oportunidades de comercio de piña. Los métodos de muestreo para análisis de estos compuestos tienen como propósito brindar certidumbre en las acciones de caracterización, evaluación y posterior remediación, es necesario conocer la acumulación de estos elementos y la presencia en las zonas de cultivo de piña, fruto, agua de riego y suelos.

Esta nueva situación hace no sustentable al cultivo de piña; sin embargo, esta puede ser una de las causas que se añan a otras de índole técnico agronómico, tal como analizar qué nivel de sustentabilidad presenta. Para esto, se realiza un estudio de manera más integral enfocando las dimensiones Social, Económico y Ambiental (Sarandon 1997).

Otra de las razones por las que se realiza la presente investigación, es que existen escasos datos o muy poca información actualizada que respalde esta afirmación, aparte de los estudios realizados sobre grados de contaminación debido a la actividad minera y sustentabilidad de agroecosistemas. Asimismo, acerca del manifiesto de los agricultores sobre el efecto de la contaminación de los recursos naturales, los cuales sirvan como referencia para ser usados en actividades agrícolas posteriores.

Una de las fuentes principales de contaminación de las aguas del río Moche son los efluentes de aguas residuales, producto de la actividad minera, sobre todo en los trabajos de minería artesanal en el pasivo minero ubicado en Samne y empresas mineras ubicadas en cabecera de cuenca, distrito de Quiruvilca (ANA 2015). Asimismo, se identificó hasta el año 2014 una cantidad de 30 efluentes contaminantes sin autorización y se actualizan la cantidad de fuentes hasta la actualidad.

El presente trabajo trata de determinar en qué cantidades se han acumulado algunos metales pesados a partir de una fuente de origen primaria en la cabecera del río Moche en suelo, agua y frutos de piña, además de determinar la producción sustentable del cultivo de piña.

Actualmente se considera incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social (Prieto 2011), siendo el agua un recurso fácilmente vulnerable por las actividades humanas, el suelo como base de desarrollo agrícola y el cultivo de piña de importancia local y regional.

Los impactos que sufre la cuenca son los vertimientos producidos por la industria, la minería, la población, la deforestación e invasión de la faja marginal y la sustitución por otros cultivos itinerantes y perennes.

De acuerdo a lo mencionado, podemos indicar que el objetivo principal de la presente investigación fue determinar la sustentabilidad del cultivo de piña así como caracterizar los suelos considerando la presencia de elementos pesados.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. CULTIVO DE PIÑA**

El cultivo de piña (*Ananas comosus* (Lindl) Merr), es una planta perenne (Bromeliáceae) originaria de zonas tropicales de Brasil, posee propagación vegetativa, formada por una base de hojas compactas unidas, las cuales después de 1 o 2 años, tienen un crecimiento longitudinal formando una inflorescencia (Vargas 2009).

Requerimientos edafoclimáticos: T° media anual: 25 – 32 °C, precipitación; 1 000-1 500 mm y elevada humedad ambiental. Las variedades botánicas más conocidas son var. Sativus (sin semillas), var comosus (con semillas capaces de germinar), var. Lucidus (hojas sin espinas). La cosecha se realiza al cabo de 15 a 24 meses y, posteriormente de los brotes laterales, después de 15 a 18 meses (Vargas 2009).

El distrito de Poroto está ubicado en el valle de Santa Catalina, departamento de La Libertad, al este de la provincia de Trujillo, en el borde derecho del río Moche, en el llano de la cordillera occidental del norte del Perú. A 40 km de la provincia de Trujillo se cultivan productos como piña, yuca, tumbo, palto, caña de azúcar, mango, plátano y otros frutos, dentro de ellos el de mayor importancia es la piña (Gamarra 2016).

### **2.2. METALES PESADOS**

Son aquellos elementos químicos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los metales más importantes son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Zúñiga 1999).

Se definen también como aquellos elementos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Los términos metales pesados y metales tóxicos se

usan como sinónimos, pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos (Kabata – Pendias *et al.* 2007).

Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones (Zúñiga 1999).

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas. Se incorporan con los alimentos o como partículas que se respiran y se van acumulando en el organismo, hasta llegar a límites de toxicidad. Si la incorporación es lenta se producen intoxicaciones crónicas, que dañan los tejidos u órganos en los que se acumulan. (Thiel 2014).

Durante muchos años se usaba el óxido de plomo como pigmento blanco en las pinturas (hoy reemplazado por óxido de titanio) y en muchos países se sigue usando el tetraetil plomo como aditivo de las naftas. Durante la combustión de éstas, las partículas del metal pasan al aire y quedan en el polvo de los caminos. Se usa en soldaduras y como cobertura maleable de algunas pilas, y como elementos en las baterías de los autos. El Hg se usa puro o en forma de amalgamas. Su uso en la medicina dental y en algunas pilas es frecuente. El Cd se usa en diversas aleaciones y también en pilas (Thiel 2014).

Los metales pesados son elementos que en su mayoría son de origen antropogénico, su presencia en niveles elevados supone un peligro para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general, los ríos son la principal vía de transporte de metales pesados debido a la gran facilidad que tienen para ser transportados en materiales suspendidos (Kabata - Pendias 2007).

### **2.3. ABSORCIÓN DE ELEMENTOS PESADOS**

La absorción de metales pesados depende del pH del suelo, por ejemplo, la absorción máxima de Hg se da en rangos de pH que va de 4.0 a 5.0 y de manera opuesta disminuye significativamente la absorción de Hg con la presencia de Cl según lo referido por Diego Miranda *et al.* (2008).

Para el presente trabajo se han considerado según la norma peruana los siguientes elementos pesados: Pb, Cd y Cr. El Pb, As, Cd y Hg son de importancia cuando de contaminación de suelo, agua y cultivos se trata.

Los elementos pesados se pueden clasificar en dos grupos:

- a. Oligoelementos o micronutrientes, necesarios en pequeñas cantidades; pero tóxicos en cantidades que rebasan cierto umbral: As, B, Co, Cr, Cu, Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Ni, Selenio (Se) y Zn.
- b. Elementos sin función biológica conocida. Altamente tóxicos, entre ellos: Bario (Ba) Cd, Hg, Pb, Antimonio (Sb), Bismuto (Bi) (Navarro *et al.* 2007).

#### **2.4. INCIDENCIA EN LA SALUD HUMANA**

La toxicidad por metales pesados es alta, tanto para microorganismos como para animales y plantas. Los metales pesados pasan del suelo a las plantas, y de ahí a los mamíferos. El problema esencial es que debido a la semejanza entre muchos contaminantes y los elementos trazas esenciales, las células pueden incorporar elementos tóxicos que quedan dentro de ellas o incorporados en su membrana causando un daño letal. En humanos se crean problemas en los tejidos reproductivos y en desarrollo, de tal manera que existe un riesgo de exposición en útero (teratógenos) y primeros años de vida (acumulación). Dentro de los más conocidos tenemos por As: bronquitis, cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; por Cd: bronquitis, nefrotoxicidad, infertilidad, cáncer de próstata, hipertensión, enfermedades vasculares y óseas; por Hg: alteraciones neurológicas y sistema respiratorio, casi todas las formas de mercurio son tóxicas sobre todo el vapor; por Pb: nefrotoxicidad, cáncer de riñón, anemia, etc (Navarro-Aviño *et al.* 2007).

#### **2.5. ELEMENTOS PESADOS EN LA PLANTA**

Los elementos pesados en el tejido foliar están ligados a los momentos fisiológicos en los que se realizan los muestreos, ya que las plantas tienen diversas rutas metabólicas (Miranda *et al.* 2008).

La presencia de los elementos pesados en los tejidos de los cultivos va en aumento durante su ciclo biológico debido al proceso de acumulación por ejemplo en lechuga y apio a los 74 días después del tratamiento (ddt) presentan 0.40 y 0.43 mg kg<sup>-1</sup> de peso fresco, más aún en el cultivo de piña cuyo periodo de vida es mayor, también la acumulación y/o presencia de

elementos pesados tiene que ver con el tamaño de planta o cercanía del tejido vegetal con el punto de ingreso (raíces) cuanto más cerca de las raíces, mayor es la concentración en los tejidos. Estos elementos se transfieren a animales por ejemplo por bioacumulación de los metales, pues diversas investigaciones demuestran que algunos bovinos luego de ingerir agua y pastos contaminados por metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) presentan concentraciones de dichos elementos en la leche y carne (Gavidia *et al.* 2022).

## **2.6. ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN EL SUELO Y SEDIMENTOS DE RELAVES MINEROS**

Según Navarro (2007), los metales pesados en el suelo también siguen pautas de movilidad generales como: movilización a las aguas superficiales o subterráneas, transferencia a la atmósfera, por volatilización, absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas y retención en el suelo ya sea sueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación o precipitación. De allí la cantidad o presencia en cualquiera de estos elementos puede ser variable, dependiendo de la cantidad de aporte y el tiempo a la exposición o frecuencia de aporte del afluente; por lo tanto, surge la necesidad de tratar, descontaminar, y remediar suelos contaminados por metales pesados.

## **2.7. ALCANCES DE LA TESIS**

Mediante este tipo de trabajo el impacto es a nivel de la cuenca media del río Moche, cuya finalidad es beneficiar en primer lugar a los productores de piña, y luego del conocimiento de la sustentabilidad de este cultivo, se pueda plantear algunas alternativas de solución y extrapolarse de manera similar a otras zonas.

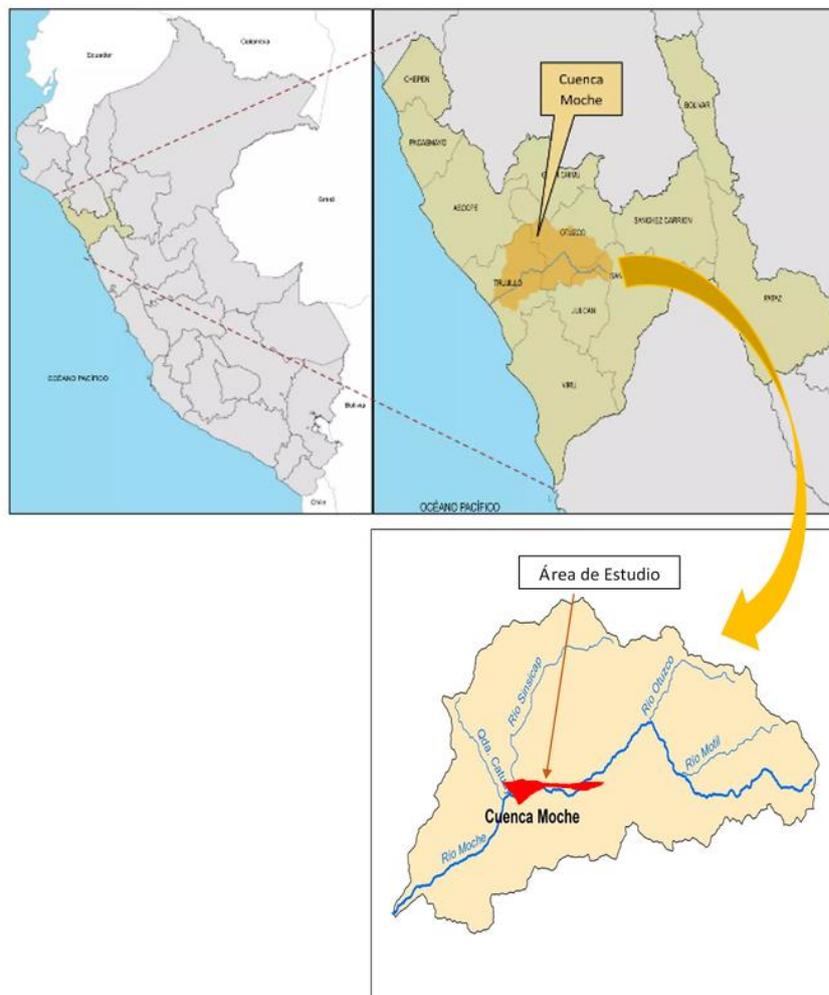
## **2.8. ESTUDIOS PREVIOS SIMILARES REALIZADOS**

Dado al impacto que tienen algunos metales pesados sobre el medio ambiente se han realizado trabajos como, por ejemplo: la determinación de metales pesados en suelos realizados en México, en la zona de Natividad, Ixtlán de Juárez Oaxaca, en dos épocas estacionales cuantificando Cd, As, Pb, Cr, encontrando como resultado que el As y el Pb fueron los que superaron los niveles establecidos según la norma NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004J (MINAM 2017).

Otros estudios realizados en la cuenca del río Moche concluyen que la mayor contaminación por metales pesados se encontró en la cuenca alta (más cerca de las vertientes de relaves), y el Hierro (Fe) fue el metal de mayor concentración durante el año 1980. Asimismo, la zona de mayor concentración de metales pesados fue la margen derecha de la cuenca media y el cultivo más contaminado fue yuca (*Manihot esculentus*) (Acevedo 2021).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de Poroto (La Libertad), cuenca media del río Moche, se trabajó con agricultores productores de piña y sus predios en 16 zonas agrícolas. Para la obtención de datos, la información principal se obtuvo a través de encuestas confeccionadas considerando las dimensiones de la sustentabilidad para el cultivo de piña, estas encuestas se tomaron a los agricultores dueños de cada uno de los predios.



**Figura 1. Ubicación geográfica del Área de estudio dentro de la cuenca del río Moche**  
Fuente: EPS SEDALIB S.A (2018)

Para poder ejecutar la investigación, se siguió una secuencia lógica de actividades, considerando los siguientes aspectos de estudio:

- Caracterización de los suelos
- Presencia de elementos pesados en agua de riego, en las diferentes capas de suelo, en frutos de piña, en tejido foliar
- Determinar la sustentabilidad del cultivo de piña

### **3.1. FASE PRELIMINAR**

En esta etapa se recolectó información previa, referente a la zona, mapas satelitales (Google Earth), y referencias informativas locales para una correcta ubicación de las áreas agrícolas, fuentes de agua para riego y de preferencia de cultivos de piña.

### **3.2. FASE DE CAMPO**

#### **3.2.1. Caracterización de suelos**

La caracterización de los suelos para cultivo de piña se realizó en base al manual de levantamiento de suelos propuesto por la ONERN, éste documento de valor permanente será útil para los fines de diversas investigaciones en los campos productivos ganaderos, agrícola y forestal, asimismo servirá como documento básico para la conservación ambiental, orientará la planificación regional y las políticas sobre asentamientos humanos, también constituirá la información básica necesaria para establecer una política integrada sobre el manejo y conservación de los recursos naturales del país (Ventura 1995).

Se realizó un recorrido previo de toda la zona en estudio para identificar las áreas y puntos de muestreo verificando la ubicación, y registrando en un plano realizado a mano alzada como referencia y los datos necesarios del recorrido.

Para la caracterización de los suelos en cada zona, ubicada tanto al margen derecho e izquierdo del río Moche, se realizó una a dos calicatas por cada zona de dimensiones: 1.0 m de ancho x 2.0 m de largo x 1.5 m. – 2.0 m de profundidad en tal caso hasta que haya contacto lítico tales como las que se realizaron en las laderas por ejemplo en Canseco.

Las calicatas permiten la descripción directa y detalladamente el perfil representativo del suelo que se desea estudiar. El propósito del muestreo es establecer todas sus propiedades y características modales más frecuentes para una posterior clasificación (SERFOR 2016);

para ello, se identificó, midió y registró los horizontes del perfil en el sitio de muestreo, recolectando sus respectivas muestras para su posterior análisis químico en laboratorio y georreferenciando cada uno de los lugares de muestreo.

Se utilizó formatos para el llenado de información de las características del suelo de elaboración propia tomando como base el manual de levantamiento de suelos de la ONERN (Anexo 21).

La determinación de estas características del suelo servirá para determinar la calidad agrológica de los mismos, así como de sus limitantes.

### **3.2.2. Características químicas de los suelos**

La tabla del Anexo 1, muestra que el pH en la zona de estudio varía en un rango de 5.5 (Plazapampa) a 7 (Campo Piura), siendo 6 muestras neutras (6.6 - 7.3), 5 muestras ligeramente ácidas (pH 6.1 - 6.6) y 5 muestras ácidas (pH 5.5 - 6.1); con una tendencia a una reducción de la acidez con la profundidad. Los metales en los suelos de los bosques son movilizados más fácilmente (biodisponibles y lixiviados) que los metales en los suelos agrícolas. Esto es directamente relacionado con la mayor acidez de los suelos y con una mayor presencia de sustancias orgánicas de bajo peso molecular (Kabata - Pendias 2011).

Para conductividad eléctrica se presenta un rango de 0.1 (Poroto) a 6.6 dS/m (Campo Piura), donde 13 muestras de suelo son no salinas (<2 dS/m); 1 muestra correspondiente a Guayabito es poco salina (2 a 4 dS/m) y 2 muestras, Casa Blanca y Campo Piura, son moderadamente salinas (4 a 8 dS/m); con una fuerte reducción de la conductividad eléctrica con la profundidad (Anexo 2).

En contenidos de materia orgánica se encontró un rango de 0.1 a 5.3 por ciento, con una distribución de 8 muestras pobres (< 2 por ciento MO), 6 muestras con contenido medio (2-4 por ciento MO) y 1 muestra rica en materia orgánica (> 4 por ciento MO), las muestras de suelo de Con Con 1 y Poroto se presentan un nivel alto de materia orgánica (5.3 y 4.8, respectivamente); la tendencia es a un menor contenido de materia orgánica con la profundidad del suelo (Anexo 3).

Algunos procesos como la disolución, sorción, complejización, migración, precipitación, oclusión, están gobernados por varias propiedades del suelo, de las cuales el pH del suelo y el potencial redox se sabe que son los parámetros más importantes. Por lo tanto, la solubilidad de los elementos pesados a menudo se muestra en función del pH afectado por la cantidad y tipo de materia orgánica (Kabata – Pendias 2011).

Los contenidos de potasio disponibles de estos suelos varían en un rango de 8 (Canseco) a 50 ppm (Con Con 1), con 13 muestras de suelos altas en fósforo disponible ( $> 14$  ppm) y 3 muestras con un contenido medio de fósforo (P) disponible (7-14 ppm). Se presenta una tendencia a una disminución del contenido de P disponible con la profundidad del suelo, aunque aún a 0.5 m de profundidad 13 muestras presentan contenidos medios a ricos y sólo 3 muestras son pobres en P disponible (Anexo 4).

La actividad que puede favorecer el nivel de potasio (K) en las capas superficiales del suelo es el nivel elevado de dosis de NPK el cuál oscila entre  $608 \pm 481$  kg/ha de nitrógeno (N),  $257 \pm 372$  kg/ha de fosfórico ( $P_2O_5$ ) y  $421 \pm 594$  kg/ha de potasa ( $K_2O$ ); existiendo una amplia variabilidad dentro de caseríos de la zona de Poroto (Sarmiento 2017).

