



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE



Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo Marzo – Julio 2018.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente

Presentado por:

Bach. Bristin Geraldine Tineo Nuñez

Bach. Romy Eduardo Periche Viera

**Tumbes – Perú
2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE



Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo Marzo – Julio 2018.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente

Revisado por:

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Asesor

Dr. Luis Alberto Bermejo Requena
Co - Asesor

Tumbes – Perú
2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

FORESTAL Y DEL MEDIO AMBIENTE



Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo Marzo – Julio 2018.

Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente

Aprobado por:

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully
PRESIDENTE

Mg. Ing. Cesar Yoel Feijoo Carrillo
SECRETARIO

Ing. José Antonio Silva Chávez
VOCAL

Tumbes- Perú
2019

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Bristin Geraldine Tineo Nuñez, declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores de tesis y mi jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

Bach. Bristin Geraldine Tineo Nuñez

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Romy Eduardo Periche Viera, declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores de tesis y mi jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

Bach. Romy Eduardo Periche Viera

CERTIFICACION

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro, docente ordinario de la Universidad Nacional de Tumbes, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento Académico de Ingeniería Forestal y Gestión Ambiental.

CERTIFICA:

Que la Tesis: Evaluación del contenido de metales pesados en la margen izquierda del valle del río Tumbes y su absorción por el cultivo de arroz durante el periodo marzo – julio 2018, ejecutada por los Bach. Bristin Geraldine Tineo Núñez y el Bach. Romy Eduardo Periche Viera, ha sido asesorada y revisada por mi persona, por tanto queda autorizado para su presentación y defensa en la Universidad Nacional de Tumbes con miras que puedan obtener el título de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente.

Tumbes. 31 de julio 2019.

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro

Asesor de Proyecto de Tesis

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis fue resultado de las coordinaciones hechas en el marco del financiamiento del Fondo Newton Paulet Movilizaciones, Contrato 002-2018-FONDECYT.

A la Dra Debapriya Mondal de la Universidad de Salford – Manchester – Reino Unido por el financiamiento de los análisis de ICP-MS.

A nuestros asesores, Dr. Gerardo Cruz Cerro y al Dr. Luis Bermejo Requena; quienes además de apoyar la investigación y el proceso de titulación fueron amigos, apoyo y ejemplo de superación y logro. Gracias por su tiempo y sus consejos.

DEDICATORIA

Dedicamos nuestro trabajo de investigación a Dios por brindarnos una buena salud y por estar con nosotros cuando más lo necesitábamos y dándonos la fortaleza para culminar nuestra carrera profesional como Ingeniero Forestal y Medio Ambiente

Asimismo, les dedicamos a nuestros padres (Nancy Núñez, Rosa Viera y Eduardo Periche), hermanas (Jexnny y Liseth) y hermano (Luis). Por brindarnos una excelente educación, valores, demostrarnos su amor y apoyo en lo largo de la vida. Y por ser nuestra inspiración y ejemplo a seguir.

Gracias por confiar en nosotros.

Los amamos

También le dedicamos nuestra Tesis a los docentes de la escuela de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente quienes con sus conocimientos contribuyeron a nuestra formación académica como Ingenieros.

Gracias por todo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el contenido de los metales pesados en los suelos con cultivos con arroz y determinar el nivel de absorción de los metales pesados por los granos de arroz en la margen izquierda del valle del río Tumbes. Se determinó un área de estudio de 2000 Has, donde se recolectaron 30 muestras de suelos agrícolas, los cuales fueron determinados mediante una malla de muestreo georreferenciada. Adicionalmente se recogieron muestras de suelos no agrícolas (testigos), lodos de drenaje agrícola, agua subterránea, agua de drenaje agrícola, agua de riego y muestras de granos de arroz.

A las muestras líquidas se les adicionó ácido nítrico concentrado para reducir los niveles de pH hasta menos de 2, mientras que las muestras sólidas fueron secadas a 80 °C durante 24 horas para luego ser molidas y tamizadas a través de una malla N° 100 (150 µm). Las muestras fueron codificadas para luego ser analizadas. Las muestras líquidas fueron medidas directamente en un ICP-EOS, mientras que las muestras sólidas fueron digeridas por microondas en soluciones de agua regia para luego ser medidas en un ICP-MS. Con los resultados obtenidos se calcularon los valores promedio y con los niveles de metales en suelos agrícolas se construyeron curvas de iso-contenido.

Los resultados muestran que los niveles de metales pesados promedio encontrados en los suelos agrícolas (3,26 mg/kg of Cr, 105,08 mg/kg of Mn, 2,91 mg/kg of Co, 1,52 mg/kg of Ni, 6,59 mg/kg of Cu, 24,96 mg/kg of Zn, 2,48 mg/kg of As, 0,26 mg/kg of Cd and 6,17 mg/kg of Pb) sobrepasan a los valores promedio de los suelos testigos, determinándose valores que superan límites máximos permisibles (LMPs) de países europeos. Los niveles de As de 8,63 mg/kg en promedio superan los LMPs para es el caso de Alemania y Austria (7 y 5 mg/kg respectivamente). Los niveles de Cr de 6,32 mg/kg superaron los LMPs de Alemania de 5 mg/kg. Para el caso de las muestras de agua de riego los niveles de metales pesados encontrados de Cd y Pb (0,0492 y 0,0957 mg/L respectivamente) superan los LMPs brasileños. Para el agua subterránea los niveles de Cd encontrados son 0,022 mg/L superan los estándares de calidad ambiental (ECAs) peruanos de 0,005 mg/L. Los contenidos de Cd y Pb en las

muestras de granos de arroz superan los límites de países europeos, Chile, Austria y Nueva Zelanda.

Existe contaminación con metales pesados (Cd y Pb principalmente y en menor medida As y Cr) en los suelos agrícolas, aguas y muestras de grano de arroz en la margen izquierda del río Tumbes de tal manera que se superan LMPs o ECAs nacionales e internacionales en algunos casos particulares. Del análisis de las curvas de iso-contenido se puede determinar que las posibles fuentes contaminantes la constituyen el río Tumbes quien es la única fuente de agua de riego de arroz y además afecta la margen izquierda con sus desbordes temporales.

Palabras Clave: suelos agrícolas, grano de arroz, metales pesados, río Tumbes.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the content of heavy metals in soils with rice crops and to determine the level of absorption of heavy metals by rice grains on the left bank of the Tumbes river valley. The study area was determined in 2000 Has, where 30 samples of agricultural soils (rice crop) were collected, which were made using a georeferenced sampling mesh. In addition, non-agricultural soil samples, agricultural irrigation water, irrigation water and samples of rice grains were collected.

Concentrated nitric acid was added to the liquid samples to reduce the pH levels to less than 2, while the solid samples were dried at 80 °C for 24 hours and then ground and sieved through a No. 100 mesh. (150 µm). The samples were coded to be analyzed later. The liquid samples were analyzed directly by a ICP-EOS, while the solid samples were digested with *aqua regia* in a microwave equipment, then they were analyzed by a ICP-MS. With the results the average values were calculated and with the levels of metals in the agricultural soils, iso-content curves were built.

The results of average heavy metal levels in agricultural soils (3.26 mg/kg of Cr, 105.08 mg/kg of Mn, 2.91 mg/kg of Co, 1.52 mg/kg of Ni, 6.59 mg/kg of Cu, 24.96 mg/kg of Zn, 2.48 mg/kg of As, 0.26 mg/kg of Cd and 6.17 mg/kg of Pb) exceed the average values of the non-agricultural soils, determining that the found values exceed maximum permissible limits (MPLs) of some European countries. As levels of 8.63 mg/kg on average exceed the MPL for the case of Germany and Austria (7 and 5 mg/kg respectively). Cr levels of 6.32 mg/kg exceeded the German PML of 5 mg/kg. In the case of irrigation water samples, the results of Cd and Pb (0.0492 and 0.0957 mg/L respectively) exceed the Brazilian MPLs. For groundwater the found Cd level was 0.022 mg/L, exceeding the Peruvian environmental quality standards (EQS) of 0.005 mg/L. The contents of Cd and Pb in the samples of rice grains exceed the limits of European countries, Chile, Austria and New Zealand.

There is high levels of heavy metals in agricultural soils, waters and rice grain samples (Cd and Pb mainly) in the left bank of the Tumbes river, surpassing either national or international MPLs/EQSs. The analysis of the iso-content curves

evidences that one of the sources of heavy metals is the Tumbes River, the unique source of irrigation water and beside affect the area during floods in the wet season.

Keywords: agricultural soils, rice grain, heavy metals, Tumbes river.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO I	20
1. Marco de referencia del problema	20
1.1. Antecedentes:.....	20
CAPÍTULO II.....	24
2. Bases teóricas científicas	24
2.1. Clasificación y descripción taxonómica del arroz.	24
2.2. Metales pesados.....	25
2.3. Clases de metales	26
2.4. Estudios de metales pesados en suelos agrícolas:.....	28
2.5. Dinámica de los metales en el ambiente.....	29
2.5.1. Factores internos:	29
2.5.2. Factores externos:	29
2.5.3. Influencia en la movilidad de los metales a través de los fenómenos físico-químicos y biológicos a partir del suelo:.....	30
2.6. Metales pesados en relación ambiente – planta.	30
2.7. Adsorción y translocación de metales pesados en las plantas....	31
2.8. El Agua Residual y la Agricultura	32
CAPÍTULO III.....	33
3.1. Materiales, Equipos, Software y Métodos	33
3.1.1. Equipos.....	33
3.1.2. Material Auxiliar	33
3.1.3. Paquetes informáticos	33
3.2. Area de Estudio.....	34
3.3. Tipo de estudio y diseño de investigación	37
3.3.1. Definición del área de estudio.	38
3.3.2. Muestreo de suelos agrícolas, suelo testigo y lodos de drenaje.	40
3.3.3. Muestra de grano de arroz	43
3.3.4. Muestra de agua de riego, drenaje y subterránea	45
3.3.5. Análisis de metales pesados y otros	48
3.3.6. Procesamiento de datos.....	51
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4. Resultados	53
4.1. Suelos agrícolas:	53

4.1.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola.....	54
4.2. Suelos testigos	57
4.3. Lodos de drenaje	58
4.4. Granos de arroz.....	58
4.5. Agua de riego, subterránea y drenaje.	60
4.6. Discusión.	61
4.6.1. Suelo agrícola.....	61
4.6.2. Curvas de iso-contenido de los contenidos de metales pesados en los suelos agrícolas	65
4.6.3. Suelo testigo.	71
4.6.4. Grano de arroz.	72
4.6.5. Agua de riego, subterránea y drenaje.	76
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1. Conclusiones	79
5.2. Recomendación	80

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°1: Principales cultivos del Valle Tumbes con área y porcentajes – campaña agrícola 2005 2006.....	36
Cuadro N°2: Resumen de tipo de muestras y número de muestras.....	47
Cuadro N°3: Codificación de muestras.....	48
Cuadro N°4: Resumen de los métodos y unidades de muestras.....	48
Cuadro N°5: Resultados de los metales pesados en suelos Agrícolas.....	53
Cuadro N°6: Resultados del contenido metálicos en el suelo testigo.....	57
Cuadro N°7: Resultados del contenido metálicos en lodos de drenaje.....	58
Cuadro N°8: Resultados del contenido metálico en Grano de Arroz.....	58
Cuadro N°9: Resultados de los metales pesados en agua de riego.....	60
Cuadro N°10: Resultados de los metales pesados en agua subterránea.....	60
Cuadro N°11: Resultados de los metales pesados en agua de drenaje.....	60
Cuadro N°12: Comparación de promedios suelo agrícola y promedios de suelos testigos 01 y 02.....	72
Cuadro N°13: Comparación de promedio de suelos agrícolas vs. Suelo testigo 05.....	73
Cuadro N°14: límites máximos permitidos para grano de arroz de diferentes países	73
Cuadro N°15: Límites máximos permitidos y estándares de calidad ambiental para agua de riego de acuerdo a la legislación de diferentes países.....	78
Cuadro N°16: Límites máximos permitidos y estándares de calidad ambiental para agua de subterránea de acuerdo a la legislación de diferentes países.....	79
Cuadro N°17: Límites máximos permisibles para agua de drenaje de acuerdo a la legislación nacional.....	79

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1: Origen de contaminantes.....	27
Figura N°2: Mapa de muestras sistemático y estratificado.....	38
Figura N°3: Mapa del Área de estudio de Google Earth.....	39
Figura N°4: Ubicación de las muestras de Suelo agrícola.....	41
Figura N°5: Ubicación de las muestras de Suelo testigo y lodo de drenaje.....	42
Figura N°6: Ubicación de las muestras de Grano de arroz.....	44
Figura N°7: Ubicación de las muestras de Agua de riego, drenaje y subterránea.....	46
Figura N°8: Curva de iso-contenido para el Cr	66
Figura N°9: Curva de iso-contenido para el Co.	66
Figura N°10: Curva de iso-contenido para el Mn	67
Figura N°11: Curva de iso-contenidos para el Ni.....	68
Figura N°12: Curva de iso-contenido para el As.....	69
Figura N°13: Curva de iso-contenido para el Cd.....	69
Figura N°14: Curva de iso-contenido para el AS.....	70
Figura N°15: Curva de iso-contenido para el Cu	71
Figura N°16: Curva de iso-contenido para el Pb	71

INDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico N°1: Porcentaje de la textura del suelo.....	55
Grafico N°2: pH para cada una de las muestras analizadas.....	55
Grafico N°3: Porcentaje de materia orgánica.....	56
Grafico N°4: Conductividad eléctrica para cada una de las muestras analizadas.....	58
Grafico N°5: Porcentaje la textura del suelo.....	58
Grafico N°6: pH para cada una de las muestras analizadas.....	59
Grafico N°7: Porcentaje de materia Orgánica.....	60
Grafico N°8: Concentración de Cr para cada una de las muestras analizadas.....	62
Grafico N°9: concentraciones de As para cada una de las muestras analizadas .	63
Grafico N°10: concentraciones de Cd para cada una de las muestras analizada.	64
Grafico N°11: concentraciones de Cd para cada una de las muestras analizadas.....	64
Grafico N°12: Concentración de Cr para cada una de las muestras de grano de arroz analizadas.....	74
Grafico N°13: Concentración de Cu para cada una de las muestras de grano de arroz analizadas.....	75
Grafico N°14: Concentración de As para cada una de las muestras de grano de arroz analizadas.....	75
Grafico N°15: Concentración de Cd para cada una de las muestras de grano de arroz analizadas.....	76
Grafico N°16: Concentración de Pb para cada una de las muestras de grano de arroz analizadas.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	83
ANEXOS.....	85

INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el alimento primordial de más de 17 estados de Asia y el Pacífico, 09 países de América del Norte y del Sur y 08 países de África. El principal productor es Tailandia (exporta casi el 50% de su producción). El arroz es el alimento que abastece a más del 20% de la población mundial. Este cereal es muy rico en tiamina, rivotflavina, niacina y fibra alimenticia. (FAO, 2004).

En Perú, el arroz es uno de los alimentos más consumidos por la población. La producción de este cereal aumentado en las últimas décadas debido a la mejora de sus rendimientos. El 84% del consumo local es cubierto por la producción local y el 16% restante por importaciones (MINCETUR, 2017). Así mismo, la producción de arroz en cáscara aumento a un ritmo de 2,4% anual del 2001 al 2017 (MINAGRI, 2017). Perú es uno de los países de América que más exporta este cultivo, después de Brasil y Estados Unidos, pagando un buen precio por el producto.

En la región de Tumbes, la siembra y cosecha de arroz es una de las principales actividades agrícolas. Existen grandes extensiones de cultivo de arroz, ya sea en la margen derecha e izquierda del valle del río Tumbes, siendo este cereal el principal alimento de más del 50% de la población, abarcando un área de producción cosechada de más de 14 500 hectáreas. (MINAGRI, 2017). Así mismo, se conoce que existen 1797 productores de arroz en Tumbes y tienen participación de 2,55% en la producción a nivel nacional.

Dentro del ciclo productivo del arroz se le agregan una cantidad excesiva de abonos, pesticidas y plaguicidas, como se sabe estos productos contienen metales pesados que se son absorbidos por la planta y sus diversas partes, las cuales posteriormente pueden ser consumidas por la población.

En estos procesos se utiliza mayormente fertilizantes nitrogenados, teniendo como fuente principal urea y sulfato de amonio; aplicándose en cantidades de 276 a 322 kg de urea/Ha y de 138 a 184 kg de sulfato de amonio/Ha. Esporádicamente se aplican Superfosfato triple (92 kg/ha). (Bermejo, 2003).

Además de los productos tóxicos que se le agregan al cultivo de arroz, se sabe que los metales pesados también provienen de las aguas del río de Tumbes, el cual contiene gran cantidad de estos elementos, como As, Fe y Pb; que son procedentes de la minería ilegal del país vecino Ecuador. Es importante decir que no todos los metales pesados son dañinos. Muchos de ellos se consideran esenciales para la salud humana en bajas concentraciones como es el Co, Zn y Fe, *Sha wellness clinic* (2016).

En esta coyuntura se plantea la presente investigación que tuvo como objetivo principal evaluar el contenido de los metales pesados en los suelos con cultivos con arroz y determinar el nivel de absorción de los metales pesados por los granos de arroz en la margen izquierda del valle del río Tumbes.

CAPÍTULO I

1. Marco de referencia del problema

1.1. Antecedentes:

Existen diversos estudios de metales pesados en cultivos agrícolas, pero muy pocos se han enfocado en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Siendo este un cereal muy importante en la alimentación de las personas y al cuál se le debe de brindar mucha más importancia.

Bermejo y Cruz (2006) Realizaron una investigación donde determinaron contenidos de metales pesados en suelos cultivados con arroz en la margen izquierda del río Tumbes. Determinaron que en estos suelos existen niveles peligrosos de concentraciones metales pesados, específicamente de As y Cr, incluso superan los límites de intervención de diversos países. Así mismo mencionan que los granos de arroz en cáscara contienen niveles altos de cadmio y plomo (0,18 y 1,02 mg/Kg en promedio, respectivamente), por encima de la normatividad internacional (0,05 según Codex Alimentarius para el cadmio y 0,2 según norma Australiana para el plomo).

Cada vez los trabajos se asemejan fuertemente con la existencia de metales pesados en diferentes componentes ambientales particularmente en la superficie terrestre. Dentro de estos se encuentra el estudio elaborado por Cruz et al. (2004) quien determinó el contenido metálico en suelos y material vegetal de mango en el valle de San Lorenzo, Piura Perú.

Calderón et al. Realizó un estudio que consta en la determinación de las concentraciones de los metales pesados para evaluar la calidad de frutas del consumo intenso del mercado central de abastos de Piura.

Determinando que los metales pesados estudiados (As, Cd, Cr, Zn y Pb) no superaban los LMPs, pero eso no quiere decir que su concentración no produzca impactos negativos para los humanos que los ingieren.

Maskana (2011) Determinó las concentraciones de metales pesados de suelos y partes de la planta (tallos, hoja y raíz) en humedales de arroz en la cuenca baja del Río Guayas (Ecuador) donde se evaluó las propiedades físicas y químicas del suelo de la capa o superficie terrestre, dando como resultado de los metales estudiados (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd y Hg) no presentaban altas concentraciones de metales, en cuanto al Plomo en suelos, se evidenció en promedios desde 6,55 hasta 8,87 mg/kg. Para el caso los niveles de Plomo en las raíces de plantas de arroz tuvieron valores bajos desde 3,30 hasta de 4,67 mg/kg y en los tallos comprende desde 2,01 a 2,69 mg/kg. Posteriormente para el caso de las hojas los valores medio varían desde 1,80 a 2,00 mg/kg, dando como conclusión que ninguno de los metales estudiados era tóxicos para el cultivo.

Argumedo et al. (2013) Realizó un estudio donde se determinó la presencia de Hg en habitantes del municipio de San Marcos (Departamento de Sucre, Colombia) debido al consumo de arroz (*Oryza sativa*) contaminado, presentando una metodología de análisis de cabello a los habitantes y muestras de arroz (en crudo) del área de estudio, así mismo se comprobó que el 5% de la población sobrepasó la cantidad de referencia de consumo de Hg que fue establecido por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de 0,1 mg/kg. Para el caso del arroz que se comercializaba en forma suelta dio una mínima concentración de Hg de 0,021 mg/kg, dando como determinación que la presencia de Hg en la población por el consumo de arroz del municipio presenta bajas concentraciones.

Argumedo et al. (2015) Realizó un estudio donde se evaluó las altas concentraciones de Hg en arroz (*Oryza sativa*) crudo y cocido del municipio de San Marcos– Sucre”, dando como resultado que para el arroz cocido se presentó en mínimas concentraciones de Hg lo cual podría deberse que la cocción de este cereal pueda generar menos toxicidad de este metal. Para las muestras de arroz en crudo y cocido presenta valores de (0,0035 y 0,0001 mg/kg) dando que las concentraciones del Hg no excede los LMPs por la FAO/OMS, que tiene 0,57 mg/kg de peso corporal/día.

Prieto et al. (2007) realizó un estudio en el Valle de Mezquital e identificó que desde hace 100 años ha existido riego directo de aguas residuales en esta zona, es por ello que se acumulado en la superficie terrestre una cantidad excesiva de metales pesados. Han existido estudios anteriores en el área y también reportan presencia de estos metales, específicamente de Cd, Ni y Pb; en plantas, suelo y agua. En este estudio se determinó que los suelos tienen alto contenido de metales pesados posteriormente provocan efectos negativos sobre el desarrollo de los cultivares que realizaban en dicha zona.

Delince (2015) hizo un estudio sobre los riesgos agroambientales que afectan los cultivos de arroz y de papa por la presencia de metales pesados en suelos en la Comunidad de Guines, Cuba, donde se evaluaron principalmente los elementos para el cultivo de papa el Ni, Cd y Pb, para el arroz el Cu, Zn y Pb. De acuerdo al estudio realizado se determinó que existe altas concentraciones para los órganos de la papa (hojas, tallos y tubérculos) en los tubérculos presentan altos contenidos de MTPs, para el Ni es 1,0, Cu de 6,6, Cd de 0,225 y para el Pb de 3 mg/kg. Así como en suelo después de la cosecha se destacó el excesivo abuso de agroquímicos los cuales contribuyen altas toxidades

de metales pesados en producción de dicha planta. Para el caso de arroz no se encontraron altas concentraciones de metales pesados.

Pomares et al. (1998) Realizó el estudio de la contaminación por metales pesados en suelos de cítricos con cultivos ecológicos de Valencia, España, básicamente estudió el Fe, Mn, Cu, Ni, Pb, Zn y Cr, donde se determinó que todos los elementos estudiados excepto el Cu no superaba los LMPs, sin embargo, el Cu era el único elemento que había superado los límites con valores medios de 38 mg/kg y 31 mg/kg, respectivamente.

Jiangie et al. (2008) Realizó un estudio donde se determinaron los altos niveles de metales pesados en el arroz (*Oryza Sativa L.*) a partir de una típica área de reciclaje de desechos electrónicos en el sureste de China y su potencial riesgo para la salud humana, determinando que los cultivos de arroz que están cerca al área de desechos electrónicos están contaminados con pequeñas partículas de metales pesados. Principalmente de Cd, seguido por el Cu y Hg. Los niveles de Ni, Pb y Cr superan los valores de estándar. Por otra parte recomienda que se hagan estudios continuos para evaluar la cantidad de metales pesados en el área, porque las personas de aquel sector se alimentan del cereal.

CAPÍTULO II

2. Bases teóricas científicas

2.1. Clasificación y descripción taxonómica del arroz.

a. Clasificación taxonómica:

Según lo citado por Zúñiga (2015), el cultivo de arroz se clasifica taxonómicamente en:

Reino	:	Plantae
División	:	Angiospermas
Clase	:	Monocotiledóneas
Orden	:	Poales
Familia	:	Poaceae
Tribu	:	Oryzeae
Género	:	Oryza
Especie	:	Oryza sativa L.

b. Descripción taxonómica del arroz.

Según lo citado por Zuñiga (2015), menciona que el arroz (*Oryza sativa* L.) es una especie anual que está acostumbrada a desarrollarse bajo condiciones semi-acuáticas y acuáticas, bajo un sistema radicular demasiado ramificado y muy visible. Los tallos son cilíndricos y huecos formados por varios nudos y entrenudos que se modifican en número y tamaño según los cultivos. Las hojas son largas, más o menos angostas, formadas por vaina, limbo y cuello, donde se insertan la lígula y las aurículas. La panoja es una inflorescencia, constituida por flores hermafroditas, unifloras, compuestas por seis estambres y un ovario bífido y plumoso que envuelve a un solo óvulo. El fruto es una

cariópside envuelta por 4 las glumas y la semilla propiamente dicha está constituida por el endospermo y el embrión.

2.2. Metales pesados

Se les consideran elementos muy importantes ya que presentan altas densidades muy similares (Duffus, 2002). Poseen un término muy discutido, por ambiguo, ha sido frecuentemente utilizado en diversas citas bibliográficas. Este nombre presenta relación de dañino o toxicidad, sin embargo, tiene un carente significado biológico al agrupar elementos con diferente conducta (Phipps, 1981).

Precisamente, lo fundamental de ciertos metales pesados es bien distinguido tanto para la flora (Cu, Fe, Mn, Zn), fauna (cobalto, cromo y níquel) y en humanos (Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, V, Co y Cr). Existen otros elementos como el Cadmio y Plomo no esenciales, que perjudica el desarrollo de las plantas. Además, los elementos esenciales en elevadas cantidades son peligrosos para los seres vivos (Peris, 2006).

Los metales pesados, tienen una densidad similar o superior a 5 g/cm^3 cuando se presenta de forma elemental, o el número atómico sea mayor a 20 (excepto a los alcalino y alcalino-térreos). Presenciando en la Tierra mayor al 0,1 % y en algunas oportunidades por debajo del 0,01 %.

También encontramos algunos elementos en la cual se les considera metales livianos o no metales, que tienen una conducta y orígenes vinculados; en la cual suele el Arsénico, Boro, Bario y Selenio (Achiba et al., 2009).

2.3. Clases de metales

a. Natural:

La concentración natural se altera, por las actividades de las personas, es decir; por actividades de minería, actividades industriales, uso de pesticidas y plaguicidas, y el mal manejo de residuos (Peris, 2006)

En Europa, es difícil diferenciar un lugar que no ha sido afectado por metales pesados, debido a las industrias que han explotado de una manera indiscriminada la corteza terrestre desde ya hace varios años atrás. (Abanto, 2016). La presencia de metales pesados, de forma natural, en el medio ambiente (agua y tierra principalmente), está controlada por la naturaleza geoquímica del Horizonte D.

Diferentes tipos de rocas presentan distintos valores del contenido en elementos metálicos, siendo posible una adición de metales pesados al medio ambiente.

Además de la propia naturaleza de las rocas, los diferentes factores físicos, químicos y biológicos que actúan en el ciclo exógeno y condicionan la intensidad y desarrollo de las dispersiones geoquímicas secundarias.

En los suelos los más abundantes tenemos al Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1, 1500 ppm, el Mn podría alcanzar hasta 10 000 ppm). En bajas concentraciones se les encuentra al Co, Cu y (0,1 – 250 ppm) y en mínimas cantidades el Cd y Hg (0,01 – 2 ppm). (Loredo, 2008).

b. Agrícolas:

Donde exista actividades agrícolas, el ingreso de los metales por el suelo se ocasiona mayormente, por los plaguicidas, estiércol, y además por la atmósfera (Cárdenas, 2012)

Según Calderón (2010), las principales fuentes más cercanas a la agricultura y los metales más comúnmente encontrados en ellas, son:

- Preservantes de madera (As, Cu, Cr)
- Aguas residuales en lodo (Cd, Ni, Cu, Pb, Zn y otros)
- Residuos sólidos que es compost (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)
- Pesticidas (Cu, AS, Hg, Pb, Mn, Zn)
- Impurezas debido a los fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn)
- Corrosión por objetos metálicos (Zn, Cd)
- Estiércol (Cu, As, Zn)

En la figura 1 se visualiza que la salud humana puede ser afectada negativamente debido a la contaminación de los suelos

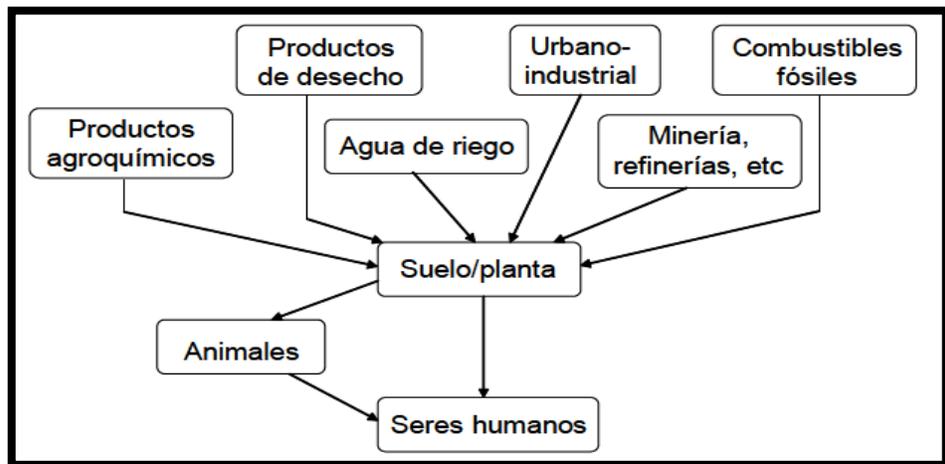


Figura 1 Origen de contaminantes

Fuente: Tiller (1989).

c. Otras formas:

Otras vías de metales pesados son las avenidas de ríos y quebradas en los períodos lluviosos, específicamente en el caso del río Tumbes, las avenidas traen una gran cantidad de sólidos suspendidos dentro de los cuales contienen altas concentraciones de metales pesados producto básicamente de la actividad minera en las partes altas de la cuenca.

2.4. Estudios de metales pesados en suelos agrícolas:

Estos estudios se clasifican fundamentalmente en:

a. Capacidad de metales pesados en suelos agrícolas

Según (Ross y Kaye, 1994). La retención completa de los metales brinda una investigación no adecuada sobre el riesgo de la contaminación por metales pesados. Por ello, es indispensable tener conocimiento las estructuras que posee cada elemento ya que son fitodisponibles.

(Rauret, 1998). Menciona que las fracciones de los elementos se han formado para acertar con ciertas extracciones que generan distintas sustancias químicas que pueden destacar agentes quelantes, como el ácido etileno diamino tetracético (EDTA) o soluciones salinas, como el cloruro cálcico (CaCl_2) o el ácido dietilentriamino pentaacético (DTPA),

Jackson (1991). La conducta de las plantas inferiores presentes en los metales no es igual. En algunas especies puede intervenir las variedades para lograr absorber los elementos, acumularlos y soportarlos.

Las plantas se dividen en: excluyentes, indicadoras y acumuladoras, debido al comportamiento que presente frente a la existencia de los metales que hay en nuestro alrededor (Kaye, 1994). Las excluyentes pueden prevenir el ingreso o la translocación de metales tóxicos. Gracias a esto les facilita sobrevivir en ambientes de manifestación con metales (Poschenrieder, 1992).

b. Evaluación de la contaminación del suelo por metales pesados

Wolynetz (1980). El enorme malestar de la contaminación del suelo y su repercusión en el aumento de los ecosistemas ha conducido a distintos científicos, a intentar averiguar fundamentalmente cuales son los límites de fondo en distintas partes del mundo. Dicha investigación se da principalmente por saber la naturalidad de las concentraciones de los

metales pesados en la superficie terrestre, y así conocer los posibles avances que la humanidad ha generado para seguir contaminando.

Tiller (1989). El procedimiento de estimación de las fuentes contaminadas por presencia de los metales en los suelos se definirá por las concentraciones totales y examinar el resultado con los límites de fondo establecidos en el área de estudio.

2.5. Dinámica de los metales en el ambiente.

2.5.1. Factores internos:

Según Predesur (2003). el estado químico en el que aparecen los metales juega un rol fundamental para la movilidad como para la toxicidad de este. La forma elemental de los metales es bastante permanente en la mayoría de los medios naturales, por lo tanto son de limitada movilidad.

La forma iónica de los metales es muy soluble en agua, por lo tanto tendrá una movilidad alta en cuerpos de agua, escorrentías, etc. Los complejos órgano–metálicos, están formados con enormes moléculas orgánicas que rodean al ion metálico, presentan una superficie menos polar que la solución que las rodea, y pueden impedir otras reacciones con el ion.

2.5.2. Factores externos:

Ross (1994). Menciona que las propiedades físicas y químicas del suelo que intervienen en toda transformación, reacción y movilidad de los dichos metales son debidas principalmente a la materia orgánica, pH, potencial redox, carbonatos y esencialmente por los óxidos de Fe y Mn, y por la textura del suelo.