Los niveles de potasio disponible en estos suelos presentan un rango de 95 ppm (Mochalito) a 671 ppm (Con Con 1), donde 7 muestras son altas ( $> 250$  ppm), 5 medias (125-250 ppm) y 4 pobres ( $< 125$  ppm) en K disponible; con una clara tendencia a un empobrecimiento de K disponible con la profundidad del suelo (Anexo 5).

La CIC presenta un rango de 7.61 (Canseco) a 41.22 cmol+/kg de suelo (Con Con 1), donde 2 muestras son bajas ( $< 10$  cmol+/kg suelos), 12 muestras medias (10 – 30 cmol+/kg suelo) y 2 muestras altas ( $> 30$  cmol+/kg suelo); con una tendencia general a una disminución de la CIC con la profundidad del suelo (Anexo 6).

### **3.2.3. Muestreo de agua**

Para el análisis de elementos pesados en agua, se tomó en 16 puntos de muestreo por cada zona cercana a parcelas de cultivo de piña (1 L/muestra) usando como fuente acequias principales y secundarias, las cuales tomaron como base el método de recolección de muestras simple de acuerdo al Protocolo Nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA 2016).

Los parámetros considerados fueron parámetros químicos, cationes, aniones, salinidad y elementos pesados: Pb, Cd y Cr.

#### **3.2.4. Muestreo de tejido vegetal**

Para la muestra de frutos, se recolectó 2 frutos por cada punto de muestra en parcelas de cultivo de piña. Dichas muestras fueron de la misma edad, de preferencia, y 10 hojas incluyendo hojas "D". Entre los tipos de hojas en que se clasifica la piña, la hoja "D" es la más joven entre las hojas adultas y la que fisiológicamente se encuentra más activa. Adicionalmente, se utiliza para evaluar el crecimiento y el estado nutricional de la planta. No obstante, es ampliamente difundido el efecto que tiene el ambiente en las características morfológicas de las plantas, generando inclusive modificaciones fisiológicas, situación que ocurre en las Bromeliáceas. Más aún, la planta de piña presenta alta plasticidad morfológica y fisiológica, actuando facultativamente como C3 o CAM frente a variaciones en las condiciones ambientales (Aragón *et al.* 2012).

#### **3.2.5. Recolección de Información**

Se realizó en campo con la aplicación de una encuesta elaborada en base a formatos del curso Formulación y Evaluación de Sistemas Sustentables, aplicados a los productores de piña correspondientes a las parcelas muestreadas.

### **3.3. FASE DE LABORATORIO**

#### **3.3.1. Análisis de suelos**

Las muestras de suelo recolectadas por separado en cada calicata se realizaron análisis de rutina y fertilidad.

Se analizó las muestras para determinar la concentración de los elementos pesados: Pb, Cr y Cd también en cada muestra de suelo de las calicatas por cada zona de estudio y en cada capa.

El método de absorción atómica constituye una de las técnicas más empleadas para la determinación de más de 60 elementos, principalmente en el rango de  $\mu\text{g/ml}$ - $\text{ng/ml}$  en una gran variedad de muestras. Entre algunas de sus múltiples aplicaciones tenemos el análisis de: aguas, muestras geológicas, muestras orgánicas, metales y aleaciones, petróleo y sus subproductos; y de amplia gama de muestras de industrias químicas y farmacéuticas.

La espectroscopia de absorción atómica con llama es el método más empleado para la determinación de metales en una amplia variedad de matrices. Su popularidad se debe a su especificidad, sensibilidad y facilidad de operación. En este método la solución muestra es directamente aspirada a una llama de flujo laminar. La llama tiene como función generar átomos en su estado fundamental, de los elementos presentes en la solución muestra. Temperaturas cercanas a los 1 500 – 3 000 °C son suficientes para producir la atomización de un gran número de elementos, los que absorberán parte de la radiación proveniente de la fuente luminosa (FAO 1997).

### **3.3.2. Análisis de material vegetal**

Para determinar la concentración de elementos pesados: Pb, Cr, Cd, en laboratorio se realizó por el método de absorción atómica para pulpa de frutos.

### **3.3.3. Análisis de agua**

Las muestras tomadas se llevaron a laboratorio para análisis químico, y considerando los elementos pesados Pb, Cd y Cr, por el método de Absorción atómica

## **3.4. FASE DE GABINETE**

La información recolectada de campo y los resultados obtenidos de laboratorio sirvieron para elaborar el informe final, realizando el análisis de datos respectivo tanto en los resultados de análisis de suelos, aguas, tejido vegetal (frutos y hoja), como de las calicatas para caracterizar el suelo y el aspecto socioeconómico, ambiental con el levantamiento de información a base de encuestas.

### **3.4.1. Análisis de la Sustentabilidad**

Se ha utilizado la metodología propuesta por Sarandón (1990), obteniendo indicadores sencillos y comprensibles para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema de piña en relación a la presencia de elementos pesados, de acuerdo a los siguientes pasos:

#### **a. Establecer y definir el marco conceptual de la sustentabilidad**

Desarrollar un marco conceptual lo más claro posible de la evaluación entendido como un sistema de valores o ideas que define lo que es bueno o malo para la sustentabilidad y del que se desprenden calificaciones positivas o negativas en relación a la misma (Imbach *et al.* 1997).

La sustentabilidad débil se asocia más a las directrices del desarrollo sustentable, y éstas a su vez se relacionan con la educación ambiental conservacionista, en el sentido que propone aprovechar los recursos, no sólo económicos sino también los naturales, con la intención de producir los satisfactores que la sociedad demanda. También, resalta la idea de cuidar los ecosistemas mediante la administración eficiente de los recursos.

La sustentabilidad fuerte se asocia con la educación ambiental para la sustentabilidad, ya que incorpora en sus acciones condiciones para que la vida perdure, considerándose aspectos ambientales, sociales y políticos. Asimismo, la sustentabilidad fuerte comprende contenidos referidos al equilibrio real entre las especies vivas y la utilización de los recursos, se considera la satisfacción de las necesidades futuras de los otros con miras al desarrollo económico y se enfatiza en el cuidado el medio ambiente al llevar a cabo cualquier actividad (Sarandon 1997).

La sustentabilidad súper-fuerte se vincula con la educación popular ambiental, considera la educación como una propuesta transformadora que aporta elementos para un cambio de creencias, actitudes, hábitos, conocimientos y comportamientos que impacten de una manera positiva en el ambiente y con ello favorecer una relación más amigable del ser humano con el ambiente (Calixto 2020).

Bajo este concepto, la presencia de elementos pesados en el suelo forma parte de un paquete de medidas que se consideran para la remediación de los suelos de esta manera se asegura un buen rendimiento de piña por lo tanto la sustentabilidad del cultivo se hace más fuerte.

#### b. Definición de los objetivos de la evaluación

Para definir los objetivos fue necesario responder las siguientes preguntas: ¿Qué se va a evaluar para la sustentabilidad del cultivo de piña?, ¿Por qué se va a evaluar la sustentabilidad del cultivo de piña en relación con la presencia de elementos pesados?, ¿Para qué se va a evaluar la sustentabilidad del cultivo de piña? y ¿Quién es el destinatario de la evaluación?

El siguiente paso es definir claramente los objetivos, es decir definir para qué queremos evaluar la sustentabilidad. Se puede tratar del desarrollo de una metodología para ser aplicada por científicos o por productores. No serán los mismos indicadores ni la misma

metodología para su obtención entonces, la que se elija. Thompson & Pretty (1996) por ejemplo desarrollaron una serie de indicadores de sustentabilidad y conservación de suelos especialmente apropiados para la autoevaluación de los agricultores de Kenya de bajos recursos. La elección de los indicadores se hizo de una manera participativa con los mismos agricultores y buscó que fuesen sencillos de obtener e interpretar, para lograr una gran adopción de las prácticas innovativas por parte de los mismos productores. Lo mismo proponen Dalsgaard & Oficial (1997), para pequeños campesinos productores de arroz en Filipinas, donde la participación conjunta de agricultores e investigadores es considerada esencial. Incluso para estos autores, las categorías indígenas de clasificación de los recursos naturales cumplen un rol importante en el diseño de los muestreos y el monitoreo a campo (Sarandon 2010).

La evaluación de sustentabilidad es una herramienta para la planificación y el diseño de un sistema de manejo de recursos naturales con relación a su estabilidad productiva, mejora económica, aceptación social y cuidado del medio ambiente (Albacete *et al.* 2009).

c. Definir el Ámbito o nivel de análisis

Se define el nivel de acción del ensayo que corresponde en este caso al distrito de Poroto y centros poblados, parte de la cuenca media del río Moche a nivel de predio en el ámbito regional, se escogen en este caso los indicadores más adecuados para determinar la sustentabilidad, según lo menciona Olmos (2013).

El análisis de los sistemas agrarios debe evaluar la sustentabilidad, especialmente a nivel de finca (Merma 2012); en este ámbito es donde se expresan más nítidamente las limitantes a la producción agrícola, permitiendo abordar y discutir acerca de las barreras técnicas, ecológicas y sociales más relevantes (Lovell 2003).

d. Caracterización de los sistemas

Deben efectuarse tres tareas concretas: (a) identificar el sistema de manejo que se va a analizar, incluyendo el contexto socioambiental en donde están inmersos y las escalas espacial y temporal de la evaluación; (b) caracterizar el sistema de manejo de referencia (tradicional o convencional) que predomina en la región o zona, y (c) caracterizar el sistema alternativo de ser necesario (Astier *et al.* 2002).

e. Desarrollar indicadores

Según el sentido teórico y la obtención de datos para su elaboración, se puede distinguir entre indicadores objetivos y subjetivos, los cuales se mencionan a continuación:

- Indicadores objetivos (duros). Se fundamentan en evidencias externas independientes del informante (ejemplo: calidad del agua, emisión de partículas contaminantes), suponiendo que los métodos de captación y procesamiento de la información son objetivos.
- Indicadores subjetivos (alternos). Reflejan percepciones y opiniones de la población respecto a su situación (ejemplo: percepción de la participación social) que se busquen alcanzar con la formulación de indicadores para la sustentabilidad, existen diversos marcos o estructura de análisis para la organización de un sistema o modelo (Pérez 2012).

f. Estandarizar y ponderar los indicadores según la situación a analizar

Se debe procurar que todos los indicadores sean directos (a mayor valor, más sustentabilidad), de lo contrario deben ser transformados para cumplir con esta condición: a mayor valor mayor sustentabilidad. Esto evitará errores de interpretación y facilitará el análisis posterior de manera que se pueda evidenciar ese valor o valores diferentes y guarden relación con esa diferencia dándole valores numéricos. Para ello, se propone la construcción de escalas sencillas de 0 a 4, siendo 0 menos sustentable y 4 más sustentables (Sarandón 2010).

La escala de sustentabilidad para evaluación considerando los indicadores fue:

Rango	Valoración
0 – 0.99	Nivel muy bajo de sustentabilidad
1 - 1.99	Nivel bajo de sustentabilidad
2 – 2.99	Nivel medio de sustentabilidad
3 – 4.00	Nivel alto de sustentabilidad

g. Realizar la toma de los datos y el cálculo de indicadores

La información obtenida fue a través de encuestas como fuente de información secundaria, logrando la participación de los productores de piña, de acuerdo a la disponibilidad de recursos.

h. Traducirlos en una representación gráfica adecuada

El objetivo de los indicadores, de simplificar la realidad compleja de la sustentabilidad, exige que los resultados puedan ser expresados de manera sencilla y clara. Una forma de hacer esto es su representación gráfica en un diagrama (Sarandón 2010).

A través de este gráfico se puede interpretar con mayor facilidad las variables en estudio que afectan directamente a la sustentabilidad del agroecosistema

i. Evaluación de los puntos críticos

El análisis del uso de los indicadores permite detectar aquellos puntos críticos del manejo del sistema que atentan o comprometen la sustentabilidad. Esto permite prestar especial atención, en futuras inspecciones, al manejo de tales aspectos con el fin de observar avances o retrocesos (Sarandón 2010).

Las fórmulas consideradas para calcular el valor producto de las escalas utilizadas para los indicadores son:

$$ISC = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} \right] + \left[ \frac{B1 + B2}{2} \right] + C + D}{4} \dots \text{fórmula 1}$$

$$IE = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} \right] + \left[ \frac{B1 + B2 + B3}{2} \right]}{2} \dots \text{fórmula 2}$$

$$IA = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3 +}{3} \right] + \left[ \frac{B1 + B2}{2} \right]}{2} \dots \text{fórmula 3}$$

$$ISG = \frac{[ISC + IE + IA]}{3} \dots \text{fórmula 4}$$

Donde:

ISC: Índice Sociocultural

IE: Índice Económico

IA: Índice Ambiental

ISG: Índice de Sustentabilidad General

**Tabla 1: Posición georreferenciada de los puntos de muestreo en el distrito de Poroto, La Libertad**

Calicata - zona	S	W	Altitud (msnm)
Casa Blanca	08°00'33.40"	78°46'17.72"	614
Mochalito	08°01'36.06"	78°47'14.58"	524
Canseco	08°01'43.92"	78°47'41.46"	502
La Capilla	08°00'10.56"	78°46'30.31"	525
Campo Piura	08°01'15.3"	78°45'59.52"	711
Con Con 1	08°00'20.88"	78°44'43.74"	762
Mishirihuanca	08°00'42.36"	78°43'46.86"	867
Rayampampa	08°00'18.60"	78°40'16.32"	1572
Plazapampa	08°00'13.02"	78°39'13.02"	1776
Cushman	08°00'19.20"	78°41'44.88"	1130
Samne	08°00'35.70"	78°40'56.46"	1415
Platanar	08°00'14.88"	78°41'36.00"	1240
Cambarra	08°00'32.76"	78°43'45.54"	886
Poroto	08°00'39.96"	78°45'41.70"	649
Con Con 2	08°00'16.02"	78°44'51.54"	764
Guayabito	08°00'22.56"	78°44'40.5"	1129

Nota: En los puntos de muestreo en Con Con se consideró dos lugares de muestreo Con Con 1 (área plana) y Con Con 2 (área de ladera)



**Figura 2. Imagen satelital de la Cuenca media baja del río Moche, con la ubicación de los puntos de muestreo**

Fuente: Google Earth

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. PRESENCIA DE PLOMO, CADMIO, CROMO EN EL ÁREA EN ESTUDIO

Durante el estudio se encontraron concentraciones por encima del nivel crítico en todas las localidades, en suelo y agua para Cd y Cr, así como Cd en fruto de piña (Tabla 2) de acuerdo a los parámetros máximos permisibles (Anexos 13, 14 y 15).

**Tabla 2: Niveles críticos encontrados en las localidades en estudio en suelo, agua de riego y frutos de piña**

Localidades en estudio	Suelo (mg/kg)			Agua (mg/L)			Fruto (mg/kg)		
	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr
Plazapampa	66.72	<b>2.12</b>	<b>9.87</b>	0.025	<b>0.042</b>	0.002	<b>2.57</b>	<b>0.03</b>	0.23
Mishirihuanca	<b>159.51</b>	<b>2.88</b>	<b>16.15</b>	<b>0.248</b>	<b>0.052</b>	0.037	<b>1.38</b>	<b>0.03</b>	0.03
Canseco	26.45	<b>2.21</b>	<b>25.59</b>	<b>0.331</b>	<b>0.046</b>	0.002	<b>3.95</b>	<b>0.05</b>	0.03
Poroto	<b>177.90</b>	<b>6.49</b>	<b>10.72</b>	<b>0.062</b>	<b>0.057</b>	0.002	<b>1.98</b>	<b>0.03</b>	0.03
La Capilla	<b>75.62</b>	<b>3.48</b>	<b>19.95</b>	<b>0.310</b>	<b>0.051</b>	0.004	<b>1.99</b>	<b>0.05</b>	0.03
Con Con 1	<b>207.91</b>	<b>3.47</b>	<b>16.22</b>	<b>0.281</b>	<b>0.073</b>	0.002	<b>2.17</b>	<b>0.07</b>	0.02
Mochalito	<b>73.45</b>	<b>1.71</b>	<b>21.19</b>	<b>0.223</b>	<b>0.061</b>	0.002	<b>1.74</b>	<b>0.03</b>	0.03
Con Con 2	<b>164.04</b>	<b>6.48</b>	<b>13.06</b>	0.040	<b>0.052</b>	0.006	<b>2.37</b>	<b>0.05</b>	0.03
Casa Blanca	<b>130.59</b>	<b>1.90</b>	<b>19.72</b>	<b>0.283</b>	<b>0.048</b>	0.014	<b>1.69</b>	<b>0.16</b>	0.03
Platanar	<b>85.39</b>	<b>3.20</b>	<b>10.34</b>	<b>0.328</b>	<b>0.064</b>	0.014	<b>1.13</b>	<b>0.03</b>	0.03
Samne	67.97	<b>2.80</b>	<b>13.14</b>	<b>0.156</b>	<b>0.047</b>	0.024	<b>2.88</b>	<b>0.07</b>	0.05
Cambarra	<b>120.72</b>	<b>4.70</b>	<b>11.51</b>	<b>0.143</b>	<b>0.070</b>	0.002	<b>1.63</b>	<b>0.10</b>	0.05
Rayampampa	22.13	<b>2.34</b>	<b>17.74</b>	<b>0.231</b>	<b>0.088</b>	0.001	<b>1.20</b>	<b>0.07</b>	0.03
Cushmun	55.34	<b>2.89</b>	<b>13.91</b>	<b>0.345</b>	<b>0.093</b>	0.002	<b>1.30</b>	<b>0.03</b>	0.03
Guayabito	61.61	<b>1.71</b>	<b>22.91</b>	<b>0.255</b>	<b>0.039</b>	0.002	<b>0.97</b>	<b>0.13</b>	0.03
Campo Piura	40.22	<b>2.07</b>	<b>21.43</b>	<b>0.222</b>	<b>0.071</b>	0.001	<b>0.23</b>	<b>0.07</b>	0.03

\*Valores en negrita indica que sobrepasan los parámetros máximos permisibles según los estándares Nacionales de calidad Ambiental para agua Categoría 3: Riego de Vegetales y bebidas de animales (Anexo 13), para el suelo agrícola (Anexo 14)

De acuerdo con los resultados observados en la Tabla 2, podemos considerar que los suelos pueden ser contaminados con Cd y Pb debido a las aguas de riego que trasladan concentraciones altas de estos elementos (Anexo 12). Al encontrarse en el suelo, la planta de piña ha tenido la habilidad de extraer estos elementos (rizósfera) produciéndose una absorción elevada producto de esto se observa niveles por encima del crítico.

#### **4.2. ELEMENTOS PESADOS EN EL SUELO**

En los suelos se observan concentraciones de arcilla 15 por ciento (Guayabito) hasta 38 por ciento (Samne), con un pH que fluctúa entre 5.5 y 7.0. Estos resultados (Anexo 11), permiten pensar que los suelos presentan alta concentración de arcillas 2:1, que tienen la capacidad de retención, asimismo la presencia de materia orgánica fluctúa de 0.95 por ciento (Guayabito) a 5.3 por ciento (Mochalito) también favorece la alta retención de elementos.