El óxido reducción (Eh) tiene la responsabilidad que el metal se puede encontrar en estado oxidado o reducido. El Eh determina una transformación directa en la valencia para algunos metales, como ejemplo, en condiciones reductoras el Fe^{3+} se transforma en Fe^{2+} así como el Cr^{6+} pasa a Cr^{+3} (Saavedra 2002).

El contenido de materia orgánica del suelo es otro de los componentes que afectan la movilidad de los metales, dado que entre los dos tienden a formar complejos, lo cual aumenta su solubilidad y puede potenciar su toxicidad. Alloway (1995) afirma que algunos cationes metálicos por absorción dan especies complejadas llamadas quelatos los cuales no son disponibles para las plantas. Aquellos suelos que tengan la capacidad de retener metales divalentes son elementos que presentan alto contenido de hierro y, sobre todo el Cobre, Plomo, y en baja retención tenemos al Cromo, Cobalto, Zinc, Molibdeno y Níquel.

Se dice también las altas concentraciones de salinidad en suelos pueden facilitar aún más la movilidad de los metales, primeramente los cationes asociados con las sales (Na^{+1} , K^{+1}) se pueden reemplazarlos a metales pesados en lugares de adsorción; en segundo lugar los aniones cloruro suelen formar más estabilidad de complejos solubles con metales pesados como Cadmio, Zinc y Mercurio. (Saavedra, 2002). Otro punto importante cuando los carbonatos se encuentren disponibles puede garantizar el mantenimiento de los altos valores de pH, de los que presencia los metales pesados. El Cadmio, y otros metales, presenta una gran tendencia a quedar adsorbido por los carbonatos (Saavedra, 2002).

2.5.3. Influencia en la movilidad de los metales a través de los fenómenos físico-químicos y biológicos a partir del suelo:

La interacción de factores intrínsecos y extrínsecos explicados anteriormente traen consigo el desencadenamiento de una serie de fenómenos de índole química, física y biológica tales como: Adsorción, complejación, oxido-reducción, precipitación, solubilización, infiltración, volatilización, etc.

2.6. Metales pesados en relación ambiente – planta.

La raíz presenta una capa superficial llamada rizófora la cual esto permite a que la planta se comunique con el suelo por este medio, ya

que es una parte muy activa. A través de esta capa la planta puede absorber todos los nutrientes y a la vez los contaminantes que se encuentran disponibles en la solución del suelo. La planta específicamente no se comunica por el suelo sino también se relaciona con la atmósfera a través de las hojas, exactamente por los estomas, en la cual se realizan un intercambio tanto de la planta hacia la atmósfera y de la atmósfera hacia la planta (Alloway, 1995).

La primera capa del suelo, la capa arable o horizonte A es de gran interés en el caso del estudio de la relación suelo-planta, debido a que es en esta capa donde se encuentra la mayor proporción activa de la raíz de las plantas (Pomares et al., 1998).

Alloway (1995) menciona que los coeficientes de transferencia de los metales contenidos del suelo hacia la planta son muy variados siendo altos en el caso del cadmio (1 a 10 suelo-planta) y muy bajo en el caso del mercurio, plomo, cromo y arsénico (0,01 a 0,1 para los tres casos).

2.7. Adsorción y translocación de metales pesados en las plantas.

Lasat (2000). Las plantas han generado grandes mecanismos específicamente para lograr adsorber, translocar y acumular nutrientes. El primer logro para la entrada de los metales pesados a la cadena alimenticia de las plantas es a través de la absorción la cual su acumulación depende por:

- Los movimientos de los metales por la solución suelo a raíz.
- Entrada de los metales a través por las membranas de las células corticales de la raíz.
- El transporte de los metales a partir de las células corticales al xilema en donde la solución con metales se transporta fácilmente de la raíz a los tallos.
- La gran movilización de los metales a partir de las hojas hacia los tejidos de acumulación usados como alimentos comestibles (semillas, tubérculos y frutos).

Pendias (2000). Menciona que otra posible ingreso de las sustancias altamente toxicas a las plantas, como los metales pesados, se debe a la absorción foliar. La presencia a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un efecto significativo en la contaminación de las plantas y además puede generar particularmente interés en la aplicación de los fertilizantes foliares que se realiza.

2.8. El Agua Residual y la Agricultura

Menciona que el agua residual es generalmente producido por todas las actividades industriales, domésticas y agrícolas que producimos día a día en nuestro país, la cual han ocasionado grandes consecuencias sobre nuestro medio ambiente ya que a través de las aguas residuales se generan sustancias altamente tóxicas las cuales ocasionan impactos negativos tanto para la fauna como para la flora (Mendoza, 1981).

Cabe resaltar que es un medio de distribución de todo elementos patógenos y organismos que ocasiona la eutrofización de ríos y lagos, incorporando sustancias no deseables a las aguas subterráneas y en las actividades agropecuarias, generando así la contaminación a las plantas y animales a través de distintos caminos para el ingreso a la cadena alimenticia por lo cual, repercuten en el hombre (Cifuentes *et al.*, 1993).

CAPÍTULO III

3.1. Materiales, Equipos, Software y Métodos

3.1.1. Equipos

- Equipo de absorción atómica.
ICP- EOS (VARIAN 720-ES)
ICP-MS (AGILENT 7900)
- Navegador GPS
Marca: Garmin Etrex 20
- Laptop
Marca: HP

3.1.2. Material Auxiliar

- Bolsa de polietileno
Especificaciones: Polietileno de baja densidad
0,25 y 1 kg de capacidad.
- Botellas plásticas de polietileno
Especificaciones: Polietilenos de alta densidad - 250 de
Capacidad.
- Mortero
Especificaciones: Porcelana con vástago
- Plumones marcadores.

3.1.3. Paquetes informáticos

- ArcGIS Version 10.2
- Google earth.
- Surfer Version: 8.0.

3.2. Area de Estudio

3.2.1. Características Generales.

Tumbes tiene una superficie de 4669.20 km² y una población de 240 590 habitantes, en la cual está dividida en tres provincias y 13 distritos

Tumbes limita por el norte con Ecuador y el Océano Pacífico, por el este con Ecuador, por el sur con Piura y Ecuador y por el oeste con el océano Pacífico.

En la ciudad de Tumbes comprende la costera y los cerros de Amotape los cuales se les denomina el bosque seco, además los manglares y bosques tropicales las consideran como zonas turísticas y áreas naturales protegidas las cuales les dan un alto nivel de atracción para los turistas.

a) Geografía

Se dice que existe un gran extenso y lluvioso bosque tropical, que en tiempos atrás se extendió hasta Lambayeque. Este sitio se determina por tener temperaturas muy altas y una gran humedad alta durante todo el tiempo.

b) Clima

Presenta un clima cálido, húmedo tropical y semi seco tropical, con una temperatura media de 25,3 °C. La temperatura máxima en verano es de 40 °C en (mayor a ésta si el evento El Niño está presente) y menor de 18 °C. La temperatura en vez en cuando baja durante el día de los 26 °C. En los meses de primavera y otoño la temperatura va desde los 30 °C y 21 °C.

c) Relieve

El relieve es predominantemente llano, conectado por ríos y quebradas, pero hacia el sur existen colinas de baja altitud, que determinan las

elevaciones de los cerros de Amotape, al sudeste. En se encuentra la zona más alta de la ciudad, el cerro El Barco, a 1 530msnm.

Se dice que el fondo submarino del río no es tan profundo lo cual presentan estancos de arenas muy pequeños cuando la marea empieza a bajar.

d) Hidrografía

En este sistema se encuentra el río Tumbes y de Zarumilla:

El río Zarumilla está al límite fronterizo con la República del Ecuador la gran parte de su trayecto, por tal motivo este lleva agua en los meses de verano.

Por el contrario, el río Tumbes fluye durante todo el año y da altas crecidas en los meses de verano. Nace en la sierra del Ecuador, pasa por el departamento formando un fértil valle y desemboca en un exuberante delta formado por canales y esteros. MINAM (2009).

e) Geología

La variedad de suelos en Tumbes está agrupada por el tipo de roca madre, clima, vegetación, topografía, etc., diferenciando distintas clases: ardisóles desérticos con bajos contenido de humus en las áreas desérticas; lluvia aluviales, fértiles los cuales se les considera un suelo muy importante para las actividades agrícolas que se realizan en nuestra región. En el sector de bosques subtropicales los suelos presentan alto contenido de arcilla, de coloración rojiza. (INADUR – CEREN – PNUD – 2000).

f) Uso de suelo

El valle del río Tumbes tiene 8150,10 ha, que son declaradas al año para la siembra de cultivos; destacando como cultivos existentes el arroz con 6367,49 ha (78,13 %), el plátano IC2 con 905,97 ha (11,12

%), el plátano dominico con 431,77 ha (5,30 %) y la soya nacional con 93,12 ha (1,14 %).

Existen áreas de menor extensión donde se cultivan el tamarindo, caña brava, camote morado y soya, entre otros.

Por otro lado, en el valle existen tres tipos de cultivos: los permanentes como los frutales, dentro de ellos el limón, el mango, la naranja, el tamarindo, la toronja entre otros, los permanentes como el plátano de seda y el dominico y los cultivos transitorios como maíz amarillo duro, frijol caupi, yuca, pimiento, páprika y sandia entre otros.

**Cuadro N° 1 Principales cultivos del valle Tumbes
áreas y porcentajes – campaña agrícola 2005 - 2006**

N°	Cultivo	ha	%
1	Arroz NIR	6367,49	78,13
2	Plátano IC2	905,97	11,12
3	Plátano dominico	431,77	5,30
4	Soya nacional	93,12	1,14
5	Plátano Montecristo	80,39	0,99
6	Limón sutil	79,17	0,97
7	Pasto elefante	43,98	0,54
8	Maíz híbrido amarillo	41,53	0,51
9	Fríjol castilla	37,35	0,46
10	Cacao	16,88	0,21
11	Papaya	10,81	0,13
12	Sandía	6,60	0,08
13	Maracuyá	6,00	0,07
14	Yuca	5,23	0,06
15	Hortalizas	5,17	0,06
16	Mango	4,25	0,05
17	Noni	4,00	0,05
18	Ají panca	3,25	0,04
19	Naranjo	2,50	0,03
20	Plátano lacatan	2,14	0,03
21	Soya júpiter	1,00	0,01
22	Camote morado	0,75	0,01
23	Tamarindo	0,75	0,01
TOTAL		8150,10	100,00

Fuente: ATDR Tumbes - campaña 2005-2006

g) Flora y fauna

La flora del departamento de Tumbes presenta una gran variedad de vegetación que llega a alcanzar las tres provincias del departamento, se pueden visualizar 15 especies de árboles tales como: Guayacán, Palo de Vaca, Laurel, Bálsamo, Guachapelí, madera negra, oreja de León, etc. Dentro de la Fauna se pueden encontrar especies de caza como: venados, ardillas, tigrillos, monos, patos, perdices, pavos silvestres, golondrinas, loros, zorros, huanchacos, sajinos, culebras, iguanas, lagartos, lagartijas, etc. (SNLMT plan maestro 2007-2011)

3.3. Tipo de estudio y diseño de investigación

El presente estudio es de tipo aplicativo descriptivo y de Diseño Experimental.

Cabe resaltar que el diseño de muestreo es crítico, si es que no se adopta las medidas adecuadas pueden generar errores del mismo orden de magnitud en la realización de los análisis en el laboratorio o incluso superiores. Es por ello que los parámetros que se deben tomar en cuenta a la hora de diseñar un muestreo es el: tipo de muestreo, el número de muestras, cuándo y cómo se van a tomar las muestras (Wagner *et al.*, 2001).

El método aplicado en el presente estudio es muestreo sistemático estratificado. La información de campo se obtendrá a partir de un área de 2 000 hectáreas; y sub divididas en 30 puntos de muestreo cada una, el estudio se realizará solo de la margen izquierda del Río Tumbes donde existan cultivos de arroz (*Oryza sativa L.*).

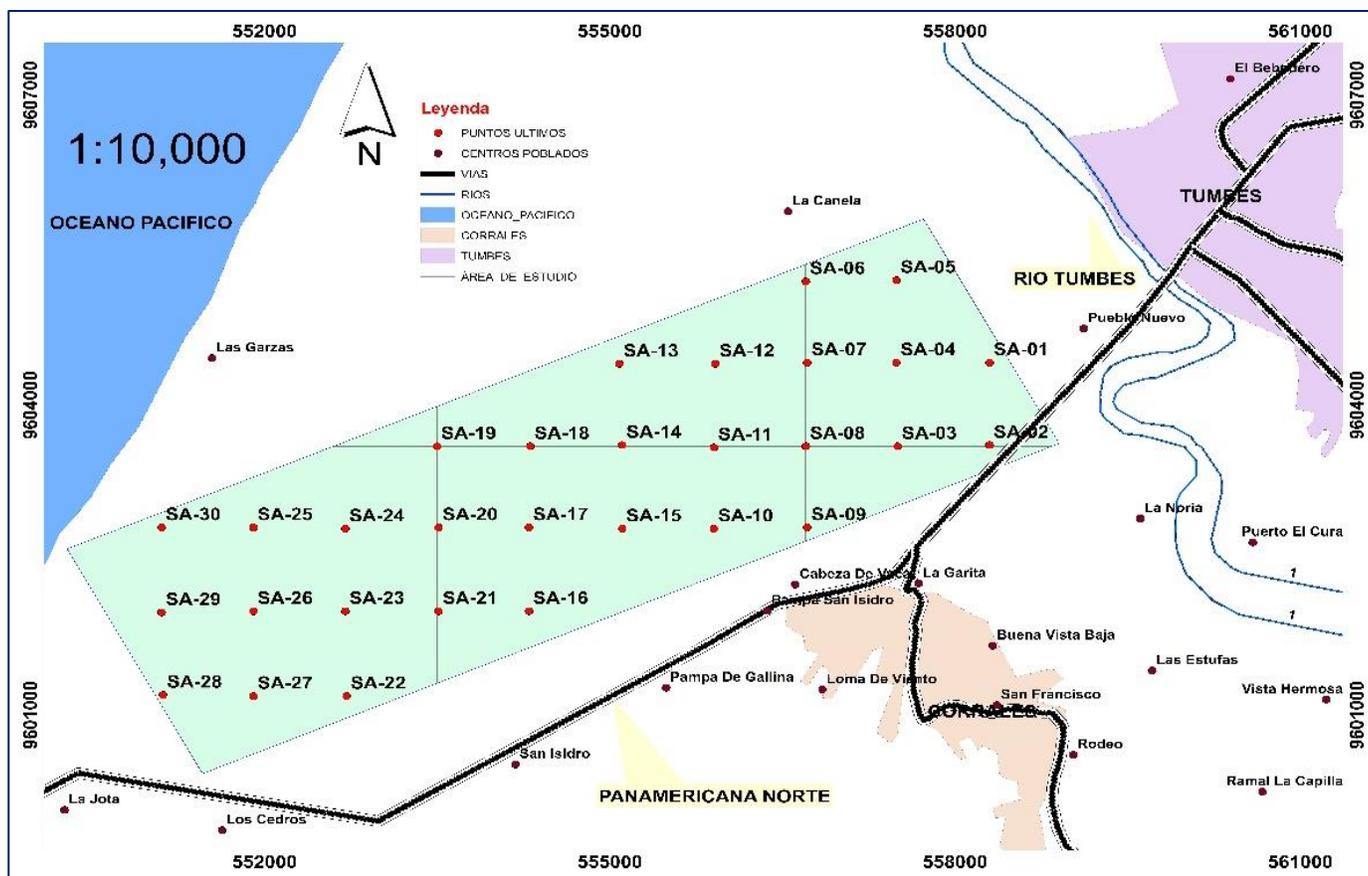


Figura 2: mapa de muestreo sistemático y estratificado

Fuente. Elaboración propia

3.3.1. Definición del área de estudio.

El área de estudio definida es de 2 000 hectáreas, ubicada en la margen izquierda del río Tumbes, donde se desarrolla de manera intensiva el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*)