En la Tabla 2 se puede observar los niveles de Pb en las muestras de suelos evaluados y presentan un rango de 22.13 mg/kg (Rayampampa) a 207.91 mg/kg (Con Con 1), donde los valores en negrita (9) aproximadamente el 56 por ciento de las muestras exceden el límite máximo permitido según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el suelo agrícola con presencia de Pb (70.0 mg/kg) (Anexo 14). Además, las muestras de suelo de Plazapampa, Samne y Guayabito presentan niveles de Pb cercanos al límite máximo permisible; sólo 4 muestras de suelos (Canseco, Campo Piura, Cushmun y Rayampampa) presentan niveles claramente por debajo de este límite, las muestras fueron tomadas en época de avenida año 2015.

Algunos valores recopilados por Kabata – Pendias & Sadurski (2004), mencionados por Kabata – Pendias (2011) en algunos países de Europa se consideran rangos de concentración máxima para Pb de 20 a 300 mg/L, Cd de 1 a 5 mg/L y Cr total de 50 a 200 mg/L.

Se han encontrado concentraciones muy bajas de Pb en el suelo desde los años 1980 hasta 2010, cuyos valores máximos se reportaron en el año 1990 (0.840 mg/kg de Pb) para la misma zona de cuenca media y en el año 2010 en época de avenida se determinó 0.132 mg/kg de Pb (Huaranga *et al.* 2012). En años anteriores, la concentración de Pb en el suelo fue menor, una de las causas del incremento de los valores de Cd y Pb puede ser debido a los fosfatos que se aplican en fertilizantes, y se han reportado como elementos traza en estos insumos (Suarez 1998).

Las muestras de suelo con mayor acumulación de materia orgánica en el horizonte superficial como Poroto (4.8 por ciento M.O.), Con Con 1 (5.3 por ciento M.O.) y Con Con 2 (2.8 por ciento M.O.) presentan un alto contenido de Pb; esto es posiblemente como consecuencia que el Pb se acumula cerca de la superficie del suelo, principalmente debido a su sorción por la materia orgánica. Estudios realizados por Sipos *et al.*, mencionado por Kabata - Pendias (2011), sugieren que la materia orgánica juega un papel decisivo en la adsorción de Pb, además la fijación por los minerales arcillosos también es fuerte para este elemento, y las muestras de suelo de las zonas de menor altitud presentan mayormente más contenido de Pb.

De acuerdo a la Tabla 2, en relación a los niveles de Cd, presentan un rango de 1.71 mg/kg (Mochalito y Guayabito) a 6.49 mg/kg (Poroto y Con Con 2), valores similares que exceden los parámetros de calidad de suelo se han reportado en 1980 en la misma zona (2 150 mg/kg) (Huaranga *et al.* 2012); sin embargo, el mismo autor menciona que durante los siguientes años hasta 2010 las concentraciones fueron menores a 1.0 mg/kg.

En general, los contenidos medios de Cd en los suelos oscilan entre 0.2 y 1.1 mg/kg, en suelos no contaminados, su contenido depende en gran medida de la textura del suelo y varían de 0.01 a 0.3 mg/L en suelos arenosos y de 0.2 a 0.8 mg/L en suelos arcillosos, todos los valores superiores reflejan el impacto antropogénico (Kabata - Pendias 2011), este puede ser el caso de Poroto, Con Con 2 y Cambarra, con texturas menos ligeras y mayores contenidos de Cd.

De otra parte, por vía antrópica las concentraciones de Cd en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente, ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas (Marruecos *et al.* 1993), a pesar que las cantidades de fertilizantes aplicadas al suelo no representan por sí solos un riesgo de contaminación en suelos agrícolas es recomendable el monitoreo constante de elementos pesados en el sistema suelo-agua-planta a través del tiempo debido a la acumulación y prácticas agronómicas de riesgo que puedan alterar su dinámica, se menciona por ejemplo de aportes como 2057 mg/ha Cd por cada 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicados o 2 190 mg/ha de Cd por 100 kg/ha de N equivalentes a 4 761 kg/ha de lombricomposta (Rodríguez *et al.* 2014), así mismo informaron Stenstrom y Vahter, mencionados por Kabata - Pendias (2011) que el uso a largo plazo de fertilizantes de fosfato inorgánico aumenta sustancialmente los niveles naturales de Cd, Fe y Uranio (U)

en los suelos, mientras que otros elementos como As, Cr, Pb y Voltio (V) no aumentan significativamente. En las zonas que presentan bajo contenido de elementos como el Pb o Cd posiblemente se deba a que a pesar de su permanencia en el suelo que es mucho más prolongada estos elementos pesados pueden también perderse a través del tiempo por lixiviación, absorción de plantas, erosión o deflación (Kabata - Pendias 2007), como es el caso de Plazapampa, Rayampampa, Cushmún, se pendiente más pronunciada y suelos ligeros más propensos a la erosión y lixiviación.

El contenido de Cr en las muestras de suelos presenta un rango de 9.87 mg/kg (Plazapampa) a 25.98 mg/kg (Canseco). Todas las muestras de suelos superan el límite máximo permitido según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el suelo agrícola con presencia de Cd (1.4 mg/kg) y  $\text{Cr}^{6+}$  (0.4 mg/kg) (Anexo 14) es necesario precisar que la concentración de cromo evaluada corresponde a Cr total.

Es necesario tener en cuenta que, en el suelo según la reacción, el contenido de materia orgánica, las condiciones de óxido reducción, la temperatura, entre otros, el  $\text{Cr}^{+3}$  se puede oxidar a  $\text{Cr}^{+6}$  o el  $\text{Cr}^{+6}$  reducir a  $\text{Cr}^{+3}$  pero los valores encontrados sobrepasan estos límites (Mamani y Mendoza 2022).

Las concentraciones elevadas de estos elementos como el Cr también pueden estar relacionadas con la composición del material original y con el impacto de la industria química, combustión de carbón y lixiviación de vertederos de residuos. (Kabata - Pendias 2011) que favorecen el incremento en la concentración de este elemento en el suelo.

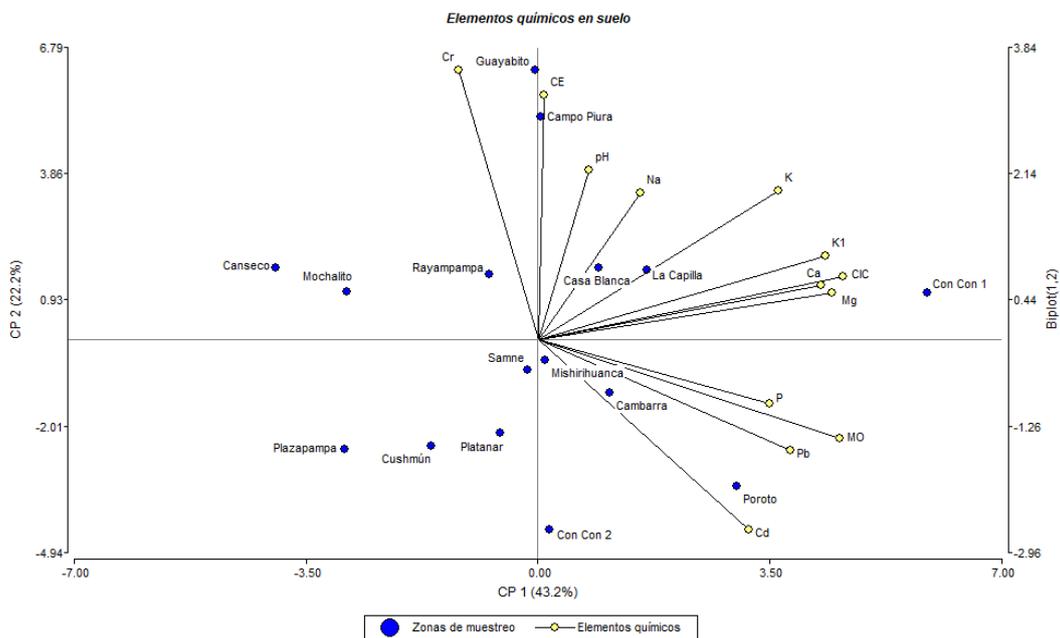
En suelos no contaminados, se considera una concentración promedio de Cr de 100 mg/kg mientras que en suelos que presentan contaminación las concentraciones pueden superar los 7 000 mg/kg (Chandra y Kulshreshtha, mencionado por Chaves 2016).

En la zona de Canseco, el contenido de Cr es de 25.59 mg/kg (mayor concentración) muy inferior al promedio para suelos no contaminados, pero exceden en todas las muestras en contenido de  $\text{Cr}^{+6}$  según las normas para la calidad de suelos del Ministerio del Ambiente del Perú. En suelos no contaminados, se considera una concentración promedio de Cr de 100 mg/kg mientras que en suelos que presentan contaminación las concentraciones pueden superar los 7000 mg/kg (Chandra y Kulshreshtha, mencionado por Chaves 2016).

También las actividades antropogénicas como la industria minera, que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados (Pineda 2004), tal es el caso de las zonas de Yarinacochas y Manantay en Ucayali donde las muestras de suelos entisols dedicados a la actividad comercial e industrial en el año 2022 mostraron valores elevados de Cr, 19.96 mg/kg y 9.58 mg/kg, respectivamente (Reátegui 2022).

Las concentraciones de elementos pesados en el suelo están en función del pH. La materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y su movimiento se realizan en aproximadamente los 40 cm superficiales (Smith 1996), por ejemplo, Poroto con pH, ligeramente ácido 5.93 posee el más alto contenido de Pb (208.65 mg/kg) y alto en materia orgánica (4.08 por ciento).

#### 4.2.1. Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en el suelo con las zonas en estudio



**Figura 3. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de suelos utilizados para cultivo de piña en 16 zonas del distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015**

La Figura 3 representa el análisis de los componentes principales demuestra que, según el componente 1, la materia orgánica de los suelos, P y K disponibles, la CIC y los cationes cambiabiles, excepto Na, correlacionan positivamente con el contenido de Pb en los suelos

de la zona en estudio y según el componente 2, la conductividad eléctrica de estos suelos, el potasio disponible y el sodio cambiante correlaciona positivamente con el contenido de cromo de los mismos y negativamente con su contenido en cadmio. Ambos componentes explican el 65.4 por ciento de la variabilidad de los datos. Es decir, los suelos de mayor fertilidad están asociados a los niveles más altos de plomo en los suelos evaluados y el mayor contenido de sales solubles está asociado a niveles más altos de cromo y más bajos de cadmio. La Figura 3, muestra que los niveles más altos de Pb y Cd están asociados a las localidades de Poroto, Con Con 1 y Con Con 2 que presentan la mayor proporción de suelos aluviales y por tanto de mayor fertilidad; así mismo, los niveles más altos de cromo y más bajos de Cd están asociados a las localidades de Guayabito, Campo Piura, Canseco y Mochalito, que corresponden a la zona más árida y en consecuencia a la mayor acumulación de sales solubles.

#### **4.3. PRESENCIA DE ELEMENTOS PESADOS EN EL AGUA DE RIEGO**

La evaluación del agua de riego fue estudiada en base a la concentración de tres elementos pesados (Cd, Cr y Pb) y otras características químicas.

La clasificación del agua de riego en cada zona muestreada según las normas Riverside (Anexo 21), las muestras analizadas son de salinidad media con bajo contenido de Na (C2S1), excepto en Guayabito se puede observar agua de salinidad muy alta (C4S1) (Anexo 12).

De acuerdo a las muestras simples y puntuales tomadas se puede observar que los niveles de Pb (Anexo 19) exceden al límite permisible de concentración de Pb 0.05 mg/L (Anexo 15) en todos los lugares en estudio excepto en las zonas de Plazapampa (0.025 mg/L) y Con Con 2 (0.04 mg/L).

Los elementos Cd y Pb pueden tener grados de contaminación tóxicos tanto en aguas naturales como de las redes de consumo según lo reportado en Salamanca, España (Blanco 1998). Valores mayores de Cd en agua de riego se ha reportado en el año 1980, en la misma zona de cuenca media (Huaranga 2012).

Se reportaron valores similares elevados en aguas del río Moche (Samne y Shiran) en el año 2013, Pb rango de 0.515 mg/L a 0.35 mg/L y para Cd; 0.009 mg/L (Paredes 2013).

La población está expuesta al Cd por diversas vías: Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado) (Nava - Ruíz & Méndez - Armenta 2011).

Los elementos pesados son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas (Reyes *et al.* 2016).

Durante el curso de un flujo alto, el Pb que ingresa a los sedimentos puede volver a suspenderse y entra como partículas sólidas en la columna de agua. Además, la concentración de plomo en el agua del río depende de las fuentes locales y de la geoquímica de la zona. En una mineralización de Pb, la concentración de Pb puede ser diez veces mayor que la de un área no mineralizada, cerca de fuentes puntuales (Kabata - Pendias 2007).

En tanto que para el elemento Cr, en todos los lugares se encontró concentraciones menores al permisible 0.1 mg/L de acuerdo a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, emitido por el Ministerio del Ambiente, la posibilidad de encontrar estos niveles como lo menciona Kabata - Pendias (2007). Dentro de esta categoría de agua, estos tres elementos están considerados para monitoreo, además de elementos como: N-NH<sub>3</sub>, sulfatos, DBO<sub>5</sub> y metales, Al, As, B, Ba, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn (ANA 2017). La movilidad química del Cr, durante la erosión y el transporte es relativamente baja, lo que indica una baja movilidad geoquímica del metal, el cromo no se presenta como formas móviles en la hidrosfera por mucho tiempo.

Así mismo para el elemento Cd (límite permisible: 0.05 mg/L), las zonas de mayor incremento fueron Rayampampa (0.88 mg/L) a 1 570 msnm, zona montañosa y Cushmun (0.93 mg/L) a 1 130 msnm. Wiśniowska - Kielan y Klima (2005), informaron que los contenidos de algunos elementos pesados por ejemplo Cd (máx. 9.9 µg l<sup>-1</sup>) y Ni (máx. 24 µg l<sup>-1</sup>) en las escorrentías, son significativamente más altos que en el agua de lluvia. El aumento de las concentraciones de elementos pesados en las escorrentías superficiales contribuye a su mayor nivel en ríos y embalses. Varios factores controlan sus niveles; sin embargo, en zonas montañosas la pendiente del terreno parece ser muy importante (Kabata - Pendias 2007).

Los límites máximos permisibles de la presencia de elementos en aguas de uso agrícola según la Unión Europea son Cd: 0.01 mg/L y Pb: 0.05. Los elementos Pb, Cd, Cr, están considerados para monitoreo de calidad de agua para riego además de elementos y metales como: Al, As, B, Ba, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn (ANA 2017) La movilidad química del Cr durante la erosión y el transporte es relativamente baja, lo que indica una baja movilidad geoquímica del metal. El Cr no se presenta como formas móviles en la hidrósfera por mucho tiempo (Kabata - Pendias 2007).

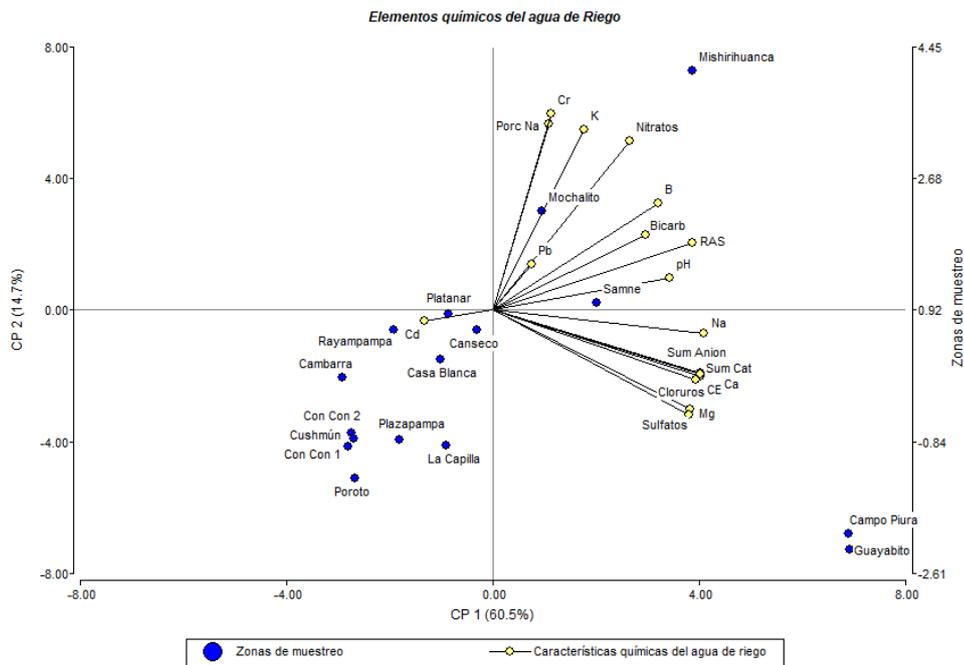
Las presencias en bajas concentraciones de estos elementos pueden tener diferentes causas según Kabata - Pendias (2007). La mayoría de los elementos traza, especialmente los elementos pesados no permanecen en formas solubles en agua por un período más largo. Están presentes principalmente como coloides suspendidos o fijados por sustancias orgánicas y minerales. En laboratorio se determinó por absorción atómica bajo el principio mencionado por FAO (2017). Si un átomo que se encuentra en un estado fundamental absorbe una determinada energía, este experimenta una transición hacia un estado particular de mayor energía. Como este estado es inestable, el átomo regresa a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia, esa longitud de onda es leída. y en condiciones naturales existe otras formas del elemento pesado aparte de presentarse como cationes libres algunas insolubles se sabe que algunos metales (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) se encuentran en formas complejas. Puede ilustrarse con el ejemplo del Pb que puede estar presente en el agua como catión:  $Pb^{2+}$ ,  $PbCl^+$ ,  $Pb_3(OH)_4^{2+}$ ,  $Pb_4(OH)_4^{4+}$ , y como anión:  $PbCl_3$ ,  $Pb(OH)^-$ ,  $Pb(OH)_3^-$  (Kabata - Pendias 2007).

En este caso, el elemento Cr que se presentó en menores concentraciones como se menciona: Metales de caracteres variables: Cr y V pueden presentarse en diversas formas y fases dependiendo de las variaciones en los parámetros del agua (Kabata - Pendias 2007); sin embargo, también se podría incrementar debido a otras causas nos menciona la misma autora.