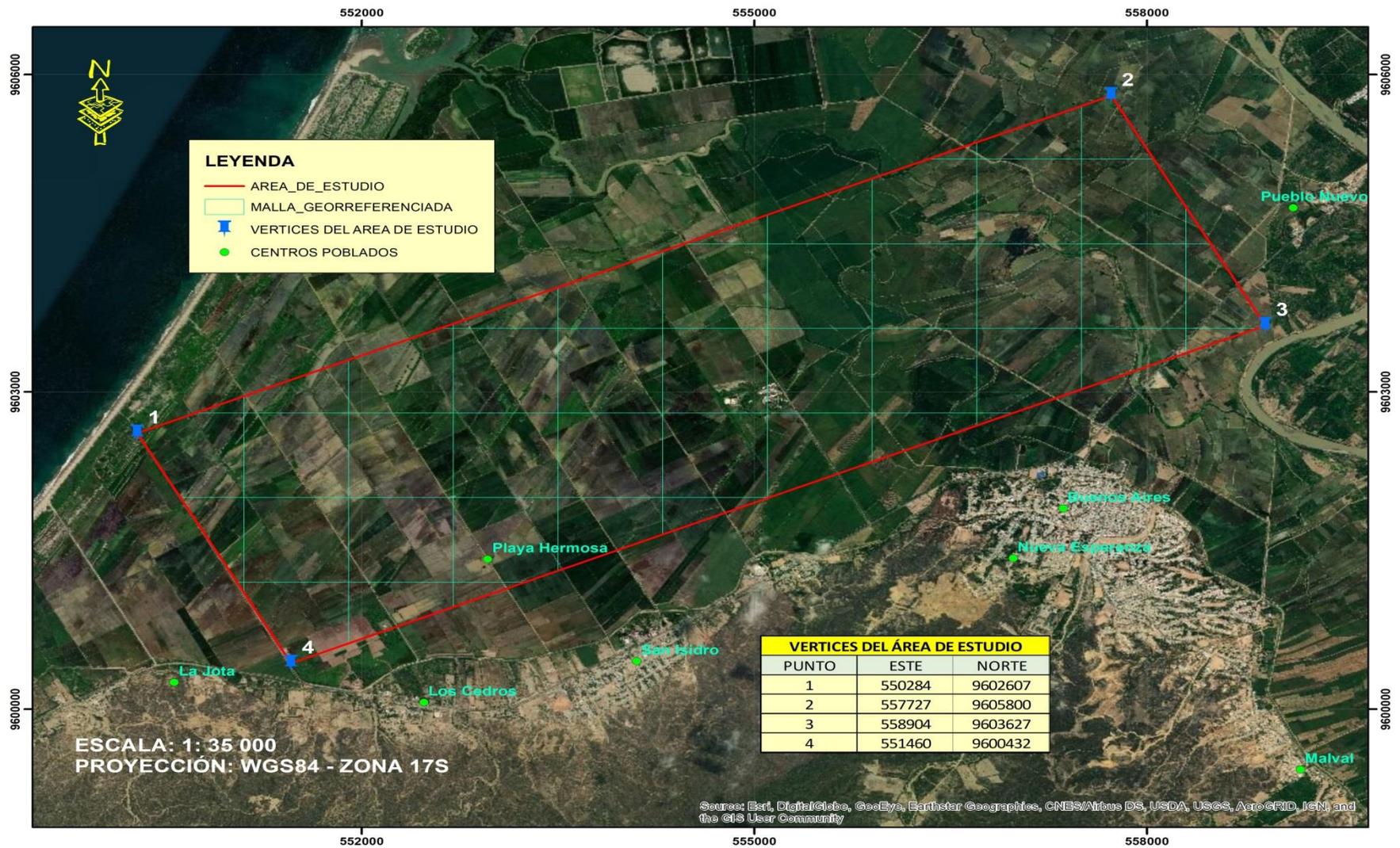


Figura 3: Mapa del área de estudio de Google Earth.

3.3.2. Muestreo de suelos agrícolas, suelo testigo y lodos de drenaje.

Se realizó un muestreo geo-referenciado y sistemático (Rei 2000) de los suelos agrícolas (utilizando un navegador GPS y el software ArcGIS 10.2). Se definieron 30 puntos de muestreo de suelos agrícolas dentro de un área de 2 000 hectáreas, respondiendo a una malla georreferenciada equidistantes dentro del área de estudio.

Para la recolección de suelo agrícola se hicieron calicatas de una profundidad de 0,20m. Se recolectó 1kg de suelo agrícola, muestras de suelo testigo y lodos de drenaje. Las muestras se trasladaron en bolsas de polietileno codificadas, indicando: fecha, hora, nombre y codificación específica de la muestra.

Las muestras tomadas de suelos y lodo fueron colocadas en una estufa a temperatura de 80 °C por 24 horas. Luego de ser secadas, se molieron las muestras, utilizando un mortero de porcelana totalmente seco y previamente lavado con agua destilada. Posteriormente se tamizó con una malla de 150 µm (N°100). Finalmente se colocó 100 gr de cada muestra en bolsas herméticas con sello de seguridad Zip-plot y codificación para ser transportadas al lugar de análisis.

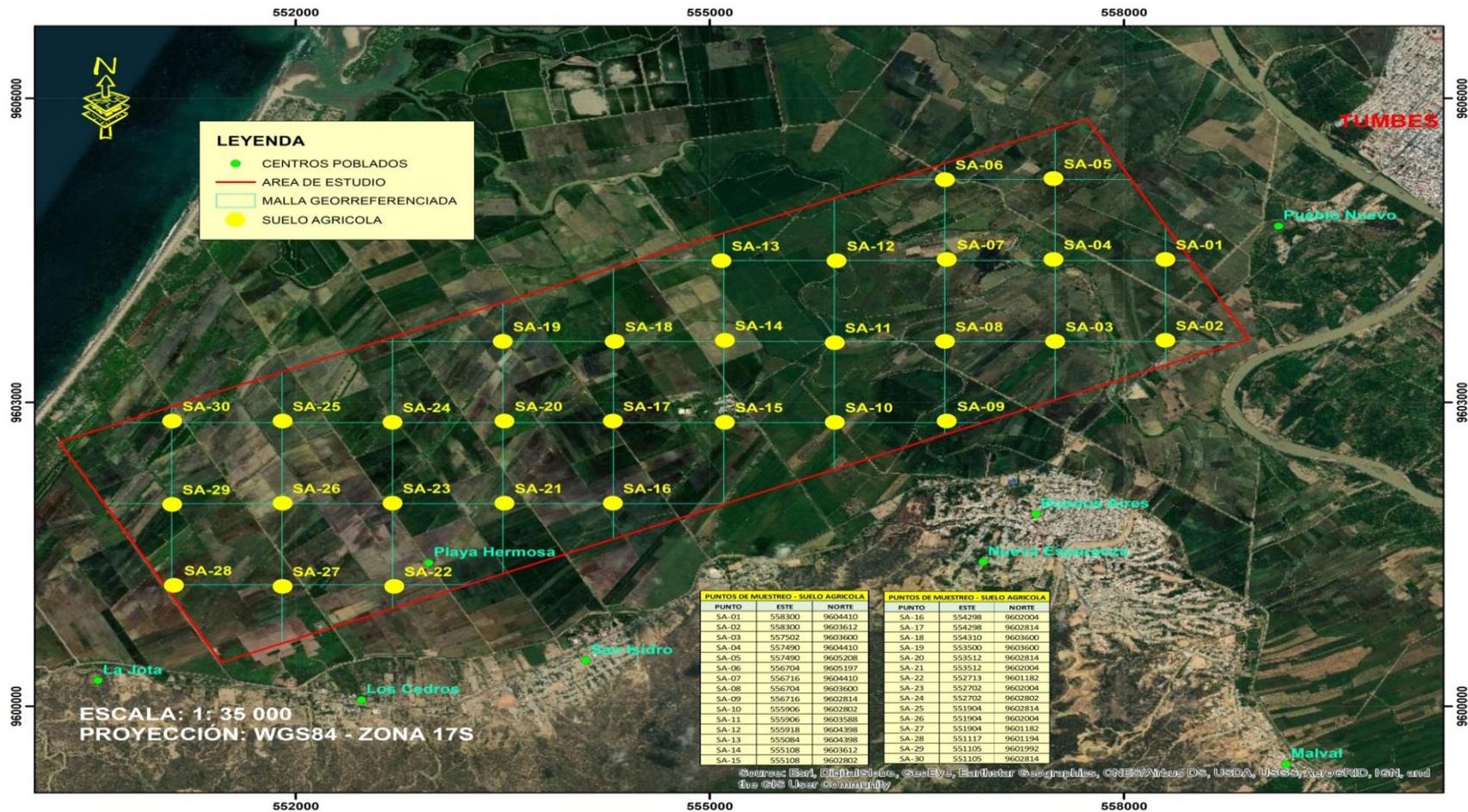


Figura 4: Ubicación de las muestras de suelo agrícola

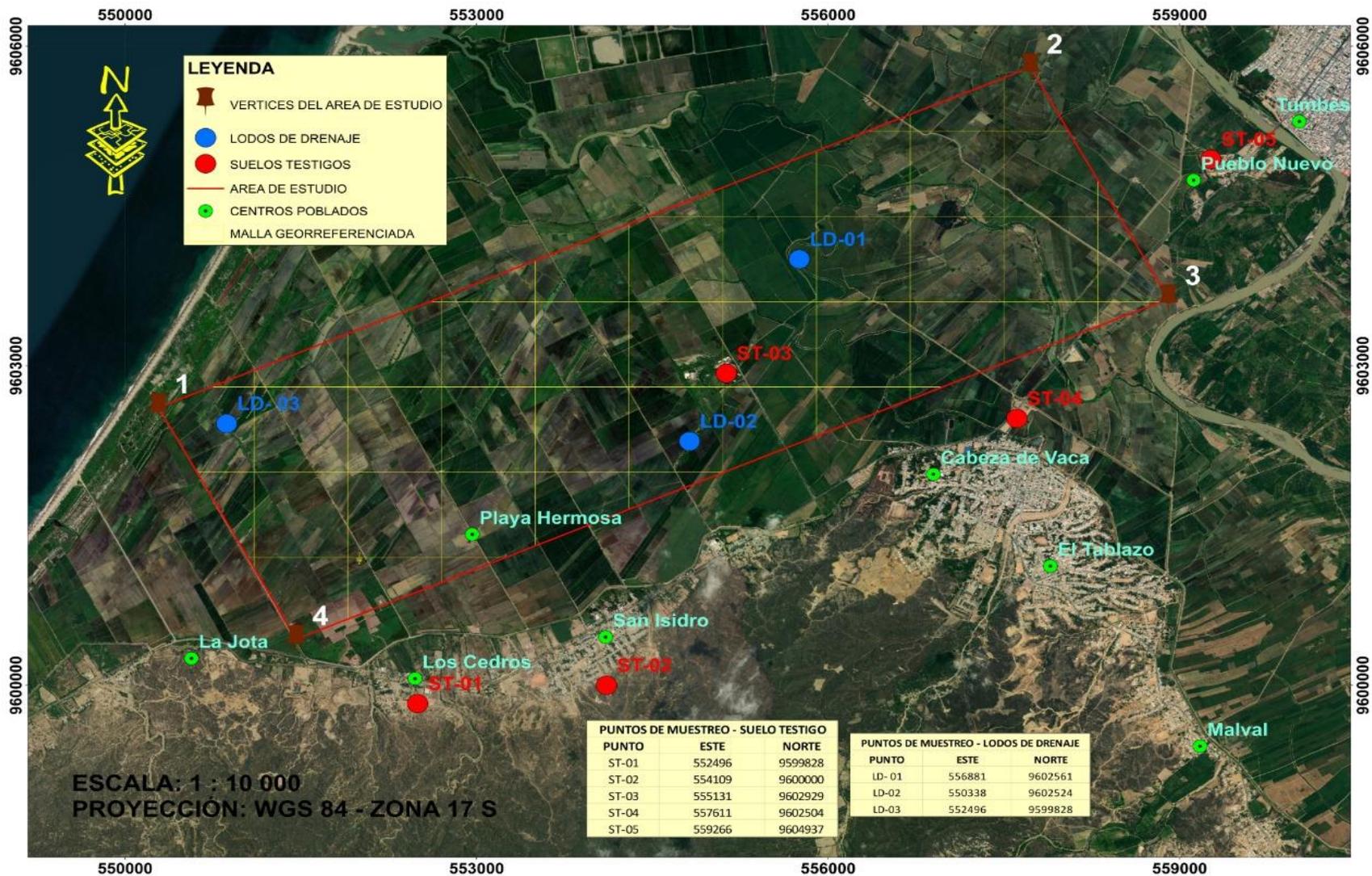


Figura 5: Ubicación de las muestras de suelo testigo y lodos de drenaje

3.3.3. Muestra de grano de arroz

Para el grano de arroz se extrajeron de diferentes puntos de la margen izquierda del Valle del Río Tumbes cerca al área de estudio, se colocaron dentro de una bolsa de polietileno aproximadamente 500 g de arroz en cáscara con su respectiva fecha y número de muestra.

Primeramente, para este procedimiento se aisló totalmente la parte comestible del arroz de forma manual. Después de ello se procedió a un secado a 80 °C por 24 horas. Luego se pulverizó el grano de arroz y se tamizó hasta obtener un tamaño de partícula menor de 0,25 mm.

El material pulverizado y homogenizado se guardó en bolsas de polipropileno las cuales fueron codificadas para su almacenamiento hasta su análisis.

En la figura N°6 se muestra los sitios donde se tomaron las muestras de grano de arroz. Estas fueron colectas directamente de los sitios de acopio durante la cosecha.

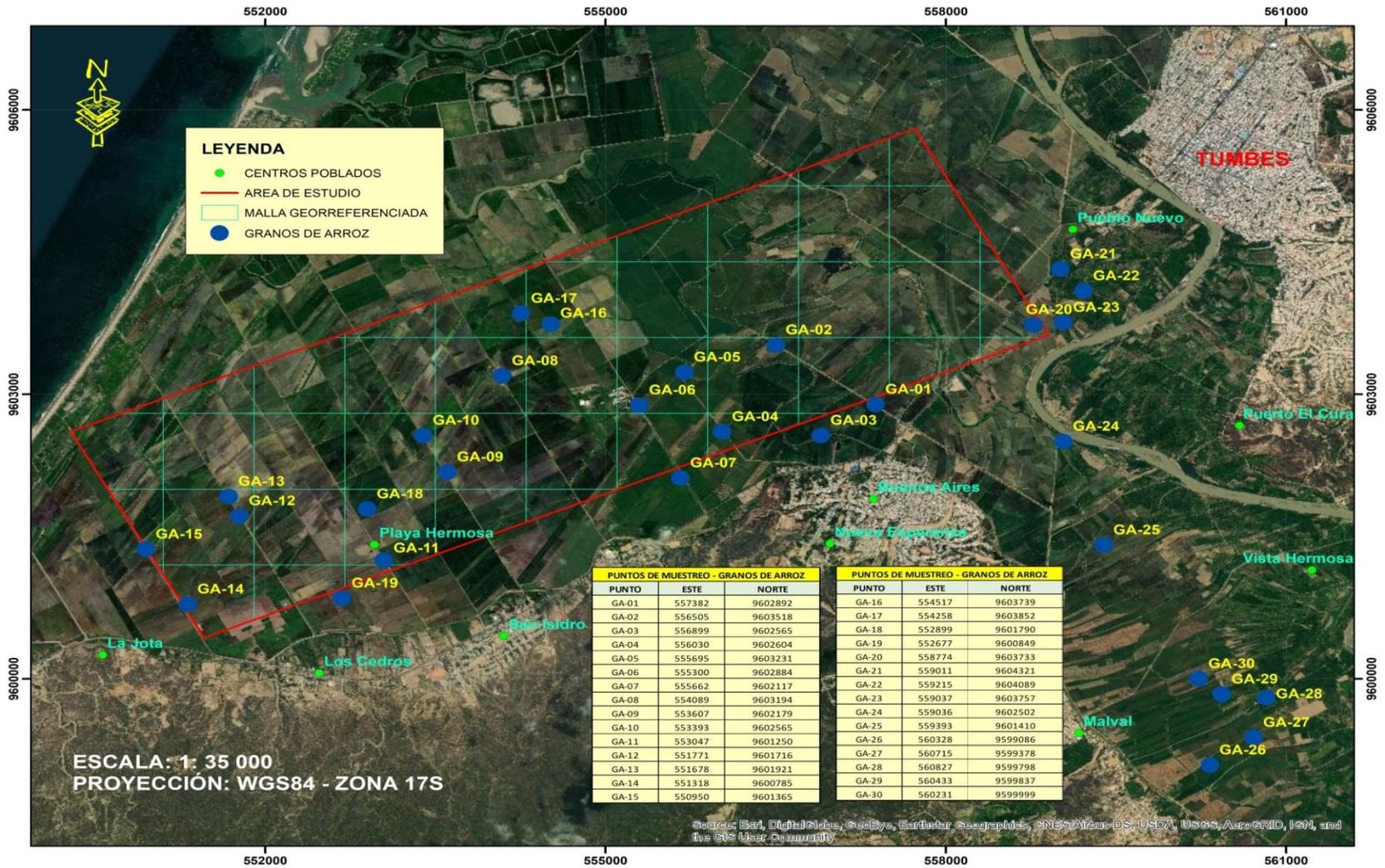


Figura 6: Ubicación de las muestras de grano de arroz

3.3.4. Muestra de agua de riego, drenaje y subterránea

Las muestras líquidas, se extrajeron con un vaso precipitado previamente lavado con agua destilada, después con ayuda de un embudo de vidrio y papel filtro (whatman N°41) se filtró 15 ml de agua. Estas fueron colocadas en tubos cónicos de centrifuga con tapa, de 15ml de capacidad. Se añadió 1 ml de ácido nítrico concentrado y selladas herméticamente con precinto de seguridad y su respectiva codificación.

Finalmente todo el material se colocó en una caja de cartón corrugado de doble canal adecuado para ser transportados para su respectivo análisis en la Universidad de Newcastle – Australia.

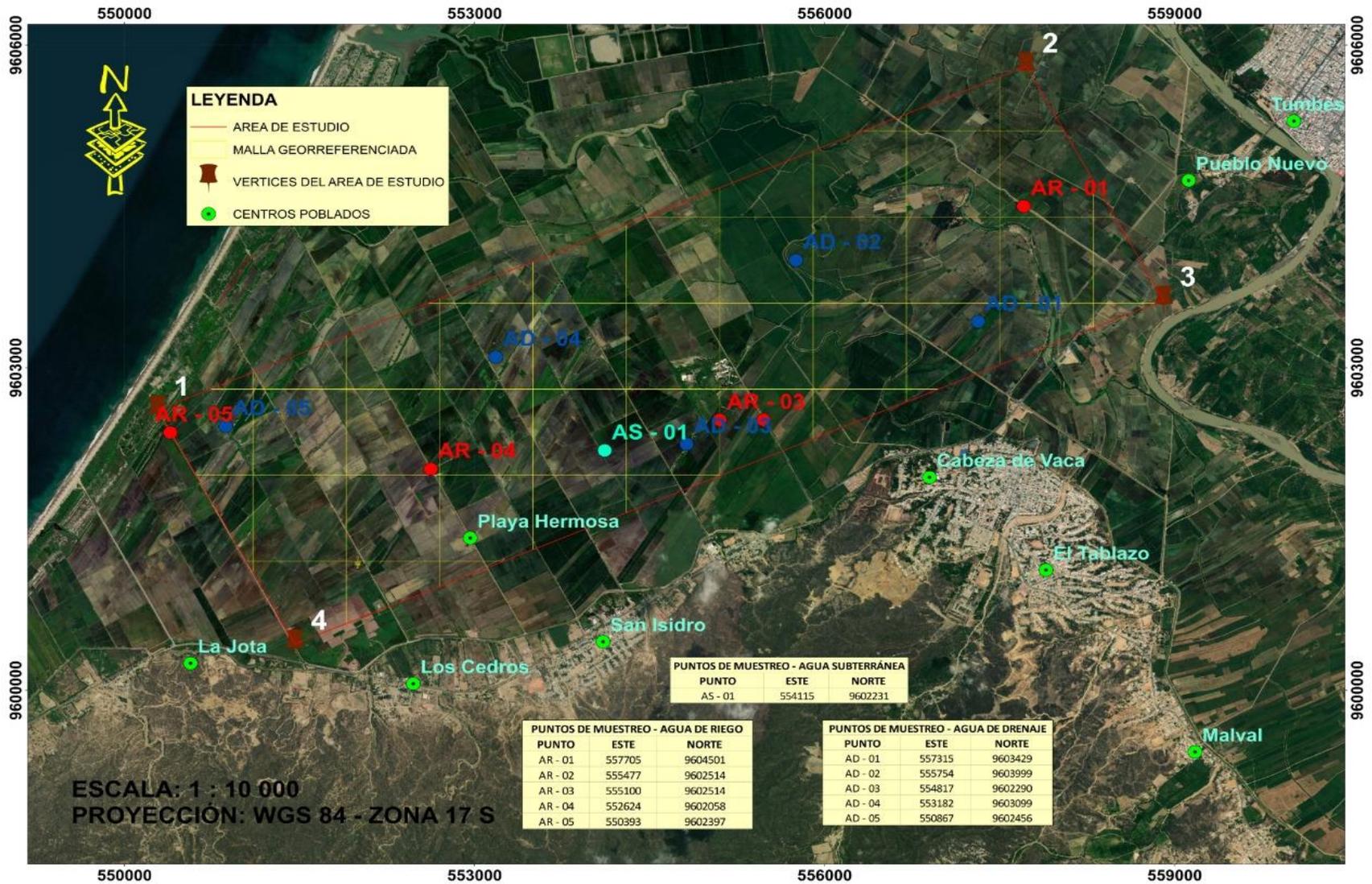


Figura7: Ubicación de las muestras de agua de riego, drenaje y subterránea.

En la siguiente Cuadro N° 2 se muestran el resumen de los tipos y número de muestras realizadas dentro del área de estudio. En el anexo N°1 se presenta el mapa de ubicación del área de estudio, con los puntos de muestreo de suelos agrícola y sus respectivas coordenadas UTM. Para el caso del grano de arroz, en el anexo dos se muestra el mapa de ubicación de los puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas UTM.

Cuadro N°2: Resumen de tipo y número de muestra

Muestra	Tipo de muestreo	Número de muestras
Suelo agrícola	Sistemático (muestra simple)	30
Suelo testigo	Dirigido (Muestras simple)	05
Grano de arroz	Completamente al azar (muestra compuesta)	30
Agua subterránea	Completamente al azar (muestra simple)	01
Agua de riego	Completamente al azar (muestra simple)	05
Agua de drenaje	Completamente al azar (muestra simple)	05
Lodos de drenaje	Completamente al azar (muestra simple)	03

Fuente: elaboración propia

Cada una de las muestras se marcó con plumón marcador, considerando las abreviaturas de cada tipo de muestras más el número de muestra (SA - 01) para así poder facilitar y diferenciar las mismas.

Cuadro N°3: Codificación de Muestras

Muestra	Abrev.	Números
Suelos agrícola	SA	01 - 30
Suelo testigo	ST	01 - 05
Grano de arroz	GA	01 - 30
Agua subterránea	AS	01
Agua de riego	AR	01 – 05
Agua de drenaje	AD	01 - 05
Lodos de drenaje	LD	01 - 03

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Análisis de metales pesados y otros

- a) En el siguiente cuadro se visualiza los métodos y unidades que se tomaron en cuenta para determinar los diversos parámetros a medir en las muestras de suelos, granos de arroz y agua.

Cuadro N°4: Resumen de los métodos y unidades de muestras

Parámetros	Método	Unidad
Concentración de metales pesados en suelos	ICP-MS (AGILENT 7900)	mg/kg
Textura	AS-09 (NOM – 021 – RECNAT – 2000)	%
pH	AS-02 (NOM-021-RECNAT-2000)	-
Conductividad eléctrica	Multiparametro - ISE.CE	µS/cm
Potencial oxido reducción	Multiparametro - ISE.CE	mV
Materia orgánica	Por calcinación	%
Concentración de metales pesados en grano de arroz	ICP –MS (AGILENT 7900)	mg/kg
Concentración de metales pesados en aguas	ICP – EOS (VARIAN 720 – ES)	mg/L

Fuente: elaboración propia

Para los análisis de metales pesados en las diversas muestras fueron enviadas a los laboratorios de la Universidad de Salford – Manchester – Reino Unido y Universidad de Newcastle en Australia. Para ello se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica. Para los metales en muestras de suelos y grano de arroz se utilizó ICP-MS y para los análisis de las muestras líquidas se utilizó ICP-EOS. Previo a los análisis de espectrofotometría, las muestras sólidas fueron tratadas con agua regia y tratadas en microondas. Las muestras líquidas fueron medidas directamente (sin dilución).

Para la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo se realizó en el laboratorio de forestal de la universidad nacional de tumbes

3.3.5.1. Procedimiento de análisis de textura:

Para el análisis textural se siguió el procedimiento del hidrómetro de Bouyoucus a través del método AS-09 (NOM – 021 – RECNAT – 2000), para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

- Pesar 50 g de textura fina de las muestras de suelo y transferirlo en un vaso precipitado.
- Adicionar 100ml de agua destilada y mezclar.
- Se agregó 10ml de agua oxigenada para eliminar la materia orgánica.
- Luego se colocó en un agitador magnético por 5 min.
- Después se introdujo la muestra en una probeta de 250ml y adicionar más agua destilada.
- Dejar la probeta en reposo en un lapso de 4 horas, para poder hacer las respectivas lecturas.

3.3.5.2. Procedimiento del pH.

Para la medición del pH se siguió el siguiente procedimiento:

- Pesar 5g de suelo agrícola y transferirlo en un vaso precipitado.

- Adicionar 50 ml de agua destilada al vaso donde contiene la muestra.
- Luego colocar en un agitador magnético por 30 minutos.
- Después se deja reposar durante 1 hora.
- Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladores, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
- Registrar el pH en el momento en que la lectura se haya estabilizado.

3.3.5.3. Procedimiento para conductividad eléctrica (CE) y potencial oxido reducción (Eh)

Para la medición de la CE y Eh se siguieron los siguientes pasos:

- Pesar 5 g de suelo y transferirlo en un vaso precipitado.
- Adicionar 50 ml de agua destilada al vaso donde contiene la muestra.
- Luego se colocó en un agitador magnético por 30 minutos.
- Después dejar reposar durante 1 hora.
- Calibrar el medidor de salinidad y potencial redox, enjuagar con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
- Registrar la salinidad y el potencial redox en el momento en que la lectura se haya estabilizado.

3.3.5.4. Procedimiento para la materia orgánica

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se realizó a través del método de calcinación, realizando los siguientes pasos:

- Pesar 5 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 0,5 mm y colocarlo en una placa Petri.
- Colocamos las muestras en una estufa a 100 C° por 24 horas.

- Transcurrido el tiempo trasferimos las muestras en un disecador.
- Seguidamente se pesaron solo los crisoles en una balanza analítica.
- Luego se pesó las muestras secas (peso después de la estufa) junto con los crisoles.
- Después de obtener el peso seco, fueron llevadas a la mufla durante 05 horas.
- Transcurrido el tiempo, se pesan los crisoles más la muestra (después de la calcinación).
- Obteniendo los datos se procede a calcular el porcentaje de la materia orgánica, con la siguiente formula

Fórmula para calcular la materia orgánica

$$\% MO = \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 - C} \right) \times 100$$

Dónde:

- **%MO**= Porcentaje de Materia Orgánica
- **P₁** = Suelo antes de la calcinación.
- **P₂** = Suelo después de la calcinación.
- **C** = Peso del crisol.

3.3.6. Procesamiento de datos.

De acuerdo a los datos obtenidos de los metales pesados para el caso de suelo agrícola, se construyeron curvas de iso-contenido utilizando el

programa Surfer versión 8.0. Para la construcción de estas curvas se utilizó el método de inter/extrapolación "*Kriging*". Estas curvas de iso-contenido permitirán conocer la tendencia (pluma de contaminación) de los diferentes elementos a nivel geográfico.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. Resultados

4.1. Suelos agrícolas:

En el Cuadro N°5 se muestran los resultados del contenido de metales pesados. En este caso se muestran los resultados de los 9 metales seleccionados para el estudio en base a su toxicidad (As, Co, Cr, Cu, Cd, Mn, Ni, Pb y Zn).

Cuadro N° 5: Resultados de los metales pesados en suelos agrícolas

Muestras	Elementos (mg/kg)								
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
SA – 01	7,45	168,66	4,32	3,58	13,53	39,12	4,68	0,91	25,32
SA – 02	7,96	128,74	4,26	3,8	15,59	41,15	5,7	0,98	30,26
SA – 03	6,98	188,84	4,41	3,38	13,65	38,84	5,54	0,84	23,22
SA – 04	7,46	241,98	4,95	3,45	16,83	45,1	8,49	0,85	32,02
SA – 05	7,36	163,6	4,35	3,49	13,64	38,38	4,94	0,58	23,67
SA – 06	7,27	234,87	4,66	3,41	19,62	47,1	9,07	1,02	42,41
SA – 07	7,23	180,42	4,8	3,44	15,15	49,83	6,55	0,69	24,48
SA – 08	7,25	240,73	4,44	3,4	15,1	45,64	6,59	0,92	28,08
SA – 09	7,61	158,64	4,42	3,1	18,43	44,63	9,7	0,84	41,27
SA – 10	7,03	136,61	4,33	2,97	22,48	54,45	9,1	0,98	43,91
SA – 11	7,46	128,15	3,95	2,98	16,84	42,25	7,09	0,69	32,28
SA – 12	7,01	321,56	4,92	3,06	10,9	34,4	5,1	0,68	16
SA – 13	7,28	263,48	4,96	3,27	14,42	39,75	6,89	0,63	26,83
SA – 14	7,35	168,93	4,52	3,29	12,28	36,06	4,85	0,59	18,34
SA – 15	6,28	278,44	3,39	2,32	17,22	42,02	6,88	0,89	39,47
SA – 16	5,89	114,48	2,84	1,67	34,7	47,41	12,09	1,19	73,29
SA – 17	5,94	12,9	3,42	1,96	28,29	53	10,04	1,29	74,86
SA – 18	7,33	169,11	4,77	3,18	12,46	37,09	5,87	0,27	21,28
SA – 19	4,01	71,96	2,16	1,21	4,73	15,78	3,3	0,4	9,91
SA – 20	5,41	134,33	3,19	1,92	22,14	41,6	5,34	1,11	49,6
SA – 21	5,18	159,59	3,73	2,02	25,07	52,01	12,23	1,15	57,04
SA – 22	456	76,92	3,27	1,84	10,04	28,63	4,6	0,67	19,93
SA – 23	5,98	180,23	3,89	2,27	40,25	73,04	19,56	1,65	100,98
SA – 24	4,2	101,62	2,35	1,24	17,6	29,49	8,86	0,74	44,26
SA – 25	5,22	96,69	2,98	2,1	10,56	26,36	5,16	0,58	23,84
SA – 26	5,2	174,5	3,71	2,13	9,16	28,65	5,12	0,52	18,57
SA – 27	4,45	190,71	4	2,02	8,96	27,11	5,05	0,51	13,07
SA – 28	5,57	92,31	3,37	2,07	17,12	38,75	11,32	0,81	45,75
SA – 29	5,04	74,18	2,94	2,01	8,78	24,22	3,3	0,57	16,27
SA – 30	6,75	210,45	4,16	2,48	82,92	137,91	45,88	3,06	212,4

Elaboración propia

De acuerdo con el contenido metálico en los suelos agrícolas el elemento de mayor abundancia es el Mn con niveles hasta 321,56 mg/kg en la muestra SA12 (ubicada a 2km de la panamericana norte). El Cr está presente en valores que van desde 4,01 mg/kg en la muestra SA19 (ubicada por el lateral c) hasta 7,96 mg/kg en la muestra SA02 (cerca de Pueblo Nuevo). Así mismo el Co presenta valores que van desde 2,16 mg/kg en la muestra SA19 hasta 4,96 mg/kg en SA13. Respecto a Ni, los valores de este elemento presenta rangos desde 1,21 mg/kg en la muestra SA19 hasta 3,80 mg/kg en SA02. Los niveles de Cu van desde 4,73 mg/kg hasta 82,92 mg/kg en la muestra SA30 (ubicada a 2,5 km de la panamericana norte). Los valores de Zn van desde 15,78 mg/kg en la muestra SA19 hasta el máximo de 137,91 mg/kg en el SA30. Otro elemento de gran toxicidad es el As que presenta valores desde 3,30 mg/kg en la muestra SA19 hasta 45,88 mg/kg presentados en el SA30. En los resultados de Cd muestra valores desde 0,27 mg/kg en el SA18 (cerca del local de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNTumbes – campo la Cruz) y nivel máximo de 3,06 mg/kg en la muestra SA30. Finalmente el Pb, considerado como uno de los metales de gran toxicidad presenta niveles que van desde los 9,91 mg/kg en la muestra SA19 hasta los 212,40 mg/kg que presenta la muestra SA30.

4.1.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo agrícola.