La contribución de la contaminación antropogénica a la reserva de elementos pesados en las aguas es muy importante como éste mismo autor menciona que Matschullat (1997) calculó. Los flujos de elementos pesados antropogénicos al Mar Báltico, al flujo del río como de la deposición atmosférica ascienden a más de 90 por ciento del aporte total de Cd, Hg y Pb, y alrededor del 80 por ciento de Cu y Zn.

Sin embargo, estos valores en el río Moche como fuente de agua dulce pueden variar. Las concentraciones de oligoelementos o elementos pesados en el agua de mar parecen ser relativamente estables, mientras que en aguas de los ríos su contenido puede ser muy variable entre ríos y estaciones.

#### 4.3.1. Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en el agua de riego con las zonas en estudio



**Figura 4. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de agua utilizados para riego de cultivo de piña en 16 zonas del distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015**

El análisis de los componentes principales de la Figura 4 muestra que, según el componente principal 2, el Cr tiene una correlación positiva con el contenido de K disponible, los nitratos, sulfatos, porcentaje de Na y B en las aguas para riego de las zonas en estudio y negativamente con el contenido de Cd. Este componente explica el 75.2 por ciento, de la variabilidad de los datos, es decir el agua de riego con salinidad alta y con presencia de considerable de nitratos y sulfatos están asociados a niveles altos de Cr y bajos en Cd en las muestras de agua para riego evaluadas; asimismo, muestra que los niveles altos de Cr están asociados a las Comunidades Mochalito y Samne.

#### **4.4. PRESENCIA DE ELEMENTOS PESADOS EN FRUTOS DE PIÑA**

El cultivo de piña en la zona de Poroto representa aproximadamente el 74.20 por ciento de toda la superficie sembrada en La Libertad (GRL 2000).

Se observa que el elemento Cd presenta los niveles más altos de concentración en pulpa de fruta está en la zona de Casa Blanca (0.16 mg/kg), y el rango de valores van desde 0.03 mg/kg hasta 0.16 mg/kg (Tabla 2).

Según la Unión Europea, la concentración máxima permisible de elementos pesados para frutos de plantas arbustivas y de bajo porte como cucurbitáceas y piña es Cd: 0.05 mg/kg y Pb: 0.1 mg/kg (Codex 1995; UE 2016) todos los valores encontrados en las muestras de frutos de piña sobrepasan estos parámetros (Anexo 3).

Los valores sobrepasan los límites permitidos por que tratándose de frutos Los enfoques son más estrictos para establecer límites para elementos pesados y determinar la Concentración Máxima permitida, se basan en criterios fundamentales como: (1) transferencia de elementos traza (principalmente metales) a varios organismos y al hombre; (2) evaluación de los probables efectos nocivos; (3) estimación de dos valores umbral, concentración de efecto adverso más baja observada, Concentración más alta sin efecto adverso observado; y (4) evaluación del balance de metales (entrada - salida) (Kabata – Pendias 2011).

Concentraciones menores se ha encontrado en infrutescencia de piña con presencia de Cd desde el año 1980 hasta el año 2010 con valores máximos de 0.0021 mg/kg y un mínimo de 0.0014 mg/kg, en la misma zona de la cuenca media del río Moche reportado por Huaranga *et al.* (2012).

Para el elemento Pb, se observó que los niveles más altos se encontraron en Canseco (3.95 mg/L) y los niveles menores en Campo Piura (0.23 mg/L), según la Tabla 2. Campo Piura se encuentra hacia el margen derecho del río Moche, uno de los puntos de muestreo más separado del lecho del río. Estos valores exceden los límites permisibles según la Unión Europea (Tabla 2).

Menores valores se han reportado en el año 2010 en cuanto a concentración de Pb en frutos de piña en la parte de cuenca media (Samne) y baja del río Moche esos rangos fueron de 0.0021 mg/kg a 0.0047 mg/kg considerando las épocas de avenida y estiaje (Huaranga *et al.* 2012).

Los valores altos por acumulación la atención se ha centrado en las cenizas de madera (desde el aumento quema de madera) esparcidos en los bosques, como fuente importante de metales, especialmente Cd y Pb (Reimann *et al.* 2008).

La concentración de elementos pesados Cd y Pb en los cultivos respecto a su crecimiento y rendimiento, toman una curva descendente a medida que estos elementos incrementan su concentración (Chen 2000).

Los niveles de Cr en pulpa de frutos presentan niveles elevados de un rango de 0.03 mg/kg a 0.23 mg/kg (Tabla 2).

Los resultados de elementos pesados en tejido vegetal son diferentes a lo reportado por Karimi *et al.* (2019) quienes, en un ensayo hidropónico, observaron mayor acumulación de Cd en tallos de *Cynara scolymus* L. Asimismo, los datos de esta evaluación, son superiores a los reportados por Lizarazo *et al.* (2020) y Machado (2016), indicando una alta traslocación del Cd absorbido hacia las hojas, y alta contaminación del cultivo de alcachofa en los distritos de Nueve de julio y Mito (Acevedo 2021).

Los elementos pesados afectan al desarrollo de las plantas de piña e influyen en el rendimiento de frutos, producto de esto hay menor peso de frutos afectará a la sustentabilidad de este cultivo porque el rendimiento es un indicador económico para determinar la sustentabilidad. Ese desarrollo y rendimiento se ve afectado por el efecto tóxico más significativo del exceso de elementos pesados en las plantas. Según Prasad y Hagemeyer, mencionado por Kabata – Pendias (2011) son: (1) cambios en la permeabilidad de las membranas celulares; (2) reacciones del grupo tiol con cationes: Ag, Hg y Pb; (3) competencia por sitios con metabolitos esenciales; (4) afinidad por reacciones con fosfatos (ADP y ATP) y varios elementos pesados, lantánidos y varios otros metales; (5) reemplazo de sitios para iones esenciales.

Gan *et al.*, mencionados por Kabata - Pendias (2011), investigaron la concentración de Cd, y otros contaminantes en cultivos, suelo y agua de riego, en 36 lugares al sur de China, concluyendo que las hojas y raíces de las plantas tuvieron mayor concentración que los frutos. Los elementos pesados en las plantas se encuentran principalmente en complejos orgánicos. Los agentes quelantes comunes son ácidos orgánicos (carboxílico, amino, mercáptico, mugineico, fítico), estos elementos que ingresan a los tejidos de las plantas están activos en los procesos metabólicos, pero también se pueden almacenar como compuestos inactivos en las células y en las membranas. En cada caso, pueden afectar la composición química de las plantas sin causar fácilmente lesión visible (Kabata - Pendias 2011).

El Factor Biológico de conversión (FBC) indica el potencial de absorción de un elemento pesado desde el suelo a las partes comestibles de las plantas (Li *et al.* 2001). Cuando la relación de acumulación de elementos pesados entre la planta y el suelo es menor a 1 se trata de plantas no acumuladoras el cultivo de piña se considera una planta no acumuladora; sin embargo, las altas concentraciones en frutos se dan por la acumulación a lo largo del desarrollo del mismo (Anexo 22).

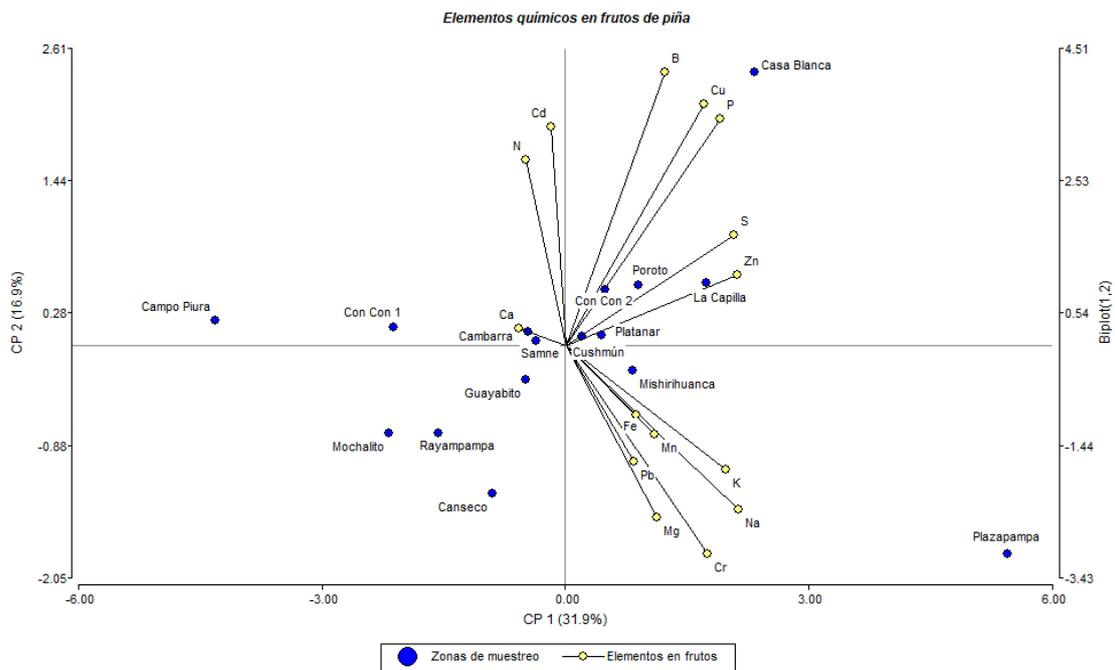
Los factores que afectan la acumulación de contaminantes del suelo en la planta incluyen: especie de planta, tasa de transpiración y translocación, pH, temperatura, textura, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, concentración de elementos traza, fuente y forma del metal (Gupta *et al.* 2019). Cada uno de estos factores influye en la absorción de Cd por la planta mencionado por Kabata – Pendias (2011).

De acuerdo a la Figura 5, representación gráfica del análisis de componentes principales demuestra que según el componente 1 el Cr tiene una correlación positiva con el contenido de Mg, Na, Zn, S, P, y K en la pulpa de frutos de piña de las localidades muestreadas, este componente explica el 32 por ciento de la variabilidad de los datos (Anexo 32).

Según el componente 2, el Cd se relaciona positivamente con el contenido de N, P, Cu y B y negativamente con su contenido de Pb en la pulpa de frutos y explica hasta el 49 por ciento de la variabilidad de los datos, es decir que los frutos con más contenido de K y Mg, elementos que más caracterizan a estos frutos están asociados a niveles altos de Cr, los frutos con alto contenido de N, P, B. está asociado a niveles altos de Cd y más bajos de Cr y Pb, los niveles altos en Cr y Pb están asociados a las localidades de Plazapampa y Mishirihuanca

La presencia considerable del Cd en la pulpa de frutos posiblemente por ser un elemento más disponible a pesar que las plantas de acumulación extraen, principalmente de la capa superficial del suelo, alrededor de 10 por ciento de Cd (Kabata - Pendias 1994).

#### 4.4.1 Relación de los elementos Pb, Cd y Cr, y otras variables químicas en frutos de piña con las zonas en estudio



**Figura 5. Representación Biplot (análisis de componentes principales) de elementos químicos analizados en las muestras de pulpa de frutos de piña en 16 zonas del Distrito de Poroto, La Libertad. Año 2015**

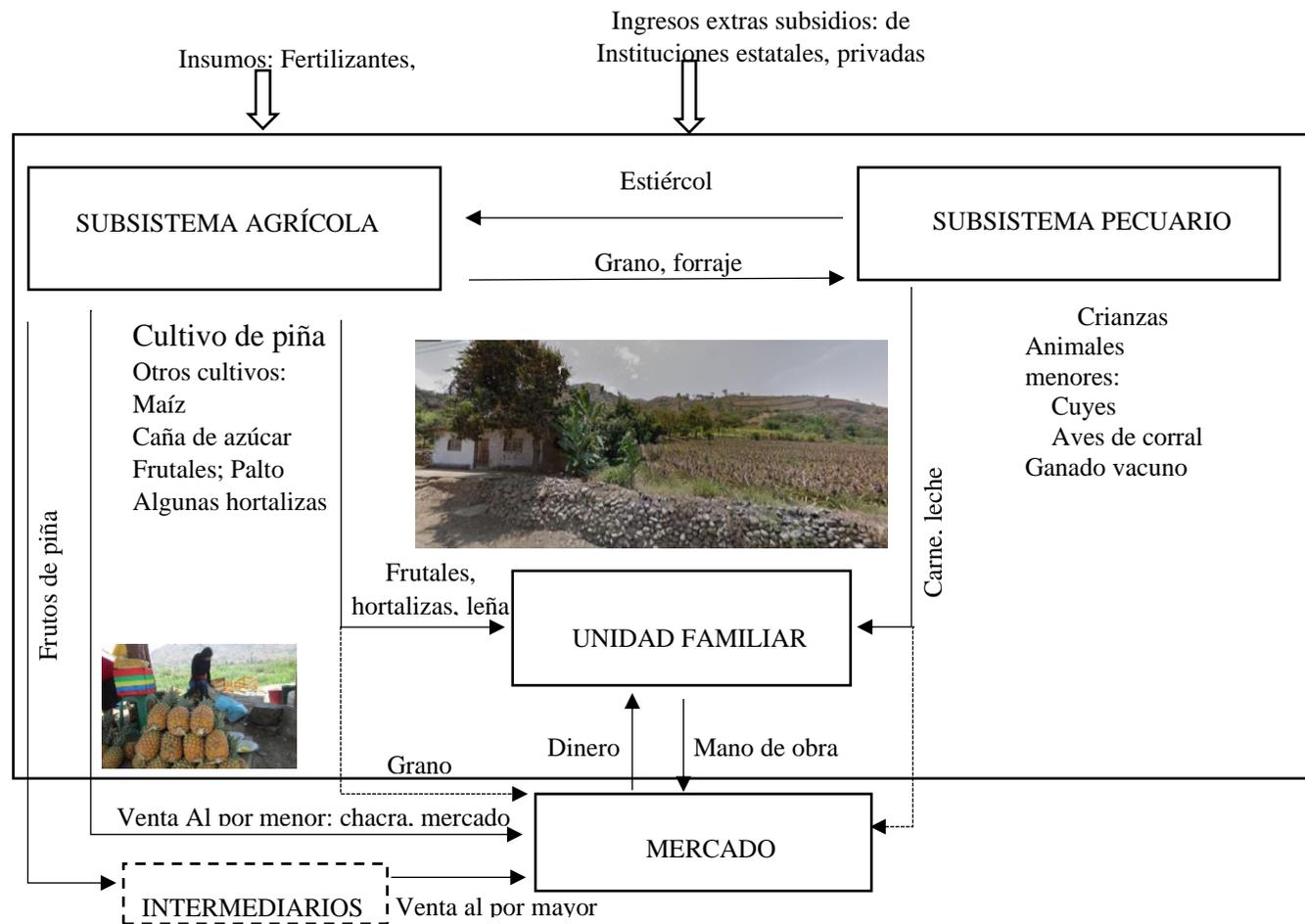
La concentración de metales pesados en los órganos de la planta, afectan a la planta debido, a que elementos como el Cd no es un elemento esencial y cuando se concentra en la planta, interfieren en la absorción y transporte de otros elementos esenciales, alterando el sistema de transferencia de electrones, fotosíntesis, respiración, actividad enzimática, crecimiento y reproducción (Xu *et al.* 2002).

Sin embargo, la contaminación por elementos pesados como Cd, Cr y Pb en frutos tiene también como fuentes en la agricultura a las impurezas de los fertilizantes químicos y pesticidas que pueden llegar a tener contacto a través del agua, aire o suelo (Alloway 1995).

#### **4.5. ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD**

El distrito de Poroto abarca una superficie de 276.01 km<sup>2</sup>. Está ubicado en el valle de Santa Catalina, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Su capital distrital es el centro poblado de Poroto que tiene la categoría de pueblo. En el distrito de Poroto está el 74.20 por ciento de la piña de la provincia de Trujillo, las parcelas en estudio se ubicaron en algunos de los caseríos y anexos, donde los responsables de la parcela > 90 por ciento son hombres que sobrepasan los 40 años de edad con grado de instrucción mínimo primaria completa, sus hijos acceden a servicios de salud, educación y transporte, conformando familias de entre 4 a 5 personas, el 75 por ciento viven en sus predios, dedicando un área promedio para el cultivo de piña de 2.7 ha. Las tenencias de la tierra poseen títulos de propiedad en la mayoría, el 90 por ciento participan en asociaciones de productores, todos realizan actividades de crianza de animales menores dentro de su predio, > 70 por ciento siembran como mínimo 2 cultivos dentro de sus predios, el 30 por ciento de los productores realizan otras actividades remuneradas y no remuneradas, para mantener su cultivo invierten > S/ 600, y trabajan en él en promedio 4 personas del grupo familiar, con un rendimiento promedio > 25 t/ha, > 90 por ciento con riego por gravedad, recibiendo capacitación al menos de una institución privada o estatal.

Para lo mencionado, fue necesario obtener una fuente de información secundaria a través de la aplicación de encuestas (Anexo 21) que recogieran dicha información fundamental para evaluar la sustentabilidad ayudado de información primaria local de experiencia de los agricultores cultivadores de piña en el distrito de Poroto y obtener como producto final de la elaboración de Indicadores relevantes que nos permitan determinar la sustentabilidad de éste cultivo de acuerdo a la metodología propuesta por Sarandon (1990).



**Figura 6. Agroecosistema del cultivo de piña**

Los indicadores sencillos y comprensibles para evaluar la sustentabilidad del agroecosistema de piña en relación a la presencia de elementos pesados se han considerado los siguientes:

**Tabla 3: Indicadores y subindicadores socioculturales de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto**

	Indicador	Subindicador	Valor	Detalle del concepto
Dimensión Sociocultural	Satisfacción en necesidades básicas (A)	Nivel de Educación (A1)	4	Universitaria
			3	Técnica
			2	Secundaria
			1	Primaria
			0	ninguna
		Vivienda (A2)	4	Material noble muy buena
			3	Material noble buena
			2	Otro material bueno
			1	Otro material malo
			0	Ninguna
		Acceso a la Educación (hijos) (A3)	4	Centros técnicos superiores
			3	Colegios
			2	Escuela primaria
			1	Escuela inicial
			0	ninguna
		Acceso a la Salud (A4)	4	Hospital
			3	Posta médica buenas en condiciones
			2	Posta médica, instalaciones, personal no adecuado
			1	Centro de atención primaria, preventorio
			0	Sin centro médico
		Servicios (A5)	4	Agua potable, luz, teléfono
			3	Agua, luz, teléfono
			2	Agua tratada, luz
			1	Con fuente de agua tratada
			0	Sin luz ni agua
		Transporte (A6)	4	Transporte propio, movilidad de transporte comunitario
			3	Movilidad de transporte comunitario
			2	Otra movilidad menor
			1	Movilidad menor de parientes
			0	Sin movilidad de transporte

<<Continuación...>>

	Integración Social (B)	Actividades conjuntas entre municipios, grupos locales (B1)	4	Directiva de Asociaciones de diferente tipo
			3	Participa activamente en al menos una
			2	Participa con regularidad
			1	Participa eventualmente
			0	No participa
		Lugar de la vivienda (B2)	4	En la parcela, con buena comunicación
			3	En la parcela, alejado
			2	En la comunidad, cerca
			1	Lejos de la comunidad
			0	Vive en la comunidad, viaja afuera
	Asistencia Técnica, Capacitación (C)	Asistencias Técnicas, capacitaciones (C)	4	Recibe Asistencia técnica del gobierno
			3	Recibe Asistencia técnica del Municipio y ONGs, asociaciones
			2	Recibe asistencia agrícola no calificada
			1	Recibe asistencia agrícola no calificada
			0	No recibe asistencia técnica
	Aceptación del sistema de Productivo (D)	Aceptación del sistema productivo, condiciones de uso de los recursos (D)	4	Muy alta sin excepción
			3	Aceptación
			2	Mediana aceptación
			1	Baja aceptación
			0	Sin aceptación

De acuerdo a estos Indicadores Socioculturales obtenidos se presentan los siguientes promedios:

**Tabla 4: Valores promedios de indicadores socioculturales de los productores de piña en el distrito de Poroto**

Indicador Nivel	Subindicador	Valor
Satisfacción en necesidades básicas (A)	Nivel de Educación (A1)	1.3
	Vivienda (A2)	2.3
	Acceso a la Educación (hijos) (A3)	3.0
	Acceso a la Salud (A4)	2.0
	Servicios (A5)	2.2
	Transporte (A6)	2.5
Integración Social (B)	Actividades conjuntas entre municipios, grupos locales (B1)	2.0
	Lugar de la vivienda (B2)	2.5
Asistencia Técnica, Capacitación (C)	Asistencias Técnicas, capacitaciones (C)	2.6
Aceptación del sistema de Productivo (D)	Aceptación del sistema productivo, condiciones de uso de los recursos (D)	1.8

$$ISC = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} \right] + \left[ \frac{B1 + B2}{2} \right] + C + D}{4}$$

$$ISC = \frac{\left[ \frac{1.3 + 2.3 + 3.0 + 2.0 + 2.2 + 2.5}{6} \right] + \left[ \frac{2.0 + 2.5}{2} \right] + 2.6 + 1.8}{4}$$

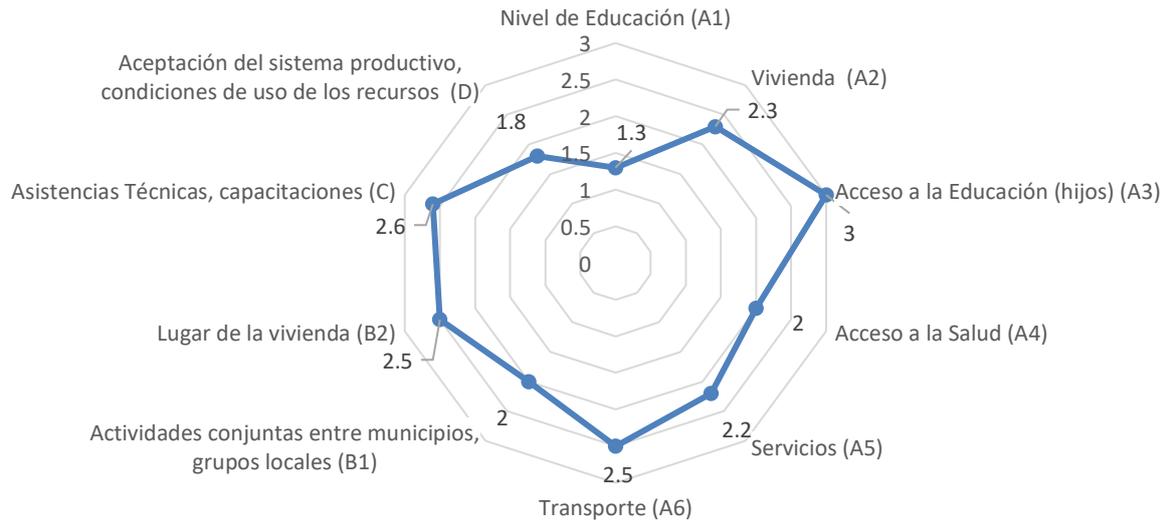
$$ISC = 2.22$$

Donde:

ISC: Indicador sociocultural

Los estados ideales de sustentabilidad estarían representados por los límites exteriores se muestran en la Figura 7:

## Sustentabilidad Sociocultural



**Figura 7. Niveles de sustentabilidad sociocultural. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del distrito de Poroto, La Libertad**

La Tabla 4 muestra que los valores promedio de los indicadores son  $\geq 2.0$ , excepto en nivel de educación de los productores, no resultando así para el acceso a la educación de los hijos, una baja aceptación de un sistema productivo agroecológico, se tiene además acceso a servicios de salud y transporte, asistencia técnica considerables que tiende al sistema a un nivel medio de sustentabilidad, éstos indicadores últimos tienen especial importancia debido a la cercanía de la población, el indicador de mayor proyección es el acceso a la educación de los hijos donde puede impartirse estos conocimientos ambientales relacionados a la agricultura. La educación ambiental en todos sus niveles: formal (a nivel escolar, educación técnica y superior) no formal (no escolarizada) a través de los medios de comunicación) debe permitir el cambio de actitudes y valores de la población hacia su entorno o medio ambiente. Participar en la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad (Pérez 2010).

**Tabla 5: Indicadores y subindicadores económicos de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto**

	Indicador	Subindicador	Valor	Detalle del concepto
Dimensión Económica	Riesgo Económico (A)	Diversidad de productos (A1)	4	>5 productos
			3	4 productos
			2	3 productos
			1	2 productos
			0	1 productos
		Carreteras y vías de Acceso (A2)	4	Carretera asfaltada completa
			3	Carretera asfaltada, carretera afirmada
			2	Carretera afirmada
			1	Al menos 1 camino
			0	Trocha
		Área destinada al cultivo principal (A3)	4	100 por ciento
			3	75 por ciento
			2	50 por ciento
			1	25 por ciento
			0	< 25 por ciento
		Producción en toneladas/Ha (A4)	4	>40
			3	30 – 40
			2	20 – 30
			1	10 – 20
			0	< 10
		Fuentes de crédito (A5)	4	Más de 2 fuentes de financiamiento
			3	2 fuentes de financiamiento
			2	Al menos 1 fuente de financiamiento por entidad financiera
			1	Crédito de otros medios
			0	Sin crédito
		Dependencia de Insumos Externos (A6)	4	< 10 %
			3	10 – 20 %
			2	20 – 40 %
			1	40 – 60 %
			0	60 – 100 %
		Calidad del producto (B1)	4	Extra
			3	>1,5 kg/fruto, con buena conformación
2	1,2 – 1,5 kg/fruto			
1	<1,2 kg/fruto			
0	Mayormente frutos deformes			

<<Continuación...>>

	Rentabilidad (B)	Incidencia de plagas y enfermedades (B2)	4	Ataque esporádico (<5 por ciento)
			3	Ligeramente severo (5 – 10 por ciento)
			2	Alto (10 – 15 por ciento)
			1	Muy alto (15 – 20 por ciento)
			0	Extremadamente alto (<20 por ciento)
	Ingreso neto mensual (S/) (B3)	4	< 2 000	
		3	1 000 – 2 000	
		2	500 – 1 000	
		1	100 – 500	
		0	<100	

De acuerdo a estos indicadores económicos obtenidos tenemos los siguientes promedios:

**Tabla 6: Valores promedio de indicadores económicos de sustentabilidad del cultivo de piña**

Indicador Nivel	Subindicador	Valor
Riesgo Económico (A)	Diversidad de productos (A1)	2.5
	Carreteras y vías de acceso (A2)	2.5
	Área destinada al cultivo principal (A3)	2.1
	Producción en toneladas/ha (A4)	2.0
	Fuentes de crédito (A5)	2.0
	Dependencia de insumos externos (A6)	1.3
Rentabilidad (B)	Calidad del producto (B1)	2.1
	Incidencia de plagas y enfermedades (B2)	1.8
	Ingreso neto mensual (S/) (B3)	2.0

Fórmula empleada para el indicador de Sustentabilidad Económica:

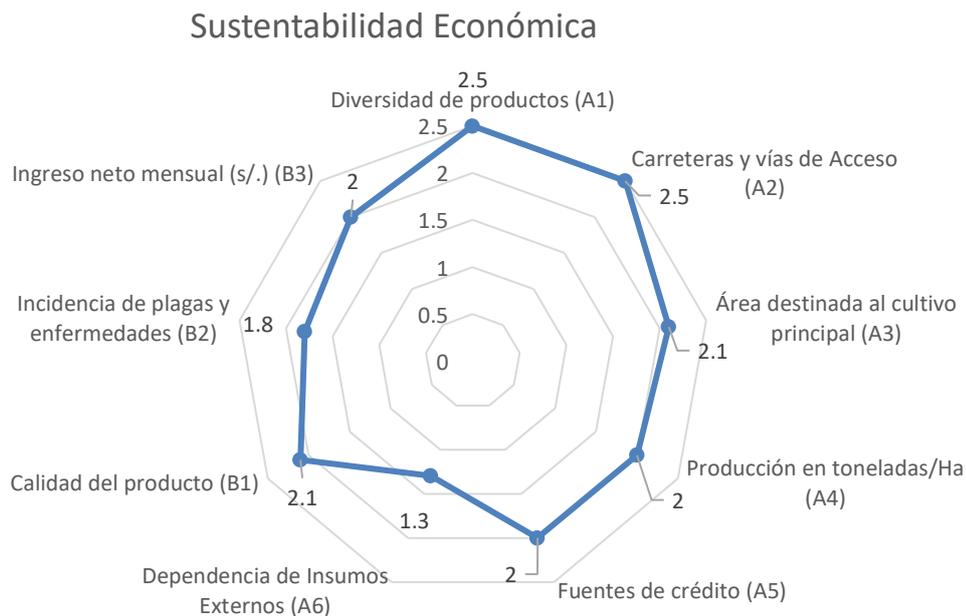
$$IE = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6}{6} \right] + \left[ \frac{B1 + B2 + B3}{3} \right]}{2}$$

$$IE = \frac{\left[ \frac{2.5 + 2.5 + 2.1 + 2.0 + 2.0 + 1.3}{6} \right] + \left[ \frac{2.1 + 1.8 + 2.0}{3} \right]}{2}$$

$$IE = 2.02$$

Donde:

IE: Indicador económico



**Figura 8. Niveles de sustentabilidad económica. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del distrito de Poroto, La Libertad**

Los resultados se muestran en la Tabla 6, donde los índices más bajos se presentan en una dependencia de insumos por parte del productor de piña, una con una considerable incidencia de plagas; sin embargo, los indicadores más altos se presentan en la diversidad de productos, carreteras y vías de acceso, área destinada al cultivo principal que tienden a hacer más sustentable económicamente el cultivo.

**Tabla 7: Indicadores y subindicadores ambientales de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto**

	Indicador	Subindicador	Valor	Detalle del concepto	
Dimensión Ambiental		Manejo de cobertura vegetal (A1)	4	100 por ciento	
			3	75 - <100 por ciento	
			2	50 - < 75 por ciento	
			1	25 - < 50 por ciento	
			0	< 25 por ciento	
	Conservación de las			4	Rota todos los años con barbecho
				3	Rota todos los años s/barbecho
2				Rota cada 2 años	

<<Continuación...>>

	Características del suelo (A)	Rotación de Cultivos (A2)	1	Rota después de 2 años
			0	No realiza rotaciones
		Aplicación de Materia orgánica (A3)	4	Aplica cada campaña materia orgánica descompuesta
			3	Aplica cada campaña (m.o sin descomponer)
			2	Aplica eventualmente
			1	Aplica cada 2 – 5 años
			0	No aplica
	Manejo de la Biodiversidad (B)	Diversidad de especies vegetales (B1)	4	Alta asociatividad
			3	Diversificación media 4 – 5 especies
			2	Diversificación media sin asociación
			1	Poca diversificación de cultivos
			0	Monocultivo
		Aplicación de Agroquímicos (B2)	4	< 3
			3	4 - 5
		2	6 – 8	
		1	9 – 10	
		0	>10	

De acuerdo a estos indicadores ambientales obtenidos tenemos los siguientes promedios:

**Tabla 8: Valores promedio de indicadores de sustentabilidad ambiental para el cultivo de piña**

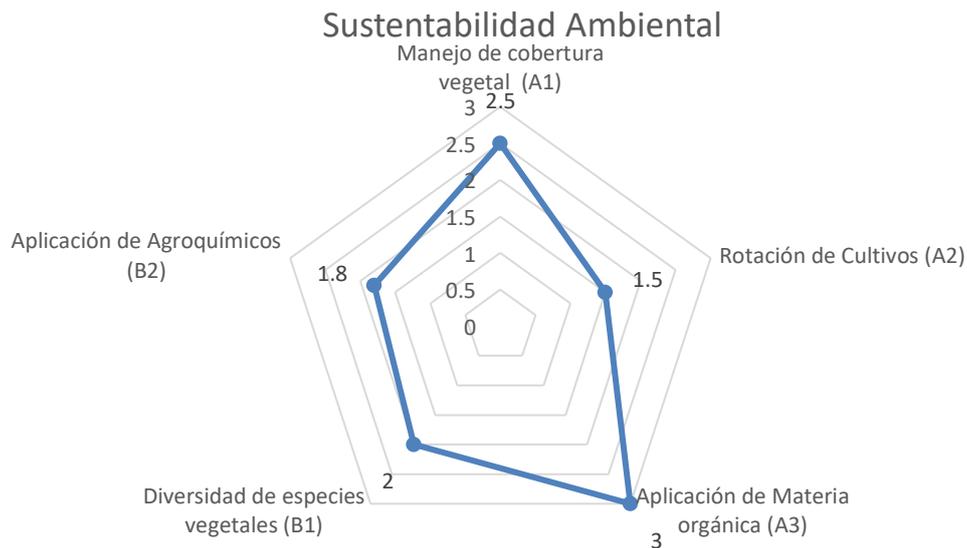
Indicador Nivel	Subindicador	Valor
Conservación de las características del suelo (A)	Manejo de cobertura vegetal (A1)	2.5
	Rotación de cultivos (A2)	1.5
	Aplicación de materia orgánica (A3)	3.0
Manejo de la biodiversidad (B)	Diversidad de especies vegetales (B1)	2.0
	Aplicación de agroquímicos (B2)	1.8

Fórmula empleada para el indicador de Sustentabilidad Ambiental:

$$IA = \frac{\left[ \frac{A1 + A2 + A3}{3} \right] + \left[ \frac{B1 + B2}{2} \right]}{2}$$

$$IA = \frac{\left[ \frac{2.5 + 1.5 + 3.0}{3} \right] + \left[ \frac{2.0 + 1.8}{2} \right]}{2}$$

$$IA = 2.12$$



**Figura 9. Niveles de Sustentabilidad Ambiental. Representada gráficamente en un diseño en “tela de araña” en parcelas de productores de piña del Distrito de Poroto, La Libertad**

Por lo tanto, para el Índice de Sustentabilidad General tenemos:

**Tabla 9: Valores de los indicadores de sustentabilidad del cultivo de piña en el distrito de Poroto**

Indicador	Valor
Sociocultural	2.22
Económico	2.02
Ambiental	2.12
Promedio	1.12

$$ISG = \frac{[ISC + IE + IA]}{3}$$

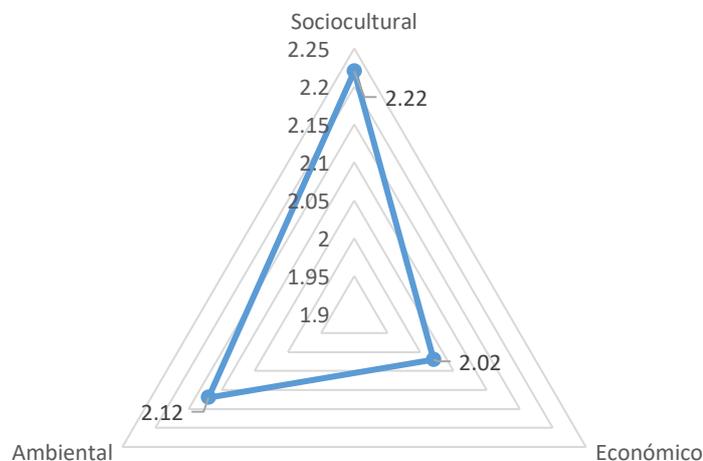
$$ISG = \frac{[2.22 + 2.02 + 2.12]}{3}$$

$$ISG = 2.12$$

Donde:

ISG: Índice de Sustentabilidad General

### Sustentabilidad



**Figura 10. Sustentabilidad para el sistema de producción de piña en el distrito de Poroto**

La Figura 10 muestra los resultados para cada índice de sustentabilidad para el cultivo de piña se observa que para cada uno de los niveles es medianamente sustentable de acuerdo a la escala planeada por Sarandón. El índice de sustentabilidad general se observa que el promedio de los tres niveles es 2.12 (de la fórmula 3).

La sustentabilidad del sistema productivo de piña se considera medianamente sustentable, debido a variables críticas como utilización excesiva de agroquímicos para una buena producción por la incidencia de plagas, dependientes de insumos externos, bajo nivel de educación, una baja rotación de cultivos teniendo como limitante el suelo. Los aspectos que son críticos facilitan u obstaculizan la productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, equidad, adaptabilidad y autogestión del sistema (Masera *et al.* 2010).

## V. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de Pb en suelo exceden los límites permisibles en todas las localidades excepto en 8 localidades. En cuanto a Cd y Cr, todos los valores exceden los límites permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental, los niveles más altos de Pb y Cd están asociados a las localidades de Poroto, Con Con 1 y Con Con 2, suelos más fértiles; y los niveles más altos de Cr y más bajos de Cd están asociados a las localidades de Guayabito, Campo Piura, Canseco y Mochalito, zonas más áridas.
- En el agua de riego, las concentraciones de Pb y Cd exceden los parámetros máximos de calidad ambiental, y la concentración de Cr está por debajo de esos parámetros máximos. Los niveles altos de Cr en el agua de riego están asociados a las localidades de Mochalito y Samne.
- La concentración de Pb y Cd en pulpa de frutos excede los parámetros máximos de calidad ambiental. Los niveles altos en Cr y Pb están asociados a las localidades de Plazapampa y Mishirihuanca.
- Existe una contaminación de los suelos debido al aporte elevado de Cd, por el agua de riego.
- Según los indicadores analizados el cultivo de piña es sustentable, en las dimensiones, económico, sociocultural y ambiental.
- La sustentabilidad del cultivo de piña se logra aún en las condiciones presentes debido al precio que sigue siendo más ventajoso respecto a otros cultivos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Es recomendable realizar ensayos de rendimiento de piña considerando los niveles de elementos: Pb, Cd, Cr.
- Es recomendable realizar ensayos y diagnósticos para determinar las fuentes principales del origen de la presencia y acumulación de elementos pesados en los recursos naturales en la zona.
- Es recomendable realizar un diseño, planificación y monitoreo de las aguas de la cuenca media del río Moche que incluyan muestras compuestas e integradas considerando los sedimentos orientada a la presencia de elementos pesados y su influencia en el uso agrícola.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, A. 2021. Acumulación y distribución de cadmio en plantas de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) cultivada en dos suelos agrícolas contaminados. Tumbes, Perú. Universidad Nacional de Tumbes. Manglar, 18(4):443-448.