De acuerdo al siguiente gráfico se puede identificar los puntos de muestreo que pertenecen a cada clase textural y la clase que más predomina dentro del estudio es el franco limoso con el 37 %, y la que tiene menor porcentaje en clase textural es la arena y arcilla con 3% cada una.

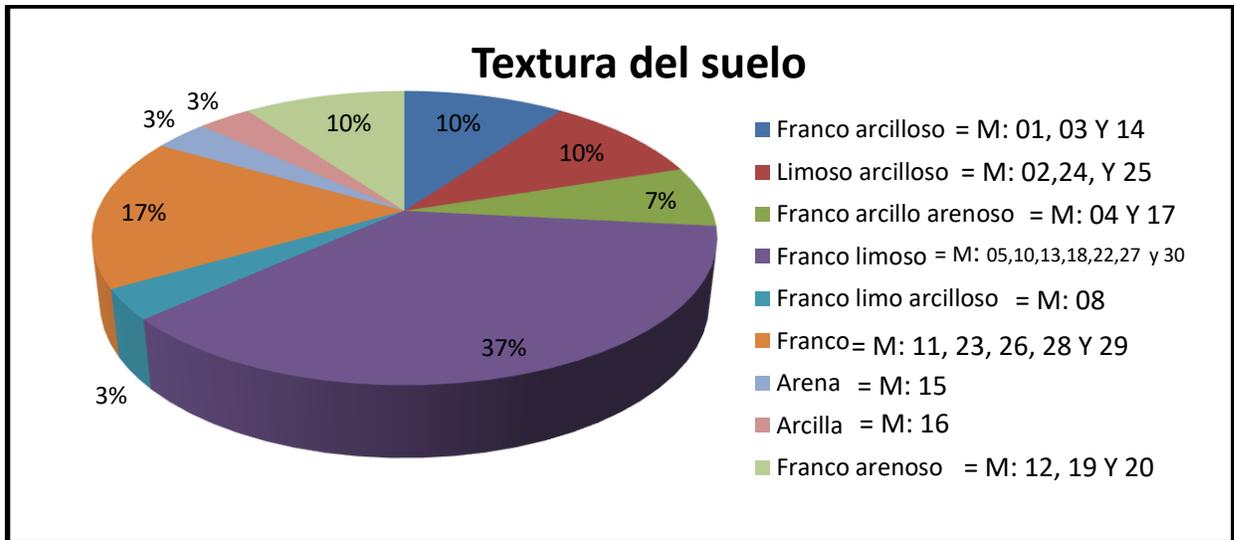


Grafico N°1: Porcentaje de la textura del suelo.

El siguiente gráfico N°2 se observa que las muestras SA02, SA04, SA06, SA18 y SA28 tienen valores de pH < de 8,5 encontrándose en el rango de suelos básicos. Estos valores de pH se deberían a la presencia de materiales carbonatos. Mientras que las muestras restantes se encuentran en el rango de suelos alcalinos >8,6.

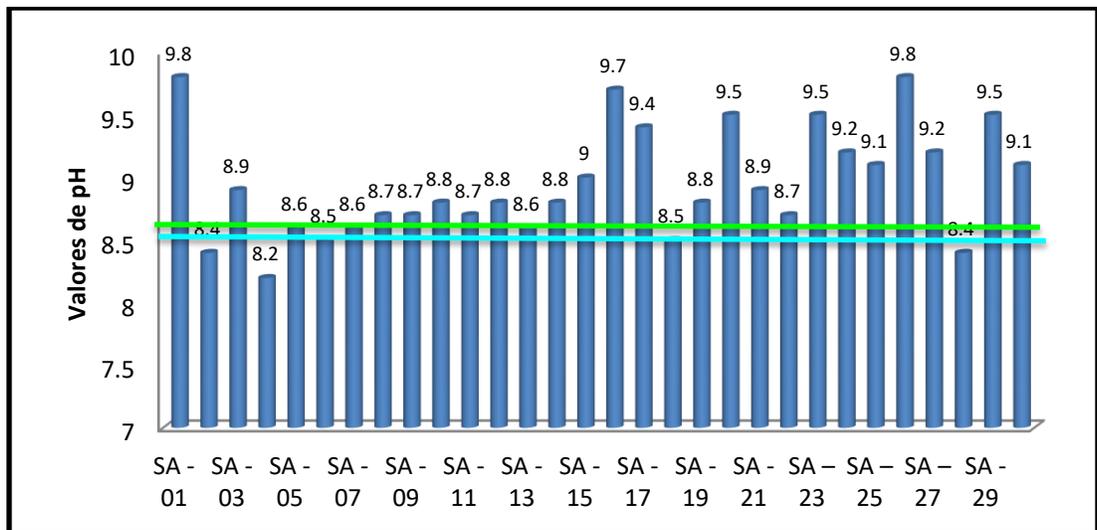


Grafico N° 2: pH para cada una de las muestras analizadas

La línea de color verde corresponde a suelos básicos (<8,5 pH) y la línea de color celeste corresponde a suelos alcalinos (>8,6 pH).

En el siguiente gráfico se puede apreciar que las muestras SA02, SA08, SA09 y SA19 muestran porcentajes de materia orgánica más elevados que del resto, Siendo la muestra SA19 la que contiene el mayor porcentaje con 80%. Se menciona que cuando el porcentaje de materia orgánica es muy alto se le considera apto para cultivos de regadío como el arroz según Marañés *et al.* (1994).

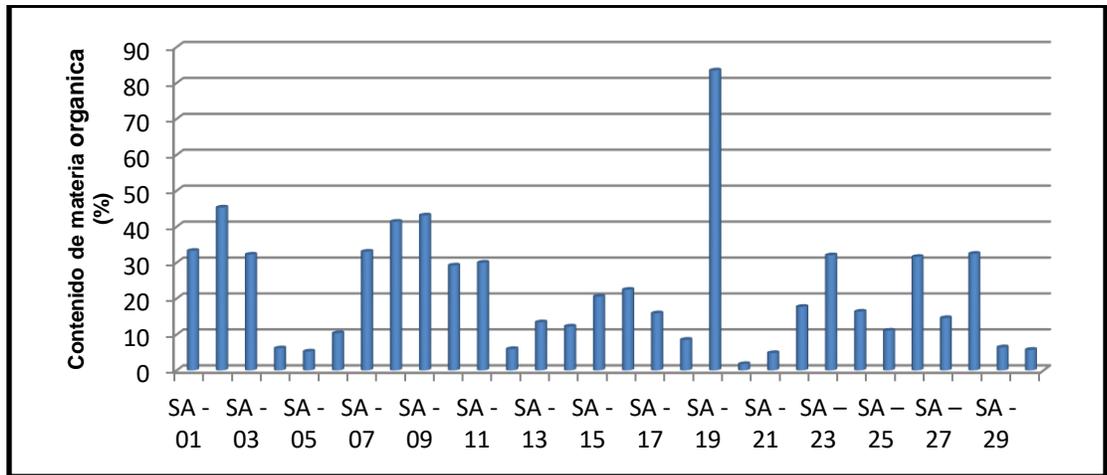


Gráfico N°3 Porcentaje de materia orgánica

La conductividad eléctrica (CE) se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$ que mide las concentraciones solubles de sales disponibles en el suelo. Mientras mayor sea la conductividad eléctrica mayor es el porcentaje de salinidad. La tolerancia para el cultivo de arroz a la salinidad en el porcentaje de rendimiento en base a la conductividad eléctrica es de 0 a $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ Mass y Hoffman (1977). Como se puede apreciar en el siguiente gráfico la muestra SA07 y SA27 tienen mayor nivel de conductividad eléctrica llegando hasta ($200 \mu\text{S}/\text{cm}$) que el resto de las muestras de SA.

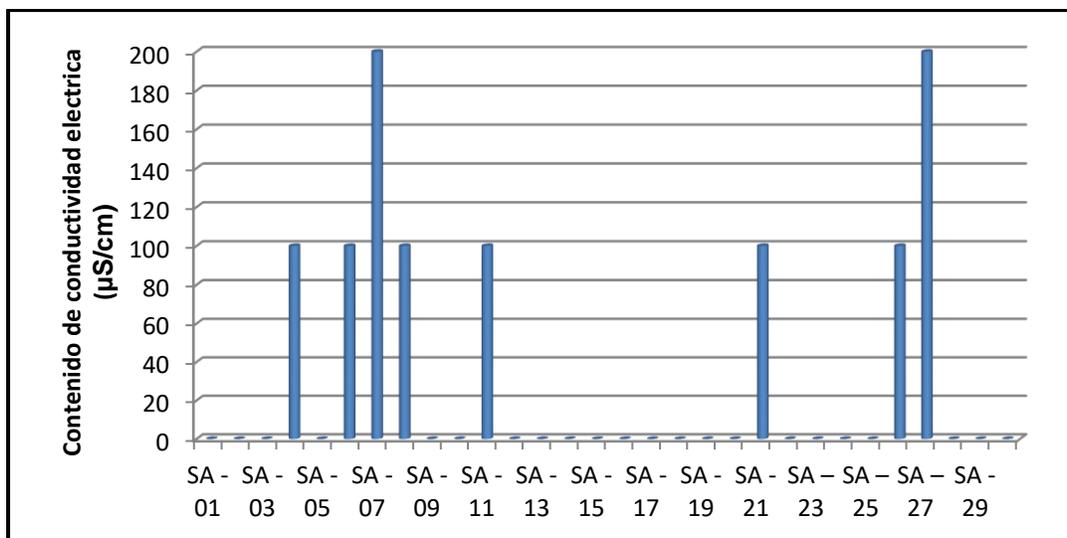


Gráfico N°4 conductividad eléctrica para cada una de las muestras analizadas

4.2. Suelos testigos

La muestra ST 01 (sin agricultura), que fue tomada en el centro poblado los Cedros, esta fue tomada fuera del área de estudio, presenta valores de los metales pesados analizados menores a los de suelos agrícolas. Lo mismo sucede con las muestras ST 02 (tomada en el centro poblado San Isidro), ST 03 (tomada en la FCA –UNTumbes–campus La Cruz). La muestra ST 04 (suelo sin agricultura tomada cerca de la carretera panamericano norte) y la muestra ST05 (tomada en el centro poblado de Pueblo Nuevo) muestran valores más cercanos a los suelos agrícolas, más en las muestras SA01 y SA04 que son las más cercanas a estos puntos.

Cuadro N° 6: Resultados del contenido metálico en suelo testigo

Muestras	Elementos (ppm)								
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
ST-01	4,6	165,67	3,55	2,15	6,83	28,55	4,88	0,27	9,04
ST-02	3,26	105,08	2,91	1,52	6,59	24,96	2,48	0,26	6,17
ST-03	3,08	65,51	1,35	0,32	3,69	11,4	2,04	0,64	8,75
ST-04	7,78	268,91	4,47	3,44	26,5	54,17	16,06	0,79	30,58
ST-05	7,18	257,27	4,85	4,03	17,28	47,41	5,01	0,91	21,07
Promedio	5,18	172,488	3,426	2,292	12,178	33,298	6,094	0,574	15,122

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Lodos de drenaje

Los niveles de Cr en las muestras de lodos de drenaje estuvieron entre 6,41 y 7,40 mg/kg, los de Mn entre 102,49 y 240,87 mg/kg, los de Co entre 3,09 y 4,53 mg/kg, los de Ni entre 1,89 a 3,05 mg/kg, los de Cu entre 10,66 y 78,38 mg/kg, los de Zn entre 28,97 y 168,56 mg/kg, los de As entre 4,01 y 31,43 mg/kg, los de Cd entre 0,51 y 2,80 mg/kg y los de Pb entre 18 y 123,76 mg/kg.

Los valores de metales para los lodos de drenaje analizados se muestran en el cuadro N°7.

Cuadro N° 7: Resultados del contenido metálico en lodos de drenaje.

Muestras	Elementos (mg/kg)								
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
LD- 01	7,4	173,2	4,36	3,05	78,38	168,56	31,43	2,8	123,76
LD-02	6,72	240,87	4,53	2,91	46,39	90,51	16,46	1,92	76,34
LD-03	6,41	102,49	3,09	1,89	10,66	28,97	4,01	0,51	18,78
Promedio	6,84	172,19	3,99	2,62	45,14	96,01	17,30	1,74	72,96

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Granos de arroz

En el siguiente cuadro se muestran los resultados del contenido de metales pesados de los grano de arroz (sin cascara). Para este caso se muestran los resultados de los 9 metales seleccionados para el estudio en base a su toxicidad (As, Co. Cr, Mn. Cu, Zn, Cd, Pb y Ni)

Cuadro N° 8: Resultados del contenido metálico de granos de arroz (GA).

Muestra	Elementos (mg/kg)								
	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	As	Cd	Pb	
GA-01	0,23	19,33	0,04	4,71	12,84	0,18	0,10	0,13	
GA-02	0,02	10,00	0,01	4,08	11,03	0,26	0,22	0,22	
GA-03	0,21	15,50	0,01	4,69	12,29	0,19	0,14	0,08	
GA-05	0,22	18,13	0,01	4,41	11,18	0,17	0,14	0,08	
GA-06	0,37	22,24	0,02	6,42	18,29	0,14	1,28	0,14	
GA-07	0,07	15,83	0,01	2,44	13,23	0,16	0,19	0,06	
GA-08	0,07	17,01	0,01	6,00	15,67	0,09	0,49	0,06	
GA-09	0,06	17,86	0,02	8,07	14,47	0,13	1,55	0,10	
GA-10	0,00	12,24	0,01	3,08	11,12	0,17	0,10	0,07	
GA-11	0,75	14,24	0,03	3,50	15,14	0,29	0,11	0,28	
GA-12	0,04	19,29	0,01	4,34	12,69	0,08	1,28	0,05	

GA-13	0,18	17,50	0,04	3,05	10,68	0,26	0,10	0,15
GA-14	0,09	13,19	0,01	2,51	11,00	0,24	0,08	0,06
GA-15	0,02	13,23	0,02	3,11	13,24	0,17	0,11	0,10
GA-16	0,05	19,34	0,01	3,79	12,14	0,14	0,19	0,04
GA-17	0,05	19,56	0,01	2,86	12,55	0,09	0,04	0,04
GA-18	0,01	11,53	0,01	4,38	13,79	0,09	0,15	0,07
GA-19	0,14	29,21	0,02	2,77	11,21	0,26	0,13	0,07
GA-20	0,05	26,50	0,01	3,84	11,80	0,12	0,72	0,04
GA-21	0,17	21,38	0,02	4,23	13,64	0,07	0,36	0,08
GA-22	0,19	18,38	0,02	3,07	11,88	0,16	0,28	0,06
GA-23	0,03	22,99	0,02	4,81	14,38	0,10	0,30	0,04
GA-24	0,12	31,15	0,02	4,38	11,65	0,17	0,26	0,05
GA-25	0,12	19,75	0,04	3,76	12,47	0,15	0,56	0,08
GA-26	0,41	28,04	0,02	2,31	10,94	0,35	0,06	0,10
GA-27	0,18	17,41	0,01	3,67	12,39	0,08	0,08	0,05
GA-28	0,33	23,07	0,01	3,63	10,88	0,25	0,07	0,05
GA-29	0,20	22,34	0,01	3,73	11,74	0,19	0,09	0,05
GA-30	0,22	29,67	0,01	4,69	19,98	0,12	0,31	0,10

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el contenido metálico de granos de arroz el elemento de mayor abundancia es el Mn con niveles de 19,33 mg/kg hasta 31,15 mg/kg en la muestra GA24. El Zn presenta valores desde 12,84 mg/kg en la muestra GA01 y hasta 19,98 mg/kg en la muestra GA30. Asimismo el Cu presenta valores de 4,71 mg/kg en la muestra GA01 hasta 8,07 mg/kg en la muestra GA09. Para el caso de los elementos de menor abundancia tenemos al Cd con valores de 0,04 mg/kg en la muestra GA17 hasta 1,55 mg/kg en la muestra GA09. El As con niveles de 0,18 mg/kg en la muestra GA01 hasta 0,35 mg/kg en la muestra GA26. Los valores de Cr van desde 0,02 mg/kg en la muestra GA15 hasta 0,75 mg/kg en la muestra GA11. El Pb presenta valores desde 0,13 mg/kg en la muestra GA01 hasta 0,28 kg/mg en la muestra GA11. Los valores de Co van desde 0,01mg/kg en la muestra GA02 hasta 0,04 mg/kg en la muestra GA25. Respecto al Ni presenta valores que se encuentran por debajo del límite de detección.