Aguilar, DS. 2016. Efecto de dosis crecientes de NPK en la acumulación de materia seca y otras variables morfológicas en *Ananas comosus* (L.) Merr. Variedad roja trujillana en un suelo ácido de Poroto, La Libertad. Tesis Ing. Agrónomo. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. 121 p.

AIJN. 1996. Code of Practice for Evaluation of Fruit and Vegetable Juices. Association of the Industry of Juices and Nectars from Fruits and vegetables of the European Union. Brussels, Belgium.

Autoridad Nacional del Agua - ANA. 2018. Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, Normas e informes (en línea). Consultado el 18 de julio del 2018. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>

Arnés, E. 2011. Desarrollo de la metodología de evaluación de sostenibilidad de los campesinos de montaña en San José de Cusmapa (Nicaragua). M.T. Tesis de Maestría. Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible.” Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 67 p.

Blanco, A; Gutiérrez, D; Jiménez de Blas, O; Santiago, M; Manzano, B. 1998. Estudio de los niveles de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico en aguas de la Provincia de Salamanca. Madrid, España (en línea). Revista Española de Salud Pública, 72(1):53-65.

- Calderón, E; Concha, R. 2005. Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura. Tesis de Ingeniero Químico. Perú. Universidad Nacional de Piura. 78 p.
- Chaves, CM. 2016. Caracterización y modelación del transporte de cromo total en la cuenca alta del río Bogotá tramo – Stock 440- Puente Hacienda. Tesis Ingeniero Ambiental. Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes. 60 p.
- Chen, Z. 2000. Relationship heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. On line in: <http://www.fftc.agnet.org/library/article/tb149.html> food and fertilizer technology center.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. 2001. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO N° 8. Disponible en: [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. 2015. La agenda de desarrollo ost-2015 y los objetivos de desarrollo del milenio. Disponible en: <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. 1994. Espectroscopía de Absorción Atómica. Memorias (en línea). Razmilic, B. I Curso Regional de Capacitación (Santiago de Chile, 20/9-8/10/1993), organizado por el Proyecto AQUILA II y ejecutado por Fundación Chile. México, D.F. Consultado el 15 de julio del 2018. Disponible en <https://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm>
- Gamarra, C. 2016. Distrito de Poroto (en línea). En: Distrito de Poroto Laredo y Larco. La Libertad. Perú, p.1-3. Consultado el 20 de agosto del 2018. Disponible en <https://es.scribd.com/document/324157987/Distrito-de-Poroto-Laredo-y-Larco>
- García, J. 2003. Aplicación de los análisis, regados con aguas residuales urbanas no depuradas. Universidad Politécnica de Valencia. Lleida.
- Gavidia, R; Iparraguirre, J; Luján, J; LLaque, G; Alva, L; Moreno, L. 2018. Water quality of the Moche River Basin using the ICA-PE, La Libertad. La Libertad, Perú. (en

línea). Consultado el 22 de junio del 2019. Disponible en:  
<https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/meta/FP130.html>

Gobierno Regional de la Libertad, Dirección Regional Agraria - GRL. 2000. Publicación 2000 (en Línea). La Libertad, Perú. 19 p. Consultado el 20 de julio del 2018. Disponible en  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1916183/EL%20CULTIVO%20DE%20LA%20PI%20EN%20LA%20LIBERTAD%202000.pdf.pdf>

Hernández Hernández, A. 2011. Determinación de metales pesados en suelos de Natividad, Ixtlán de Oaxaca (en línea). Tesis Lic. Ciencias Ambientales, Oaxaca, México, UNSIJ. Consultado 20 jul. 2018. Disponible en:  
<https://es.scribd.com/document/382229780/CONTAMINACION-DE-METALES-PESADOS-EN-SUELOS-DE-NATIVIDAD-IXTLAN-DE-JUARES-OAXACA-pdf>

Huaranga, F; Méndez, E; Quilcat, V; Huaranga, F. 2012. Contaminación por metales pesados en la Cuenca del río Moche: 1980 –2010, La Libertad, Perú (en Línea). Revista Scientia Agropecuaria, 3:235-247. Consultado el 18 de julio del 2018. Disponible en  
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/86>

Kabata - Pendias, A; Arun, B; Mukherjee, R. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Finlandia. 561 p.

Li, F; Shan, X; Zhang, S. 2001. Evaluation of single extractants for assessing plant availability of rare earth elements in soils. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 32:2577–2587.

Mamani, M; Mendoza, J. 2022. Reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) en suelos contaminados mediante la aplicación de materiales reductores: Revisión sistemática (en línea) Tesis Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo. Lima, Perú. Consultado el 22 de diciembre del 2022. Disponible en:  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88135/Mamani\\_LM-Mendoza\\_JJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/88135/Mamani_LM-Mendoza_JJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- MINAM. (Ministerio del Ambiente, Perú). 2020. MINAM: estándares de calidad ambiental (ECA) para agua (en línea, sito web). Consultado 15 Oct. 2019 <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Miranda, D; Carranza, C; Rojas, C; Jerez, C; Fischer, G; Zurita, J; 2008. Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas. Revista colombiana de ciencias hortícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia 2(2):180-191. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias\\_hortícolas/search/search?query=metales%20pesados](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/search/search?query=metales%20pesados)
- Miranda, L; Carranza, C; Fisher, G. 2008. Calidad del agua de riego en la sabana de Bogotá. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 85 p.
- Navarro - Aviñón, J.P; Aguilar, A; López – Moya, J. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Ambiente: “Ecosistemas” Departamento de Biología Vegetal. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. 16 (2) Mayo – Agosto. pp. 1-17. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016203>
- Paredes, E. 2013. Concentración de Plomo y Cadmio en la cuenca media del río Moche, La Libertad. Tesis Biólogo. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. 37 p.
- Pineda, O. 2011. Encuentro latinoamericano sobre remediación de sitios contaminados. Environmental Resources Management de México S.A. de C.V. Disponible en: [http://www.relascmex.org/pdfs/curso-remediacion-agosto-2011/4-1\\_muestreo\\_suelos\\_Omar\\_Pineda.pdf](http://www.relascmex.org/pdfs/curso-remediacion-agosto-2011/4-1_muestreo_suelos_Omar_Pineda.pdf)
- Pineda, H.R. 2004. Presencia de hongos Micorrízicos arbusculares y contribución de *Glomus* Intraradices en la absorción y translocación de zinc y cobre en girasol (*Helianthus Annuus* L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Universidad de Colima. Tecoman, Colima.

- Ramírez, GR; Vargas, HA. 2017. Cuantificación de metales pesados Pb, Cr y Cd en agua superficial, sedimento y *Ananas comosus* (Piña) en el curso de agua de la zona de influencia del relave en Samne – Otuzco. Tesis Ingeniero Agrónomo. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. Consultado el 15 de julio del 2018. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8961>
- Reátegui, J. 2022. Determinación de metales pesados en Entisols en zonas de actividad industrial y comercial en la Región Ucayali, Perú (en línea). Tesis Ingeniero Ambiental. Ucayali, Perú. Universidad Nacional de Ucayali. Consultado el 20 de julio del 2023. Disponible en: [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5844/B10\\_2022\\_UNU\\_AMBIENTAL\\_2022\\_T\\_JESSICA\\_SALOME\\_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5844/B10_2022_UNU_AMBIENTAL_2022_T_JESSICA_SALOME_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reimann, C; Ottesen, R; Andersson, M. 2008. Element levels in birch and spruce wood ashes—green energy? *Sci. Total, Environ.*, 393:191–197.
- Rodríguez, J; Jáuregui, J; Montoya, A; Rodríguez, H; Espinoza, F; Hernández, J; Díaz, P. 2014. Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional (en línea). *SciELO Revista mexicana de Ciencias agrícolas*, 4 (5):25-30.
- Sarandón, S J. 1997. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. ECA.
- Sarmiento, SCh. 2015. Diagnóstico del manejo de la fertilización de piña roja trujillana en el valle Santa Catalina, La Libertad (en línea). Tesis Ingeniero Agrónomo. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. Consultado el 25 de julio del 2018. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/items/eea3bd4a-701d-4ec6-8e50-da188abc9acf>
- SEDALIB. (Servicio de Agua potable y Alcantarillado de la Libertad, Perú). 2019. SEDALIB: Diagnóstico Hídrico Rápido de la Cuenca del río Moche como fuente de Agua y servicios Ecosistémicos Hídricos para la EPS SEDALIB S.A. (en línea, sitio web). Consultado 18 may. 2019. Disponible en: <http://sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5683862528.pdf>

- Suarez, L. 1998. Estudio comparado de elementos traza de fosfatos de diversas procedencias con los de Bayóvar (Perú). Desfluoración de estos últimos (en línea). Revista de Fundación Dialnet. Consultado el 20 de agosto del 2022. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=207604>
- Thiel, I. 2014. Enciclopedia de términos (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado el 25 de agosto del 2018. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm>
- Wiśniowska – Kielan, B; Klima, K. 2005. Trace elements in liquid phase of surface run-off as a potential source of the watercourse pollution in a mountain region. Intern Sci Conf Innovation and Utility in the Visegrad fours, Nyiregyhaza, 1:219–226
- Xu, X; Zhu, W; Wang, Z; Witkamp, G. 2002. Distribution of rare earth and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer. Sci Tot Environ., 293:97–105.
- Zúñiga, F. 1999. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. (en línea). Yucatán, México. 101 p.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1: pH (1:1) del suelo de 16 zonas del área de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									5,7							
10	5,5				6,6	6,8				5,7	6,2					
		6,4						6,12					6,6	5,5		6,2
20				5,9								6,5				
			6,6			6,5			5,5	5,8	5,8					
30		6,2		6,8			7,0								6,77	
	5,3							6,54		5,8	6,3					
40		6,1											6,6	6,0		
				6,8		6,6			6,0			5,7				
50	5,7	6,2	6,8	5,9	6,7	6,5	7,4	6,44	6,3	5,5	6,2 6,3	6,2	6,9	6,3	7,68	6,7

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 2: C.E. del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	0,9				1,3	1,2			4,7	0,7	1,0					
20		1,4		0,06				0,13				0,5	0,8	0,3		6,6
30		0,3	1,5			0,7			0,5	0,3	0,3				3,82	
40	0,3			0,16			1,1	0,128		0,3	0,2					5,3
50	0,3	0,2	0,2	0,29	0,4	0,2	0,1	0,112	0,2	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,39	0,1

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 3: MO del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									3,2							
10	1,3				3,5	5,3				2,8	2,0					
		2,6		4,8				2,77					1,6	1,7		1,6
20												2,7				
		2,2	1,1			1,8			3,6	2,6	2,3				0,97	
30	1,0			1,9			1,8									
								1,90								
40		1,3								1,6	1,3		1,2			
				1,7		1,3						2,3		1,7		
50	0,8	1,2	0,8	1,6	3,0	1,3	0,6	1,33	1,1							
									1,0	1,0	1,1	2,0	0,9	1,5	0,86	1,2
											1,2					

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 4: P (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									36							
10	18				36	50				40	40					
20		10		42				24				30	23	47		28
30			8			22			25	39	37				24	
40	14	9		20			10	13								
										16	15		11	39		
50	23	13	14	16	25	12			13			28				
				8		11	4	10	9	21	12	43	7	26	21	11
											4					

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 5: K (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	124				195	671			381	205	184					
20		118		414				148				327	252	110		660
30		65	142			184	95		113	175	143				395	
40	87			418				144		111	114		119			128
50	61	48	79	396	129	168	53		65	95,8	108	138	100	103	184	181

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 6: CIC del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0																		
10		11,54				36,78	41,22			21,36								
20			28,28		25,06				16,64		16,67	21,06			23,88	12,97		23,29
30				7,61			31,27			9,56	16,87	18,76					20,42	
40		6,37	16,98		22,62			12,72	17,78									18,44
50			24,20								8,36	17,32		20,15	12,91			
					23,21		20,23			11,12			23,74					
		4,93	22,86	10,23	19,00	45,66	20,23	9,14	11,36	12,46	8,40	18,57	22,55	28,55	19,23	9,88	19,12	19,81

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 7: Suma de cationes del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
									21,36								
10	11,54				36,78	41,22				16,67	21,06						
		28,28						16,64					23,88	12,97		23,29	
20				25,06								23,95					
			7,61			31,27			9,56	16,87	18,76					20,42	
30		16,98		22,62			12,72										
	6,37							17,78									
40										8,36	17,32						
		24,20											20,15	12,91			
				23,21		20,23			11,12			23,74					
50	4,93	22,86	10,23	19,00	45,66	20,23	9,14	11,36	12,46	8,40	18,57	22,59	28,55	19,23	9,88	19,12	19,81

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 8: Pb (ppm) del suelo de 16 zonas de estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									186,50							
10	69,13				89,67	271,75				80,95	68,26					
		212,04						223,86					22,82	53,72		49,03
20				208,65								121,47				
			26,45			148,98			116,51	87,88	67,78					
30	59,1	80,72		112,57			73,45	74,3							61,61	
40										37,72	41,81					27,01
		33,01											21,1	57,76		
				60,9		32,41			27,19			118,35				
50	30,67	24,98	25,47	21,19	66,25	34,98	25,96	22,41	25,61	24,4	16,77	51,98	16,25	52,3	65,66	27,96
											19,0					

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 9: Cd (ppm). del suelo de 16 zonas de Estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									3,02							
10	2,15				3,41	5,51				3,0	2,81					
		3,59		7,63				8,0					2,36	2,92		2,17
20												5,3				
			2,21			1,58			1,62	3,32	2,8					
30	2,04	1,81		4,06			1,71								1,71	
								4,19								
40		1,73								2,14	3,12		2,3	2,84		
												2,82				
50	2,18	1,88	2,11	2,59	3,52	1,7			2,68		3,28					
			3,94			2,48	2,15	5,41	1,98	2,94	2,53	4,91	2,55	2,66	1,55	1,55

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

**Anexo 10: Cr (ppm). del suelo de 16 zonas de Estudio, en capas hasta una profundidad de 50 cm**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									19,14							
10	9,81				19,86	15,87				11,36	12,36					
		15,6		10,84				10,12					17,75	13,29		21,73
20												11,6				
		16,98	25,59			16,54			19,86	9,77	13,66					
30	10,06			10,45			21,19									22,91
								17,46								
40		15,94								11,36	13,56			17,72	14,84	
				9,29		11,19			22,41			11,22				
50	8,8	15,26	25,40	10,35	20,01	13,9	20,51	15,0	21,28	11,7	10,53	11,59	14,16	12,83	26,63	20,84
											12,54					

Leyenda: 1: Plazapampa, 2: Mishirihuanca, 3: Canseco, 4: Poroto, 5: La Capilla, 6: Con Con 1, 7: Mochalito, 8: Con Con 2, 9: Casa Blanca, 10: Platanar, 11: Samne, 12: Cambarra, 13: Rayampampa, 14: Cushmún, 15: Guayabito, 16: Campo Piura

### Anexo 11: Análisis fisicoquímico de las muestras de suelo tomadas en cada localidad en la capa superficial hasta 25 cm de profundidad

Localidad		Plaz	Mish	Cans	Por	L.Ca	CC 1	Moch	CC 2	CBlc	Plat	Sam	Cam	Rayam	Cush	Guay	CPiu
Características																	
pH (1:1)		5,5	6,4	6,6	5,93	6,6	6,8	7,0	6,12	5,7	5,7	6,2	6,5	6,6	5,5	6,77	6,2
CE (1:1) dS/m		0,9	1,4	1,5	0,06	1,3	1,2	1,1	0,13	4,7	0,7	1,0	0,5	0,8	0,3	3,82	6,6
CaCO3 %		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MO %		1,3	2,6	1,1	4,8	3,5	5,3	1,8	2,77	3,2	2,8	2,0	2,7	1,6	1,7	0,97	1,6
P ppm		18	10	8	42	36	50	10	24	36	40	40	30	23	47	24	28
K ppm		124	118	142	414	195	671	95	148	381	205	184	327	252	110	395	660
Análisis Mecánico	Ao (%)	69	51	58	50	36	57	63	43	17	52	42	50	68	50	68	48
	Lo (%)	13	25	11	30	34	19	17	23	46	20	20	28	12	22	17	24
	Ar (%)	18	24	31	20	30	24	20	34	37	28	38	22	20	28	15	28
Clase Textural		FrA	FrArA	FrArA	Fr	FrAr	FrArA	FrArA	FrAr	FrArL	FrArA	FrAr	Fr	FrArA	FrArA	FrAr	FrArA
CIC		11,54	28,28	7,61	25,06	36,78	41,22	12,72	16,64	21,36	16,67	21,06	23,95	23,88	12,97	20,42	23,29
Cationes Cambiables	Ca+	9,56	24,05	6,00	18,64	31,42	33,33	10,31	12,40	15,34	12,37	15,46	18,39	19,16	9,27	13,14	18,51
	Mg+ 2	1,49	3,63	1,38	4,83	4,24	5,13	2,20	3,62	4,84	3,41	4,76	4,15	3,69	2,98	4,74	3,50
	K+	0,23	0,29	0,12	1,15	0,53	2,32	0,10	0,29	0,49	0,50	0,44	1,18	0,70	0,32	1,16	1,02
	Na+	0,25	0,31	0,11	0,43	0,59	0,44	0,11	0,33	0,69	0,39	0,39	0,23	0,33	0,40	1,37	0,26
Σ Cationes		11,54	28,28	7,61	25,06	36,78	41,22	12,72	16,64	21,36	16,67	21,06	23,95	23,88	12,97	20,42	23,29
Σ Bases		11,54	28,28	7,61	25,06	36,78	41,22	12,72	16,64	21,36	16,67	21,06	23,95	23,88	12,97	20,42	23,29
% Sat Bases		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pb (ppm)		66,72	159,5	26,45	177,9	75,62	207,9	73,45	164,0	130,6	85,39	67,97	120,7	22,13	55,34	61,61	40,22
Cd (ppm)		2,12	2,88	2,21	6,49	3,48	3,47	1,71	6,48	1,90	3,20	2,80	4,70	2,34	2,89	1,71	2,07
Cr (ppm)		9,87	16,15	25,59	10,72	19,95	16,22	21,19	13,06	19,72	10,34	13,14	11,51	17,74	13,91	22,91	21,43