4.5. Agua de riego, subterránea y drenaje.

En las muestras de agua de riego y subterránea del presente estudio se encontraron resultados que están por encima de los valores máximos de acuerdo con la normatividad nacional e internacional.

En los siguientes cuadros se muestran los resultados del contenido de metales pesados. En este caso se muestran los resultados de los 9 metales seleccionados para el estudio en base a su toxicidad (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn).

Cuadro N°9 Resultados de los metales pesados en agua de riego

Muestras	Elementos mg/L								
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
AR - 01	0,021	0,049	DLD	0,016	DLD	0,056	DLD	0,030	0,037
AR - 02	0,029	0,019	DLD	0,014	DLD	0,019	DLD	0,014	0,026
AR - 03	0,011	0,019	DLD	0,014	DLD	0,020	DLD	0,061	0,027
AR - 04	0,009	0,014	DLD	0,014	DLD	0,034	DLD	0,096	0,031
AR - 05	0,012	0,008	DLD	0,013	DLD	0,031	DLD	DLD	0,012

DLD: valores por debajo del límite de detección.

Cuadro N°10: Resultados de los metales pesados en agua subterránea

Muestras	Elementos mg/L								
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
AS - 01	0.006	0.009	DLD	DLD	DLD	DLD	0.003	DLD	0.264

DLD: valores por debajo del límite de detección.

Cuadro N°11: Resultados de los metales pesados en agua de drenaje

Muestras	Elementos mg/L								
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
AD - 01	0,000	0,035	DLD	DLD	DLD	0,011	0,003	DLD	0,040
AD - 02	0,010	0,022	DLD	DLD	DLD	0,042	0,018	DLD	0,220
AD - 03	0,002	0,008	DLD	DLD	DLD	0,129	DLD	0,001	0,522
AD - 04	0,000	0,031	DLD	DLD	DLD	0,056	DLD	DLD	4,043
AD - 05	0,004	0,006	DLD	DLD	DLD	DLD	DLD	DLD	0,708

DLD: valores por debajo de límite de detección.

4.6. Discusión.

4.6.1. Suelo agrícola

Los límites máximos permitidos para suelos agrícolas han sido establecidos en diferentes países (Cuadro N°12). Las diferencias que existen entre los valores de los límites máximos permisibles (LMPs) de los diferentes países pueden ser por las condiciones ambientales, el uso de suelo y además la toma de los criterios de algunos autores para determinar las concentraciones de los metales pesados (Kabata-Pendias, 1995).

Cuadro N° 12: Límites máximos permitidos y estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas de acuerdo a la legislación de diferentes países

Países	Elementos (mg/kg)								
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Alemania	5	--	100	50	100	300	7	1,5	100
Canadá	8	--	40	150	150	600	20	3	375
Finlandia	--	--	300	500	500	3000	50	20	600
Australia	100	--	50	100	100	300	5	5	100
*(ECA)Perú	--	--	--	--	--	--	50	1,4	70
Reino unido	50	--	--	50	100	300	20	3	100

Fuente: Saavedra (2002)

- valores no detectables

*Estándares de calidad Ambiental para suelos (ECA Peruano)

Comparando los valores encontrados en el presente estudio con los niveles máximos de metales pesados en suelos agrícolas presentados en la normatividad nacional e internacional se observan algunas situaciones importantes.

Al comparar el valor máximo de Cr para Alemania, la mayoría supera este valor máximo a excepción las muestras SA19, SA22, SA24 Y SA27 (ver gráfico 08).

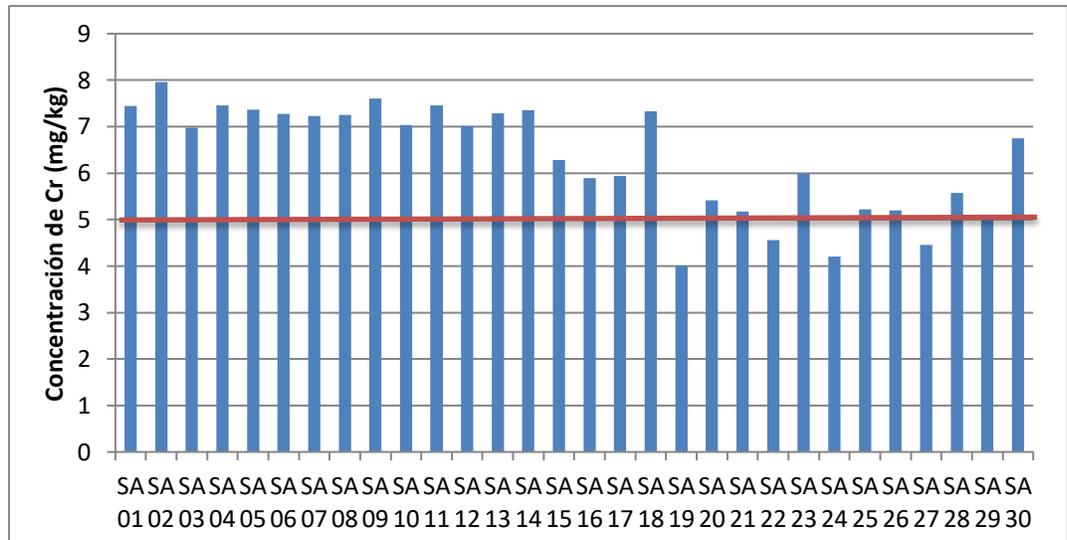


Grafico N°8 Concentración de Cr para cada una de las muestras analizadas.

La línea de color rojo corresponde al límite para suelos agrícolas de Alemania (5 mg/kg).

Para el caso del contenido de Mn en la muestra de SA, no se han encontrado referencias para comparar con la legislación Nacional e internacional.

Para el caso de los contenidos de Co, Ni, Cu y Zn en las muestras de SA analizadas en el área de estudio, ninguno supera los valores máximos estipulados en la normatividad Nacional e internacional.

Respecto del contenido de As en las muestras de SA, ninguna de las muestras supera el ECA Peruano (50mg/kg), sin embargo como se aprecia en el siguiente grafico diversas muestras (SA04, SA06, SA09, SA10, SA16, SA17, SA21, SA23, SA24, SA28 Y SA30) sobrepasan el valor máximo Alemán (7mg/kg) y Australiano (5mg/kg). La muestra de SA30 supera el valor máximo establecido en la normatividad Canadiense (20mg/kg).

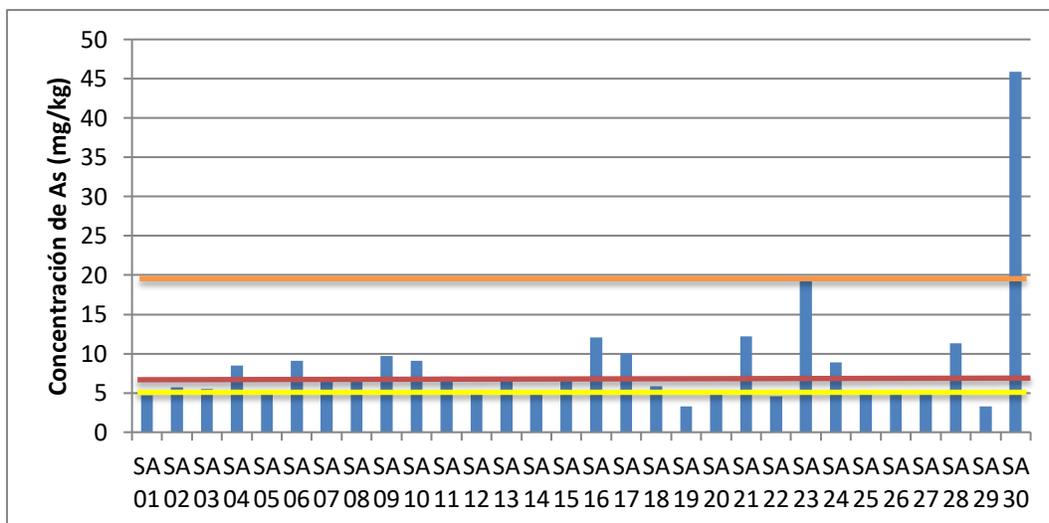


Grafico N°9 concentraciones de As para cada una de las muestras analizadas
 La línea de color amarillo corresponde al límite para suelos agrícolas de Australia (5 mg/kg), la línea roja corresponde al límite para suelos agrícolas de Alemania (7 mg/kg), y la línea naranja corresponde al límite de Canadá y Reino unido (20 mg/kg).

En la gráfica siguiente se muestra en comparativo entre los valores de Cd encontrados en las muestras analizadas y la normatividad peruana, Alemana, Canadiense y de Reino Unido. Las muestras SA23 y SA30 sobrepasan los valores máximos para Alemania, mientras que las muestras SA30 supera los valores máximos de Canadá y Reino Unido.

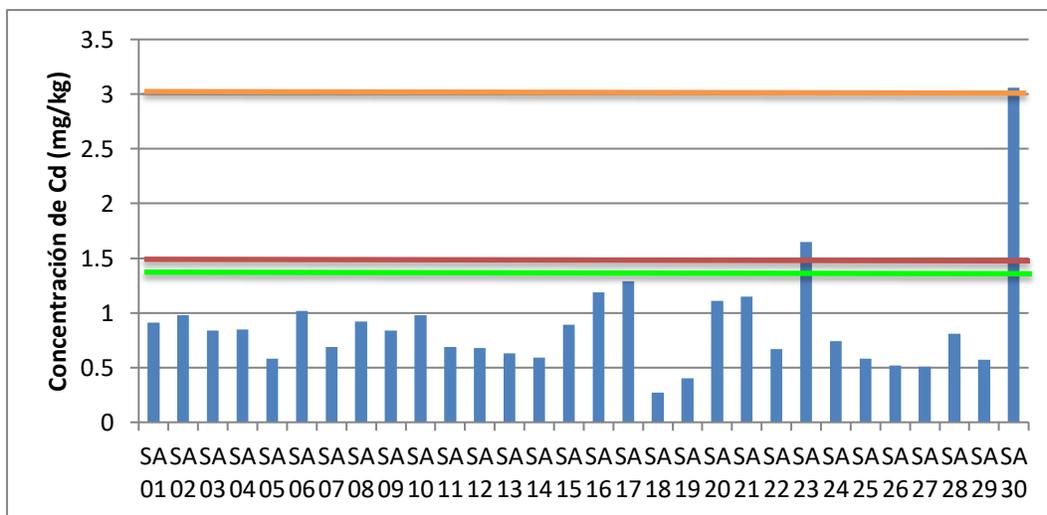


Grafico N°10 concentraciones de Cd para cada una de las muestras analizadas
 La línea de color verde corresponde al estándar peruano de calidad de suelo agrícola (1,4mg/kg), la línea roja corresponde al límite para suelos agrícolas de Alemania (1,5mg/kg), y la línea naranja corresponde al límite de Canadá y Reino unido (3 mg/kg).

Con respecto al contenido de Pb en el área de estudio de las muestras SA16, SA17, SA23 y SA30 sobrepasan el ECA para suelos de mismo tipo de acuerdo a la normatividad peruana. La muestra SA30 supera los valores máximos de Alemania, Australia y Reino Unido.

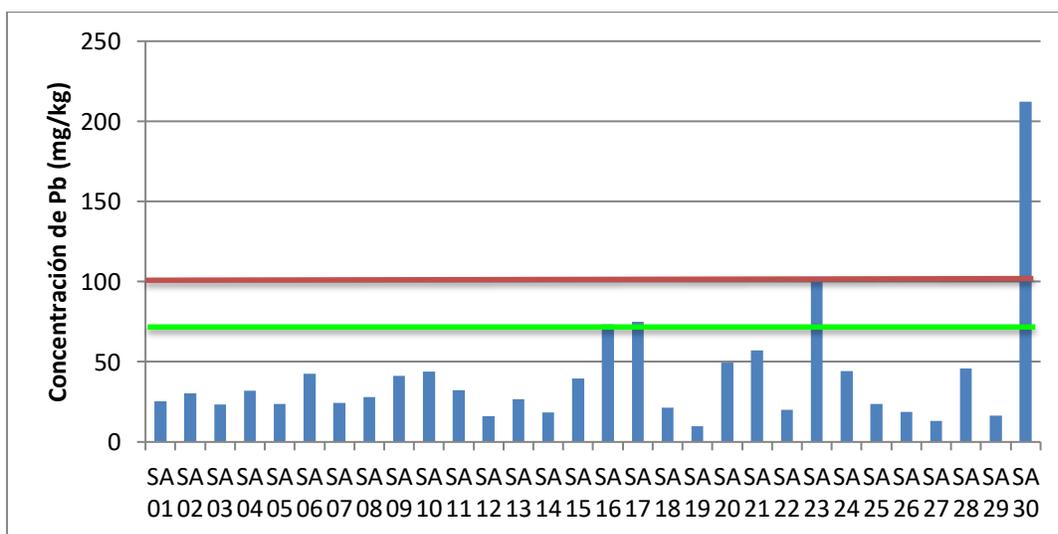


Grafico N°11: concentración de Pb para cada una de las muestras analizadas

La línea de color verde corresponde al estándar peruano de calidad de suelo agrícola (75mg/kg), la línea roja corresponde al límite para suelos agrícolas de Alemania, Australia y Reino unido (100mg/kg).

4.6.2. Curvas de iso-contenido de los contenidos de metales pesados en los suelos agrícolas

Curvas de isocontenido de los metales pesados se construyeron utilizando el software Surfer 8.0. Para cada curva de iso-contenido de metales pesados, la presencia de color rojo significa mayor concentración del elemento, mientras que el color amarillo significa menor concentración de los elementos. Las diversas tonalidades entre rojo y amarillo significan valores intermedios.

En las figuras que se muestran a continuación se puede apreciar que para el caso del Cr, Co, Mg y Ni presentan mayores concentraciones en las zonas noreste y sureste, las cuales se presentan de color rojo intenso. Estas áreas de mayor concentración coinciden con áreas que frecuentemente son inundadas por el río Tumbes en épocas de avenida. Para el caso de As, Cd, Cu, Pb y Zn las mayores concentraciones se aprecian en la zona noroeste y suroeste, las cuales presentan el color rojo intenso.

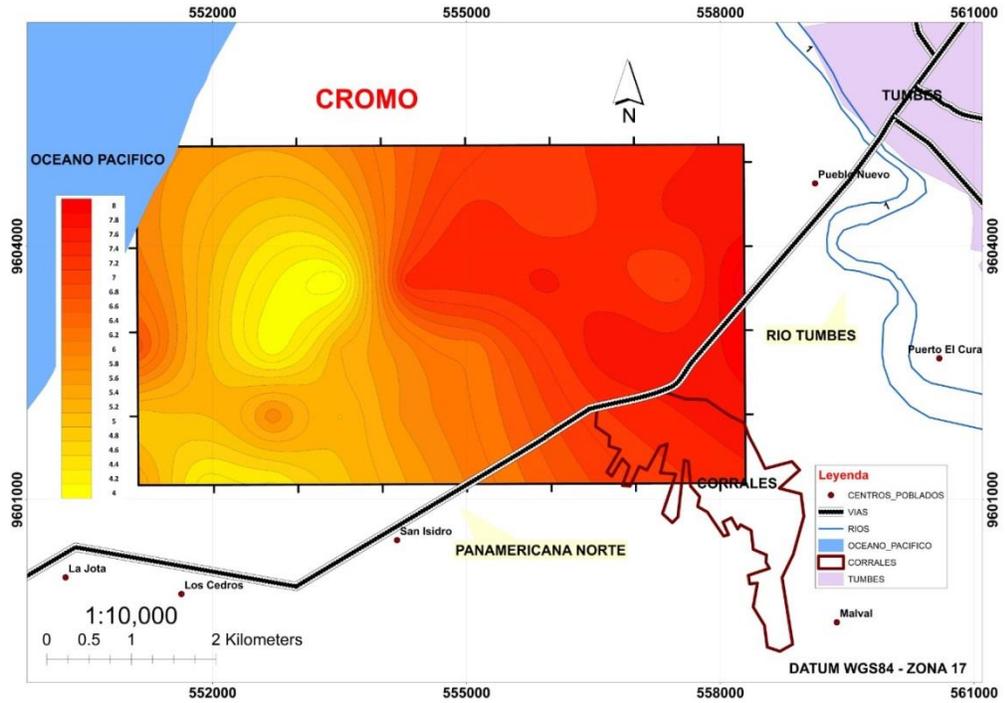


Figura N°8 curva de iso-contenido para el Cr en mg/kg.