Nota: Plaz.: Plazapampa, Mish.: Mishirihuanca, Cans.: Canseco, Por.: Poroto, L.Cap.: La Capilla, CC1: Con Con 1, Moch.: Mochalito, CC2: Con Con 2, C. Blac.: Casa Blanca, Plat.: Platanar, Sam.: Samne, Cam.: Cambarra, Rayam.: Rayampampa, Cush.: Cushmún, Guay.: Guayabito, C. Piu: Campo Piura  
Fuente Elaboración propia en base a resultados del Laboratorio de Análisis de suelos de la UNT

## Anexo 12: Análisis de agua de riego de las diferentes zonas en estudio

Localidad / Características	Plaz.	Mish.	Cans.	Por.	L.Cap.	CC 1	Moch.	CC 2	C.Blc.	Plat.	Sam.	Cam.	Rayam.	Cush.	Guay.	C.Piu.
PH	6.89	7.69	7.32	7.24	6.73	6.5	7.05	6.26	6.99	7.47	7.84	6.05	6.8	6.57	7.92	7.9
C.E. dS/m	0.42	1.14	0.6	0.27	0.67	0.27	0.77	0.3	0.52	0.48	1.02	0.21	0.32	0.31	2.47	2.48
Calcio meq/L	2.42	5.2	3.15	1.68	3.9	1.58	3.5	1.7	2.87	2.74	5.5	1.07	1.49	1.76	10.6	10.15
Magnesio meq/L	0.96	2.92	1.27	0.63	1.59	0.64	1.37	0.66	1.07	0.99	2.47	0.46	0.79	0.72	9.08	9.08
Potasio meq/L	0.13	0.39	0.4	0.04	0.09	0.04	0.56	0.05	0.05	0.35	0.23	0.07	0.31	0.07	0.21	0.23
Sodio meq/L	0.8	3.13	1.39	0.46	1.2	0.5	2.34	0.65	1.22	0.87	2.45	0.56	0.8	0.57	4.97	5.46
SUMA DE CATIONES	4.31	11.64	6.21	2.81	6.78	2.76	7.77	3.06	5.21	4.95	10.65	2.16	3.39	3.12	24.86	2492
Nitratos meq/L	0.02	0.31	0.06	0.01	0.05	0.01	0.15	0.01	0.09	0.04	0.02	0.01	0.05	0.01	0.12	0.1
Carbonatos meq/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonatos meq/L	0.76	2.18	1.54	0.6	1.38	0.33	1.48	0.56	0.98	2.42	3.89	0.4	1.15	0.47	2.32	2.33
Sulfatos meq/L	1.26	2.4	2.03	1.02	1.76	0.97	2.03	0.98	1.88	0.53	3.24	0.74	0.85	0.88	8.96	8.38
Cloruro meq/L	2.3	6.8	2.5	1.2	3.7	14.5	4.1	1.5	2.3	1.9	3.5	1	1.3	1.8	13.5	14
SUMA DE ANIONES	4.34	11.69	6.13	2.83	6.89	2.81	7.76	3.05	5.19	4.89	10.65	2.15	3.35	3.16	24.9	24.81
Sodio %	18.54	26.89	22.42	16.37	17.69	18.1	30.13	21.27	23.4	17.56	23.01	25.94	23.61	18.24	19.99	21.91
RAS	0.62	1.55	0.94	0.43	0.72	0.47	1.5	0.6	0.87	0.64	1.23	0.64	0.75	0.51	1.58	1.76
Boro ppm	0.18	0.81	0.07	0.01	0.08	0.15	0.19	0.01	0.15	0.16	0.28	0.16	0.14	0.14	0.42	0.48
Clasificación	<b>C2-S1</b>	<b>C3-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C3-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C3-S1</b>	<b>C1-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C2-S1</b>	<b>C4-S1</b>	<b>C4-S1</b>
Plomo ppm	0.025	0.248	0.331	0.062	0.31	0.281	0.223	0.04	0.04	0.328	0.156	0.143	0.231	0.345	0.255	0.222
Cadmio pmm	0.42	0.052	0.046	0.057	0.051	0.073	0.61	0.05	0.052	0.06	0.05	0.07	0.088	0.093	0.039	0.071
Cromo pmm	0.02	0.037	0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.01	0.006	0.01	0.02	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001

Nota: Plaz.: Plazapampa, Mish.: Mishirihuanca, Cans.: Canseco, Por.: Poroto, L.Cap.: La Capilla, CC1: Con Con 1, Moch.: Mochalito, CC2: Con Con 2, C. Blac.: Casa Blanca, Plat.: Platanar, Sam.: Samne, Cam.: Cambarra, Rayam.: Rayampampa, Cush.: Cushmún, Guay.: Guayabito, C. Piu: Campo Piura  
Fuente Elaboración propia en base a resultados del Laboratorio de Análisis de aguas, suelos y plantas de la UNALM

**Anexo 13: Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales**

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>FISICOQUÍMICOS</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100 - 700
Conductividad	(uS/cm)	< 2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> - N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> - N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
pH	u. de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
sulfuros	mg/L	0,5
<b>INORGÁNICOS</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5 - 6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>ORGÁNICOS</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M (Detergentes)	mg/L	1
<b>PLAGUICIDAS</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309 - 00- 2)	ug/L	0,004
Clordano ( CAS 57- 74 -9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72 - 20 - 8)	ug/L	0,7
Endrín	ug/L	0,004
Endosulfan	ug/L	0,02
Heptacloro ( N° CAS 76 - 44 - 8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

<<Continuación...>>

Parámetros para riego de vegetales			
Parámetros	Unidad	Vegetales Tallo bajo	Vegetales tallo alto
Biológicos			
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000 (3)
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000	5000 (3)
Enterococos	NMP/100 ml	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	100	100
Huevos de helmintos	Huevos/L	<1	<1 (1)
Salmonella sp		Ausente	
<i>Vibrion cholerae</i>		Ausente	

NMP/100 ml: Número más probable de 100 ml

Fuente: MINAM

## Anexo 14: Estándares nacionales de calidad ambiental para el suelo

Parámetros	Usos del Suelo			Método de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ parques	Suelo comercial/ Industrial/ Extractivos	
<b>Orgánicos</b>				
Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
Fracción de Hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
Fracción de Hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
Fracción de Hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
Bifenilos policlorados - PCB (mg/kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
Aldrin (mg/kg MS) (1)	2	4	10	EPA 8270-D
Endrín (mg/kg MS) (1)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
DDT (mg/kg MS) (1)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
Heptacloro (mg/kg MS) (1)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
<b>Inorgánicos</b>				
Cianuro libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CNF
Arsénico total (mg/kg MS) (2)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
Bario total (mg/kg MS) (2)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
Cadmio total (mg/kg MS) (2)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
Cromo VI (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
Mercurio total (mg/kg MS) (2)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
Plomo total (mg/kg MS) (2)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

DIN: German Institute for Standardization

MS: materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40 °C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10 °C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2 mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada < 2mm

Fuente: MINAM

### **Anexo 15: Valores máximos permisibles de elementos pesados para pulpa de frutas**

Elemento	Valor Máximo (ppm)
Arsénico	0,1
Plomo	0,2
Zinc	5,0
Fierro	5,0
Estaño	5,0
Mercurio	0,01
Cadmio	0,02

Fuente: AIJN. 1996

## Anexo 16: Coeficientes de transferencia de elementos pesados del suelo a la planta

Elemento	Coeficiente de transferencia suelo - planta
Cadmio	1 – 10
Cobalto	0,01 - 0,1
Cromo	0,01 – 0,1
Cobre	0,1 – 10
Mercurio	0,01 – 0,1
Níquel	0,1 – 1,0
Plomo	0,01 – 0,1
Talio	1,0 – 10
Zinc	1,0 – 10
Arsénico	0,01 – 0,1
Berilio	0,01 – 0,1
Selenio	0,1 – 10
Estaño	0,01 – 0,1

Fuente: Alloway BJ. (1995)

### Anexo 17: Aporte de elementos pesados en el agua de riego por volumen mensual

Campo	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	[Pb]/mes (g)	[Cd]/mes (g)	[Cr]/mes (g)
Plazapampa	0.025	0.042	0.002	25.0	42.0	2.0
Mishirihuanca	0.248	0.052	0.037	248.0	52.0	37.0
Canseco	0.331	0.046	0.002	331.0	46.0	2.0
Poroto	0.062	0.057	0.002	62.0	57.0	2.0
La Capilla	0.31	0.051	0.004	310.0	51.0	4.0
Con Con 1	0.281	0.073	0.002	281.0	73.0	2.0
Mochalito	0.223	0.061	0.002	223.0	61.0	2.0
Con Con 2	0.04	0.052	0.006	40.0	52.0	6.0
Casa Blanca	0.283	0.048	0.014	283.0	48.0	14.0
Platanar	0.328	0.064	0.014	328.0	64.0	14.0
Samne	0.156	0.047	0.024	156.0	47.0	24.0
Cambarra	0.143	0.070	0.002	143.0	70.0	2.0
Rayampampa	0.231	0.088	0.001	231.0	88.0	1.0
Cushmun	0.345	0.093	0.002	345.0	93.0	2.0
Guayabito	0.255	0.039	0.002	255.0	39.0	2.0
Campo Piura	0.222	0.071	0.001	222.0	71.0	1.0
V. agua/mes/Ha	100 mm (Ref: Vargas.2009)					

## Anexo 18: Relación de elementos pesados entre suelo y plantas de piña

Zona	Pb						Cd						Cr					
	Agua	Suelo	Hoja	Fruto	R: P/So	[F/So]	Agua	Suelo	Hoja	Fruto	R: P/So	[F/So]	Agua	Suelo	Hoja	Fruto	R: P/So	[F/So]
	mg/Kg					%	mg/Kg					%	mg/Kg					%
Plazapampa	0.03	66.72	5.60	2.57	0.06	3.85	0.04	2.12	0.20	0.03	0.05	1.41	0.002	9.87	1.00	0.23	0.06	2.33
Mishirihuanca	0.25	159.51	6.20	1.38	0.02	0.87	0.05	2.88	0.20	0.03	0.04	1.04	0.037	16.15	1.30	0.03	0.04	0.19
Canseco	0.33	26.45	7.25	3.95	0.21	14.93	0.05	2.21	0.35	0.05	0.09	2.26	0.002	25.59	0.80	0.03	0.02	0.12
Poroto	0.06	177.90	4.70	1.98	0.02	1.11	0.06	6.49	0.40	0.03	0.03	0.46	0.002	10.72	0.40	0.03	0.02	0.28
La Capilla	0.31	75.62	5.00	1.99	0.05	2.63	0.05	3.48	0.10	0.05	0.02	1.44	0.004	19.95	1.10	0.03	0.03	0.15
Con Con 1	0.28	207.91	5.05	2.17	0.02	1.04	0.07	3.47	0.15	0.07	0.03	2.02	0.002	16.22	0.75	0.02	0.02	0.12
Mochalito	0.22	73.45	6.00	1.74	0.05	2.37	0.06	1.71	0.50	0.03	0.15	1.75	0.002	21.19	0.30	0.03	0.01	0.14
Con Con 2	0.04	164.04	5.10	2.37	0.02	1.44	0.05	6.48	0.20	0.05	0.02	0.77	0.006	13.06	0.90	0.03	0.04	0.23
Casa Blanca	0.28	130.59	4.25	1.69	0.02	1.29	0.05	1.90	0.10	0.16	0.07	8.42	0.014	19.72	1.10	0.03	0.03	0.15
Platanar	0.33	85.39	5.90	1.13	0.04	1.32	0.06	3.20	0.30	0.03	0.05	0.94	0.014	10.34	1.30	0.03	0.06	0.29
Samne	0.16	67.97	4.80	2.88	0.06	4.24	0.05	2.80	0.20	0.07	0.05	2.50	0.024	13.14	0.58	0.05	0.02	0.38
Cambarra	0.14	120.72	4.55	1.63	0.03	1.35	0.07	4.70	0.40	0.10	0.05	2.13	0.002	11.51	1.25	0.05	0.06	0.43
Rayampampa	0.23	22.13	4.20	1.20	0.12	5.42	0.09	2.34	0.10	0.07	0.04	3.00	0.001	17.74	1.30	0.03	0.04	0.17
Cushmun	0.35	55.34	3.80	1.30	0.05	2.35	0.09	2.89	0.20	0.03	0.04	1.04	0.002	13.91	0.60	0.03	0.02	0.22
Guayabito	0.26	61.61	4.40	0.97	0.04	1.57	0.04	1.71	0.20	0.13	0.10	7.60	0.002	22.91	0.75	0.03	0.02	0.13
Campo Piura	0.22	40.22	4.40	0.23	0.06	0.57	0.07	2.07	0.40	0.07	0.11	3.39	0.001	21.43	1.00	0.03	0.02	0.14

R: P/So: Relación de concentración de elementos en planta (hojas y fruto) entre concentración en el suelo

[F/So] : Magnitud de concentración del elemento en fruto respecto a la concentración en el suelo (%)



## Anexo 20: Encuesta para el productor agrícola

Nombres y Apellidos: _____		
Dirección (Anexo, zona, centro poblado, Caserío) : _____		
<b>1. Sexo del responsable de la parcela :</b> Hombre ( ) 0      Mujer ( ) 1		
<b>2. Edad del responsable de la parcela (años) :</b> _____		
<b>3. Nivel de instrucción del responsable de la parcela</b>	Ninguno	<b>0</b>
	Inicial	<b>1</b>
	Primaria	<b>2</b>
	Secundaria	<b>3</b>
	Técnico	<b>4</b>
	Universitario	<b>5</b>
	Maestría	<b>6</b>
	Doctorado postdoctorado	<b>7</b> <b>8</b>
<b>4. Número de personas que viven en el hogar</b>		
<b>5. En su casa usted tiene:</b> Agua potable ( )    Luz ( )    Desagüe ( )    Teléfono ( ) No = 0      Si = 1		
<b>6. En su pueblo usted tiene:</b> Escuela ( )    Colegio ( )    Posta Médica ( ) No = 0      Si = 1		
<b>7. Donde reside el responsable de la parcela:</b> Chacra ( ) 0                  Centro Poblado ( ) 1                  Ciudad ( ) 2		
<b>8. Número de hectáreas en propiedad o posesión</b>		
<b>9. Tiene título de propiedad :</b> Si ( ) 1                  No ( ) 0		
<b>10. Pertenece o participa en una organización de:</b> Productores ( )    Deportista ( )    Religiosa ( )    Otra ( ) No = 0      Si = 1		
<b>11. Cría animales :</b> Si ( ) 1    No ( ) 0      Tipo :		
<b>12. Qué cultivos tiene :</b> (1) : _____ (2): _____ (3): _____		
<b>13. Tiene otra actividad económica, además de la agricultura y crianza de animales</b> No = 0      Si = 1		

<p><b>14. Si realiza otra actividad (además de agricultura y crianza de animales), esta es:</b>  Artesanía ( ) Pesca ( ) Comercio ( ) Otro ( )</p> <p><b>14.1.¿Cuánto tiempo dedica a: Actividad principal:</b> _____  <b>Otra Actividad :</b> _____</p>	
<b>15. Área (hectáreas) sembrada con cultivos agrícolas</b>	
<b>16. Cuanto le cuesta mantener una hectárea de su cultivo principal (S/.)</b>	
<b>17. ¿Cuántas personas trabajan en su chacra (incluido usted):</b>	
<p><b>18. Qué tipo de agricultura realiza:</b> Convencional ( ) Orgánico o Ecológico ( )  <b>No = 0 Si = 1</b></p> <p><b>18.1.¿Cómo determina el inicio de la cosecha?</b> _____</p> <p><b>18.2.¿Cada cuánto tiempo cosecha?</b> _____</p> <p><b>18.3.¿Dónde almacena la semilla, cuánto tiempo?</b> _____</p> <p><b>18.4.¿Ha tenido algún problema con la cosecha y almacenamiento?</b> _____</p>	
<b>19. Rendimiento de cultivo principal (t/ha):</b>	
<b>20. Rendimiento de cultivo secundario (qq/ha):</b>	
<p><b>21. La calidad de su producto lo define por:</b> Tamaño ( ) Color ( )  Forma ( ) Presentación ( )  <b>No = 0 Si = 1</b></p>	
<p><b>22. Donde se vende su producto:</b> Chacra ( ) Cooperativa ( ) Pueblo ( )  Lima ( ) Exporta ( ) Otro ( )  <b>No = 0 Si = 1</b></p> <p><b>22.1. ¿Ha tenido problemas con la venta de la producción?:</b> _____</p> <p><b>22.2.¿Lleva registros del cultivo? (costos)</b> _____</p>	
<p><b>23. ¿Realiza monitoreo de plagas?</b> _____</p> <p><b>23.1.¿Qué pesticidas utiliza para el control?</b> _____</p> <p><b>23.2.¿Cada cuánto tiempo aplica los pesticidas?</b> _____</p> <p><b>23.3.¿Qué problemas fitosanitario se han presentado?</b> _____</p>	
<p><b>24. ¿Incorpora materia orgánica al suelo?</b> _____</p> <p><b>24.1.¿Cuál es el destino de sus residuos orgánicos?</b> _____</p>	



**31. ¿En qué temas de producción agrícola le gustaría ser capacitado?:**

Almácigos	( )	Fertilización	( )
Producción de Compost	( )	Control de plagas y enfermedades	( )
Cosecha y Beneficio	( )	Comercialización	( )

Otro: \_\_\_\_\_

**No = 0      Si = 1**

## Anexo 21: Clasificaciones de las aguas según las normas Riverside

Clasificación	Características
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S3	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas

Por otro lado, la permeabilidad del sustrato influye de forma notable en la definición de la calidad del agua de riego, ya que es necesario conocer el suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio

## Anexo 22: Factor de bioacumulación de elementos pesados de hoja y frutos de piña

Zona	Pb					Cd					Cr				
	Suelo	Hoja	Fruto	FBC Hoj.	FBC Frt.	Suelo	Hoja	Fruto	FBC Hoj.	FBC Frt.	Suelo	Hoja	Fruto	FBC Hoj.	FBC Frt.
	mg/Kg					mg/Kg					mg/Kg				
Plazapampa	66.72	5.60	2.57	0.08	0.04	2.12	0.20	0.03	0.09	0.01	9.87	1.00	0.23	0.10	0.023
Mishirihuanca	159.51	6.20	1.38	0.04	0.01	2.88	0.20	0.03	0.07	0.01	16.15	1.30	0.03	0.08	0.002
Canseco	26.45	7.25	3.95	0.27	0.15	2.21	0.35	0.05	0.16	0.02	25.59	0.80	0.03	0.03	0.001
Poroto	177.90	4.70	1.98	0.03	0.01	6.49	0.40	0.03	0.06	0.00	10.72	0.40	0.03	0.04	0.003
La Capilla	75.62	5.00	1.99	0.07	0.03	3.48	0.10	0.05	0.03	0.01	19.95	1.10	0.03	0.06	0.002
Con Con 1	207.91	5.05	2.17	0.02	0.01	3.47	0.15	0.07	0.04	0.02	16.22	0.75	0.02	0.05	0.001
Mochalito	73.45	6.00	1.74	0.08	0.02	1.71	0.50	0.03	0.29	0.02	21.19	0.30	0.03	0.01	0.001
Con Con 2	164.04	5.10	2.37	0.03	0.01	6.48	0.20	0.05	0.03	0.01	13.06	0.90	0.03	0.07	0.002
Casa Blanca	130.59	4.25	1.69	0.03	0.01	1.90	0.10	0.16	0.05	0.08	19.72	1.10	0.03	0.06	0.002
Platanar	85.39	5.90	1.13	0.07	0.01	3.20	0.30	0.03	0.09	0.01	10.34	1.30	0.03	0.13	0.003
Samne	67.97	4.80	2.88	0.07	0.04	2.80	0.20	0.07	0.07	0.02	13.14	0.58	0.05	0.04	0.004
Cambarra	120.72	4.55	1.63	0.04	0.01	4.70	0.40	0.10	0.09	0.02	11.51	1.25	0.05	0.11	0.004
Rayampampa	22.13	4.20	1.20	0.19	0.05	2.34	0.10	0.07	0.04	0.03	17.74	1.30	0.03	0.07	0.002
Cushmun	55.34	3.80	1.30	0.07	0.02	2.89	0.20	0.03	0.07	0.01	13.91	0.60	0.03	0.04	0.002
Guayabito	61.61	4.40	0.97	0.07	0.02	1.71	0.20	0.13	0.12	0.08	22.91	0.75	0.03	0.03	0.001
Campo Piura	40.22	4.40	0.23	0.11	0.01	2.07	0.40	0.07	0.19	0.03	21.43	1.00	0.03	0.05	0.001

FBC: Factor de Bioacumulación

**Anexo 23: Clasificación de frutos de piña *Ananás comosus* Merr por calidad para el consumo fresco excluido el procesamiento industrial**

CALIBRE		
El calibre se determina por peso de la fruta		
CALIBRE	PESO (G)	TOLERANCIA
A	Menores 1000	5 % para la categoría extra, 10 % para las categorías restantes que se encuentren en un calibre inmediatamente inferior o superior al indicado.
B	1000-1200	
C	1200-1600	
D	1600-1800	
E	Mayores 1800	

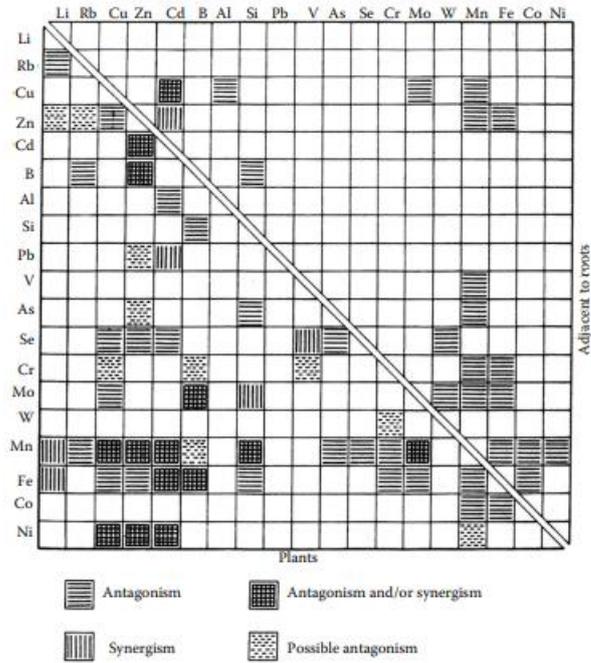
Fuente: CODEX ALIMENTARIUS 182-1993

#### **Anexo 24: Grados de madurez de los frutos de piña**

0	1 – 12 %	de la superficie de la cascara está amarilla
1	13 – 37 %	de la superficie de la cascara está amarilla
2	28 – 62 %	de la superficie de la cascara está amarilla
3	63 – 87 %	de la superficie de la cascara está amarilla
4	88 – 99 %	de la superficie de la cascara está amarilla
5	100 %	de la superficie de la cáscara está amarilla; los ojos empiezan a ponerse color café

Fuente: José Sánchez Escalante

**Anexo 25: Interacciones de elementos pesados dentro de los organismos vegetales y adyacentes a las raíces de las plantas.**



**Extraído de Trace elements in soils and plants-CRC Press (2011)**

## Anexo 26: Lineamientos para la interpretación de la calidad del agua para riego<sup>1</sup>

Problema potencial de riego	Unid.	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligero a moderado	Severo
<b>Salinidad</b> (afecta la disponibilidad de agua de cultivo) <sup>2</sup>				
EC <sub>w</sub>	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
(or)				
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
<b>Infiltración</b> (Afecta la tasa de infiltración de agua en el suelo, Evaluar usando EC <sub>w</sub> y SAR juntos) <sup>3</sup>				
SAR = 0 – 3	and EC <sub>w</sub> =	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
= 3 – 6	=	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6 – 12	=	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12 – 20	=	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20 – 40	=	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
<b>Toxicidad de iones específicos</b> (afecta cultivos sensibles)				
<b>Sodio (Na)<sup>4</sup></b>				
riego superficial	SAR	< 3	3 – 9	> 9
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
<b>Cloruro (Cl)<sup>4</sup></b>				
riego superficial	me/l	< 4	4 – 10	> 10
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
<b>Boro (B)<sup>5</sup></b>				
	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Oligoelementos (ver Tabla 21)				
<b>Efectos varios</b> (afecta cultivos susceptibles)				
<b>Nitrogeno (NO<sub>3</sub> - N)<sup>6</sup></b>				
	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
<b>Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>)</b>				
(solo riego por aspersión)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH		<b>Rango Normal 6.5 – 8.4</b>		

<sup>1</sup> Adaptado del Comité de Consultores de la Universidad de California 1974.

<sup>2</sup> EC<sub>w</sub> significa conductividad eléctrica, una medida de la salinidad del agua, expresada en deciSiemens por metro a 25°C (dS/m) o en unidades milimhos por centímetro (mmho/cm). Ambos son equivalentes. TDS significa sólidos disueltos totales, informados en miligramos por litro (mg/l).

<sup>3</sup> SAR significa relación de adsorción de sodio. SAR a veces se informa con el símbolo RNa. Consulte la Figura 1 para conocer el procedimiento de cálculo de SAR. En un SAR determinado, la tasa de infiltración aumenta a medida que aumenta la salinidad del agua. Evalúe el problema potencial de infiltración por SAR modificado por EC<sub>w</sub>. Adaptado de Rhoades 1977 y Oster y Schroer 1979.

<sup>4</sup> Para el riego superficial, la mayoría de los cultivos arbóreos y las plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloruro; utilice los valores mostrados. La mayoría de los cultivos anuales no son sensibles; use las tablas de tolerancia de salinidad (Tablas 4 y 5). Para la tolerancia al cloruro de cultivos frutales seleccionados, consulte la Tabla 14. Con riego por aspersión y baja humedad (< 30 por ciento), el sodio y el cloruro pueden ser absorbidos a través de las hojas de cultivos sensibles. Para conocer la sensibilidad del cultivo a la absorción, consulte las tablas 18, 19 y 20.

<sup>5</sup> Para conocer las tolerancias de boro, consulte las tablas 16 y 17.

<sup>6</sup> NO<sub>3</sub> -N significa nitrógeno de nitrato informado en términos de nitrógeno elemental (el NH<sub>4</sub> -N y el N orgánico deben incluirse cuando se analizan las aguas residuales).

## Anexo 27: Concentraciones máximas recomendadas de oligoelementos en el agua de riego<sup>1</sup>

Alimentos	Concentración máxima recomendada <sup>2</sup> (mg/litro)	Observaciones
Al(aluminium)	5.0	Puede causar falta de productividad en suelos ácidos (pH < 5,5), pero suelos más alcalinos a pH > 7,0 precipitarán el ion y eliminarán cualquier toxicidad
As (arsenic)	0.10	La toxicidad para las plantas varía ampliamente, desde 12 mg/l para el pasto Sudán hasta menos de 0,05 mg/l para el arroz.
Be (beryllium)	0.10	La toxicidad para las plantas varía ampliamente, desde 5 mg/l para la col rizada hasta 0,5 mg/l para los frijoles arbustivos.
Cd (cadmium)	0.01	Tóxico para frijoles, remolachas y nabos en concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l en soluciones nutritivas. Se recomiendan límites conservadores debido a su potencial de acumulación en plantas y suelos a concentraciones que pueden ser dañinas para los humanos.
Co (cobalt)	0.05	Tóxico para plantas de tomate a 0,1 mg/l en solución nutritiva. Tiende a ser inactivado por suelos neutros y alcalinos.
Cr (chromium)	0.10	Generalmente no se reconoce como un elemento de crecimiento esencial. Se recomiendan límites conservadores debido a la falta de conocimiento sobre su toxicidad para las plantas.
Cu (copper)	0.20	Tóxico para varias plantas a 0,1 a 1,0 mg/l en soluciones nutritivas.
F (fluoride)	1.0	Inactivado por suelos neutros y alcalinos.
Fe (iron)	5.0	No es tóxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y a la pérdida de disponibilidad de fósforo y molibdeno esenciales. La aspersión desde arriba puede resultar en depósitos antiestéticos en plantas, equipos y edificios.
Li (lithium)	2.5	Tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l; móvil en el suelo. Tóxico para cítricos a bajas concentraciones (<0,075 mg/l). Actúa de manera similar al boro.
Mn (manganese)	0.20	Tóxico para varios cultivos en unas pocas décimas a unos pocos mg/l, pero generalmente solo en suelos ácidos.
Mo (molybdenum)	0.01	No es tóxico para las plantas en concentraciones normales en el suelo y el agua. Puede ser tóxico para el ganado si el forraje se cultiva en suelos con altas concentraciones de molibdeno disponible.
Ni (nickel)	0.20	Tóxico para varias plantas a 0,5 mg/l a 1,0 mg/l; Toxicidad reducida a pH neutro o alcalino
Pd (lead)	5.0	Puede inhibir el crecimiento de células vegetales en concentraciones muy altas
Se (selenium)	0.02	Tóxico para las plantas en concentraciones tan bajas como 0,025 mg/l y tóxico para el ganado si el forraje se cultiva en suelos con niveles relativamente altos de selenio añadido. Un elemento esencial para los animales pero en concentraciones muy bajas
Sn (tin)		
Ti (titanium)	----	Efectivamente excluido por las plantas; tolerancia específica desconocida
W (tungsten)		
V (vanadium)	0.10	efectivamente excluido por las plantas; tolerancia específica desconocida
Zn (zinc)	2.0	Tóxico para muchas plantas en concentraciones muy variables; toxicidad reducida a pH > 6.0 y en suelos orgánicos o de textura fina

<sup>1</sup> Adaptado de la Academia Nacional de Ciencias (1972) y Pratt (1972).

<sup>2</sup> La concentración máxima se basa en una tasa de aplicación de agua consistente con buenas prácticas de riego (10 000 m<sup>3</sup> por hectárea por año). Si la tasa de aplicación de agua excede mucho esto, las concentraciones máximas deben ajustarse a la baja en consecuencia. No se debe hacer ningún ajuste para tasas de aplicación inferiores a 10 000 m<sup>3</sup> por hectárea por año. Los valores dados son para el agua utilizada de forma continua en un sitio.

**Anexo 28: Concentraciones aproximadas de oligoelementos en tejido foliar maduro  
generalizadas para diversas especies (mg/kg)**

Elemento	deficiente (si es menor que la cantidad declarada de elementos esenciales)	Suficiente o normal	Excesivo o tóxico	Tolerable en cultivos agronómicos
Ag	-	0,5	5 – 10	-
As	-	1 – 1,7	5 – 20	0,2
B	5 -30	10 – 100	50 – 200	100
Ba	-	-	500	-
Be	-	< 1 - 7	10 – 50	-
Cd	-	0,05 – 0,2	5 – 30	0,05 – 0,5
Co	-	0,02 - 1	15 - 50	5
Cr	-	0,1 – 0,5	5 – 30	2
Cu	2 – 5	5 – 30	20 – 100	5 – 20
F	-	5 – 30	50 – 500	-
Hg	-	-	1 – 3	0,2
Li	-	3	5 – 50	-
Mn	10 – 30	30 - 300	400 - 1000	300
Mo	0,1 – 0,3	0,2 – 5	10 – 50	-
Ni	-	0,1 – 5	10 – 100	1 – 10
Pb	-	5 – 10	30 – 300	0,5 – 10
Se	-	0,01 – 2	5 – 30	-
Sn	-	-	60	-
Sb	-	7 - 50	150	-
Ti	-	-	50 – 200	-
Tl	-	-	20	-
V	-	0,2 – 1,5	5 – 10	-
Zn	10 – 20	27 – 150	100 – 400	50 – 100
Zr	-	-	15	-

Fuente: Datos recopilados de Bergmann, W. y Cumakov, A., *Diagnosis of Nutrient Requirement by Plants*, G. Fischer Verlag, Jena y Priroda, Bratislava, 1977, 295 (Cz); Davis, R. D., Beckett, P. H. T. y Wollan, E., *Plant Soil*, 49, 395, 1978; Gough, L. P., Shacklette, H. T. y Case, A. A., *U.S. Geol. sobrev. Bol.*, 1466, 1979, 80; Hondenberg, A. y Finck, A., *Z. Pfl anzenernaehr. Bodenkd.*, 4/5, 489, 1975; Jones, J. B., *Micronutrientes en agricultura, ciencia del suelo Sociedad de América*, Madison, WI, 1972, 319; Kabata-Pendias, A. y Pendias, H., *Trace Elements in the Biological Medio Ambiente*, Wyd. Geol., Varsovia, 1979, 300 (Po); Kitagishi, K. y Yamane, I., Eds., *Contaminación por metales pesados en Soils of Japan*, Japan Science Society Press, Tokio, 1981, 302; Mengel, K. y Kirkby, E. A., *Principios de plantas Nutrición*, Instituto Internacional de Potasa, Worblaufen-Bern, 1978, 593.

**Anexo 29: Concentraciones críticas de elementos pesados (elementos traza) en tejidos vegetales**

Metal	Levels of Growth Depression	
	Insensitive Plant Species <sup>1052</sup>	For 10% Yield Loss <sup>1001</sup>
As	—	1–20
Cd	5–10	10–20
Co	10–20	20–40
Cr	1–2	1–10
Cu	15–20	10–30
Hg	0.5–1	1–8
Ni	20–30	10–30
Zn	150–200	100–500

**Anexo 30: Análisis de componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a las propiedades químicas del suelo**

<b>Valores propios</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
<b>Valor</b>	5,61	2,89
<b>%</b>	43,2	22,2
<b>Valor Acumulado</b>	5,61	8,50
<b>% Acumulado</b>	43,2	65,4
<b>Coordenadas de los vectores propios</b>		
<b>pH</b>	0,06	0,032
<b>CE</b>	0,01	<b>0,46 *</b>
<b>MO</b>	<b>0,37 *</b>	-0,19
<b>P</b>	<b>0,28 *</b>	-0,12
<b>K</b>	<b>0,29 *</b>	<b>0,28 *</b>
<b>CIC</b>	<b>0,37 *</b>	0,12
<b>Ca Camb</b>	<b>0,35 *</b>	0,10
<b>Mg Camb</b>	<b>0,36 *</b>	0,09
<b>K Camb</b>	<b>0,35 *</b>	0,16
<b>Na Camb</b>	0,13	<b>0,28 *</b>
<b>Pb</b>	<b>0,31 *</b>	-0,21
<b>Cd</b>	0,26	<b>-0,36*</b>
<b>Cr</b>	-0,10	<b>0,51*</b>

Los valores resaltados (\*) contribuyen más a describir en cada componente

**Anexo 31: Análisis de Componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a las propiedades químicas del agua de riego**

<b>Valores propios</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
<b>Valor</b>	10,90	2,64
<b>%</b>	60,5	14,7
<b>Valor Acumulado</b>	10,90	13,54
<b>% Acumulado</b>	60,5	75,2
<b>Coordenadas de los vectores propios</b>		
<b>pH</b>	<b>0,25 *</b>	0,07
<b>CE</b>	<b>0,29 *</b>	-0,15
<b>Ca</b>	<b>0,29 *</b>	-0,14
<b>Mg</b>	<b>0,28 *</b>	-0,22
<b>K</b>	0,13	<b>0,40</b>
<b>Na</b>	<b>0,30 *</b>	-0,05
<b>S. Cat.</b>	<b>0,29 *</b>	-0,14
<b>Nitratos</b>	0,19	<b>0,38</b>
<b>Bicarbonatos</b>	0,22	0,17
<b>Sulfatos</b>	<b>0,28 *</b>	<b>-0,23</b>
<b>Cloruros</b>	<b>0,29 *</b>	-0,15
<b>S. Anion.</b>	<b>0,29 *</b>	-0,14
<b>% Na</b>	0,08	<b>0,41</b>
<b>RAS</b>	<b>0,28 *</b>	0,15
<b>B</b>	0,23	<b>0,24</b>
<b>Pb</b>	0,05	0,10
<b>Cd</b>	-0,10	-0,02
<b>Cr</b>	0,08	<b>0,44</b>

Los valores resaltados (\*) contribuyen más a describir en cada componente

**Anexo 32: Análisis de componentes principales para la caracterización de las localidades respecto a los componentes químicos de los frutos de piña**

<b>Valores propios</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
<b>Valor</b>	4,78	2,53
<b>%</b>	32,0	17,0
<b>Valor Acumulado</b>	4,78	7,31
<b>% Acumulado</b>	32,0	49,0
<b>Coordenadas de los vectores propios</b>		
<b>N</b>	-0,08	<b>0,28 *</b>
<b>P</b>	<b>0,33 *</b>	<b>0,35 *</b>
<b>K</b>	<b>0,34 *</b>	<b>-0,19 *</b>
<b>Ca</b>	-0,10	0,03
<b>Mg</b>	<b>0,20 *</b>	<b>-0,26 *</b>
<b>S</b>	<b>0,36 *</b>	0,17
<b>Na</b>	<b>0,37 *</b>	<b>-0,25 *</b>
<b>Zn</b>	<b>0,37 *</b>	0,11
<b>Cu</b>	<b>0,30 *</b>	<b>0,37 *</b>
<b>Mn</b>	0,19	-0,14
<b>Fe</b>	0,15	-0,11
<b>B</b>	<b>0,21 *</b>	<b>0,42 *</b>
<b>Pb</b>	0,15	<b>-0,28 *</b>
<b>Cd</b>	-0,03	<b>0,33 *</b>
<b>Cr</b>	<b>0,30 *</b>	<b>-0,32 *</b>

Los valores resaltados (\*) contribuyen más a describir en cada componente