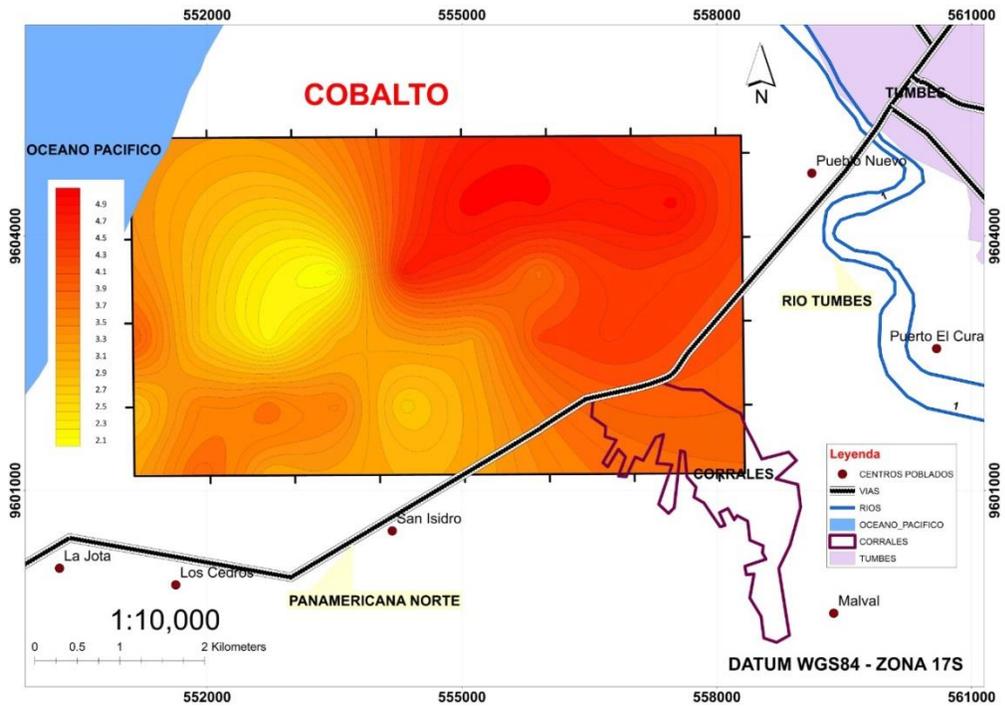


Figura N°9 curva de iso-contenido para el Co en mg/kg.

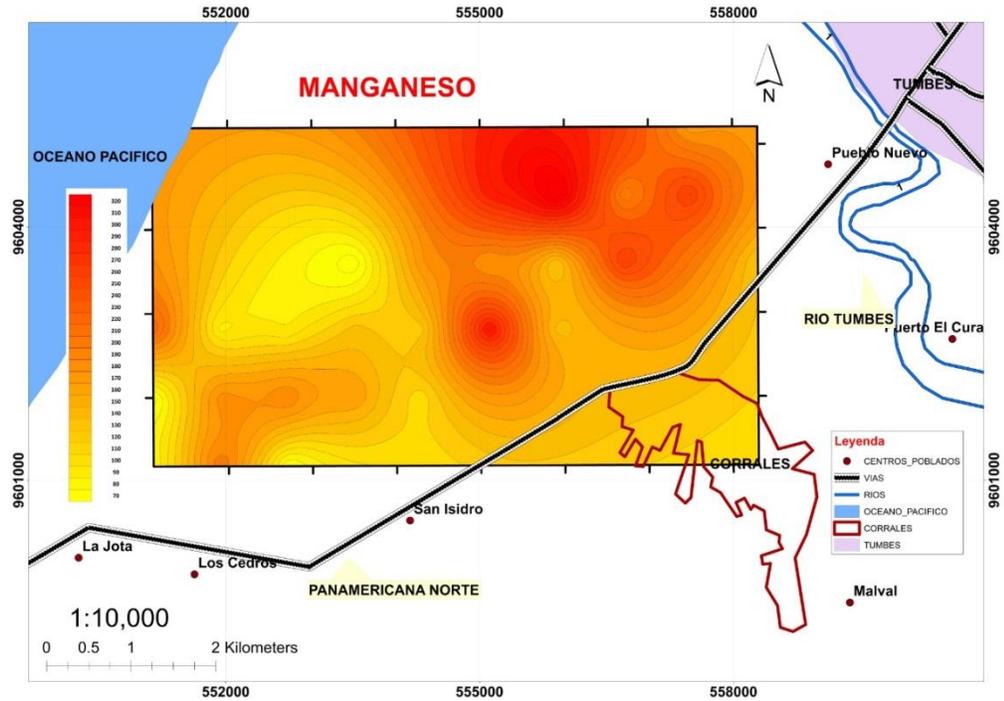


Figura N°10 curva de iso-contenido para el Mn en mg/kg.

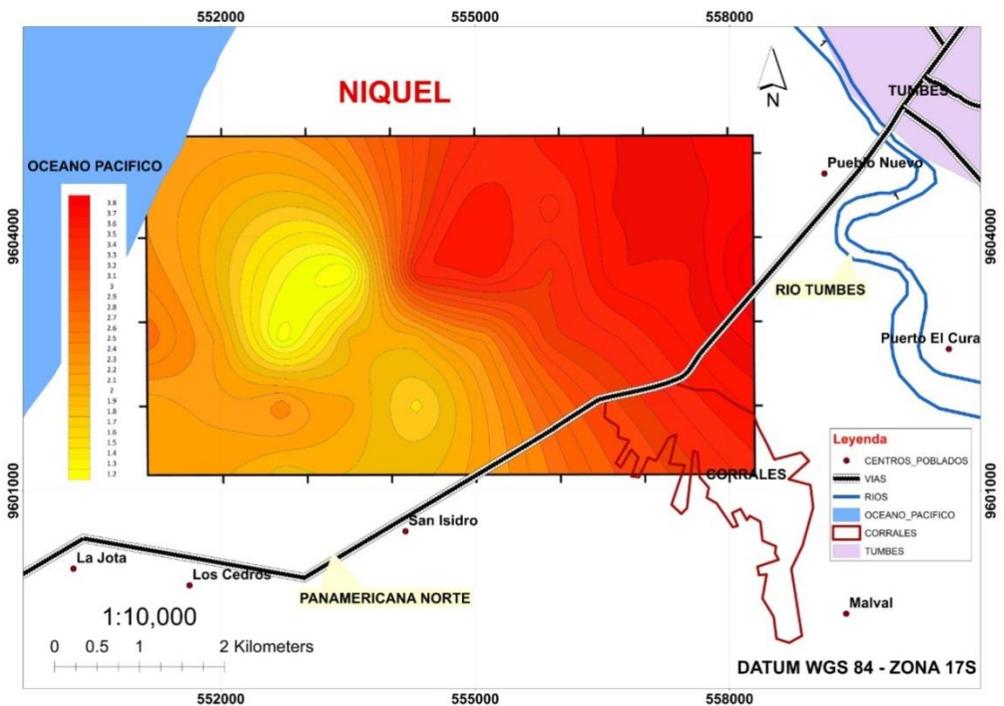


Figura N°11 curva de iso-contenido para el Ni en mg/kg.

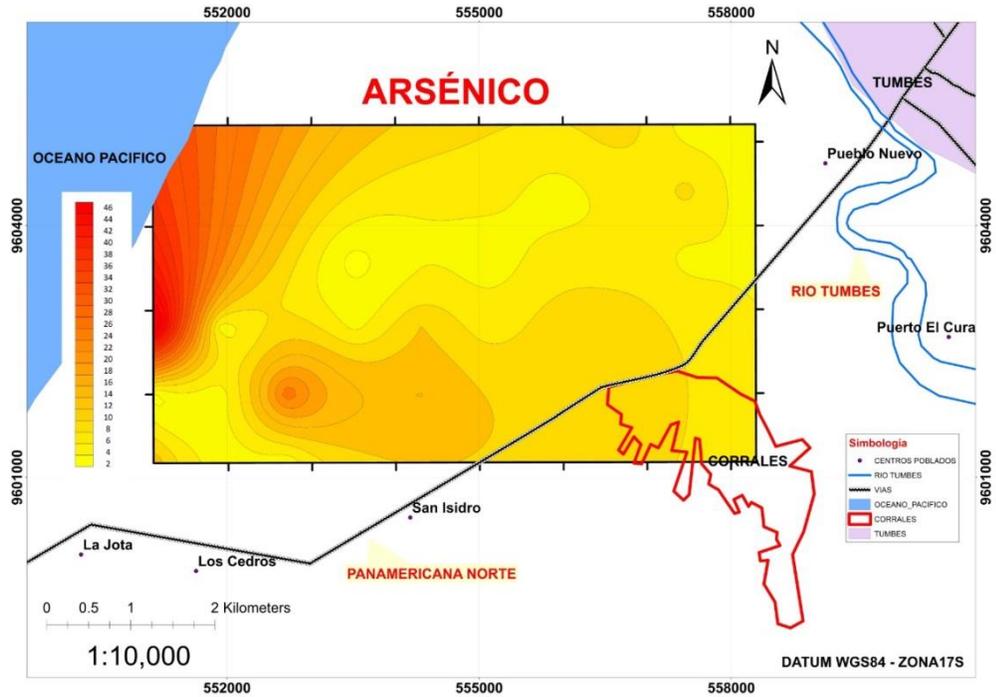


Figura N°12 curva de iso-contenido para el As en mg/kg.

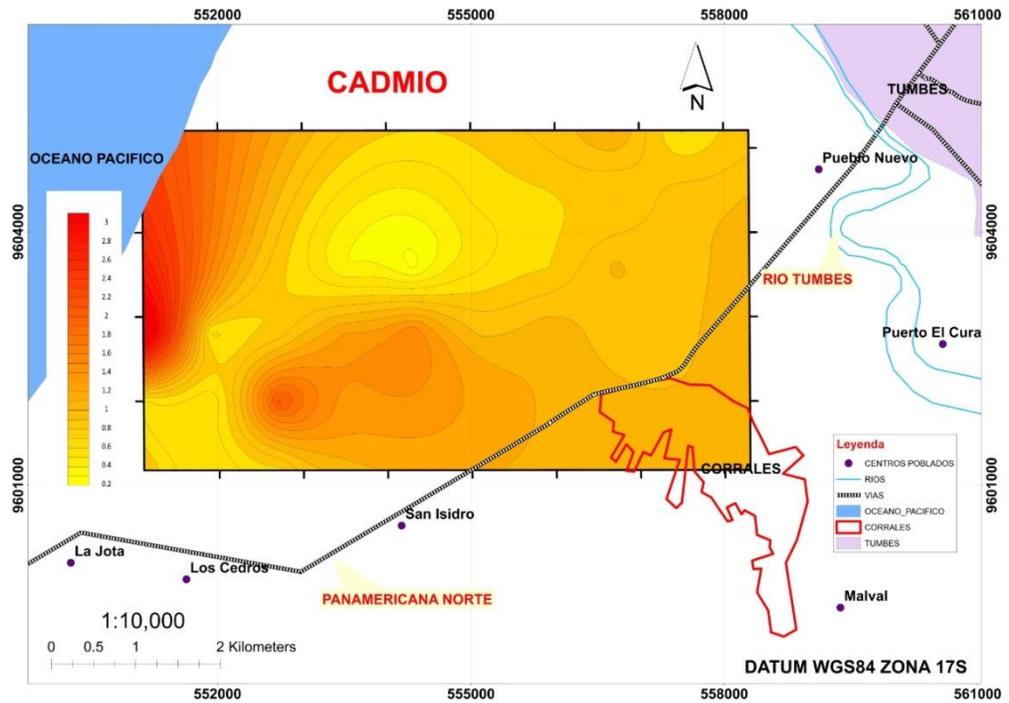


Figura N° 13 curva de iso-contenido para el Cd en mg/kg

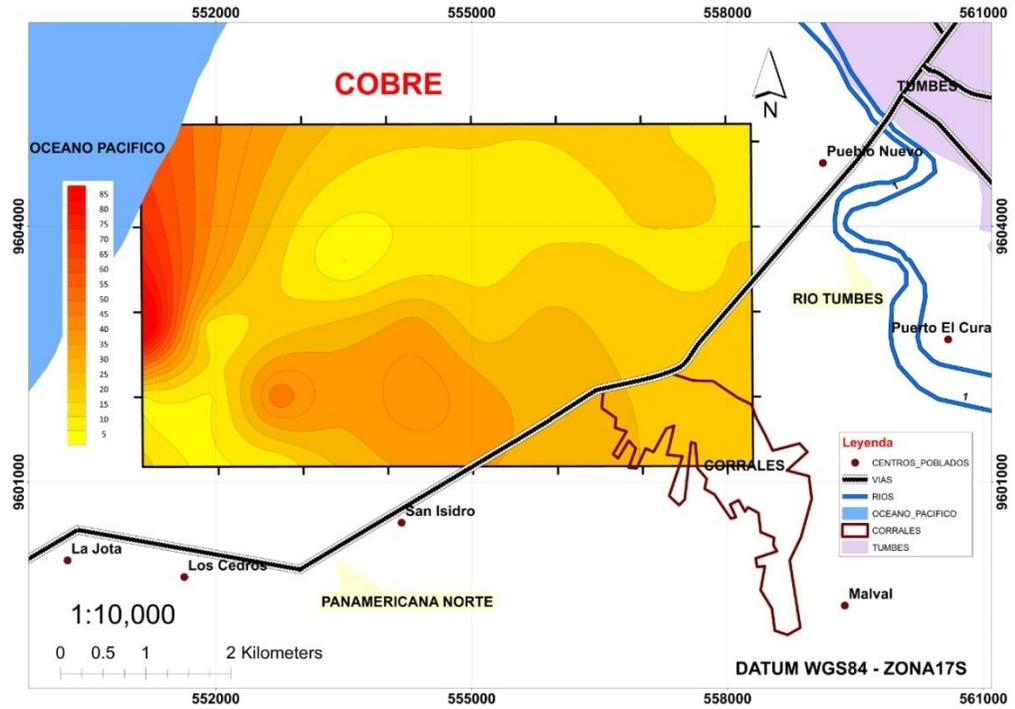


Figura N°14 curva de iso-contenido para el Cu en mg/kg.

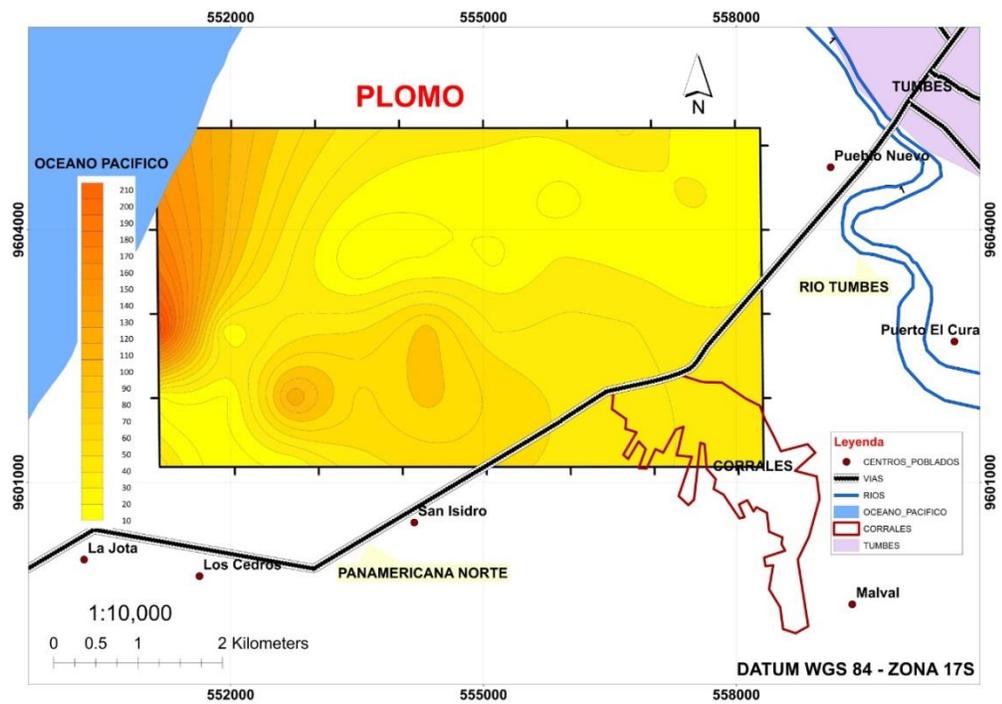


Figura N°15 curva de iso-contenido para el Pb en mg/kg.

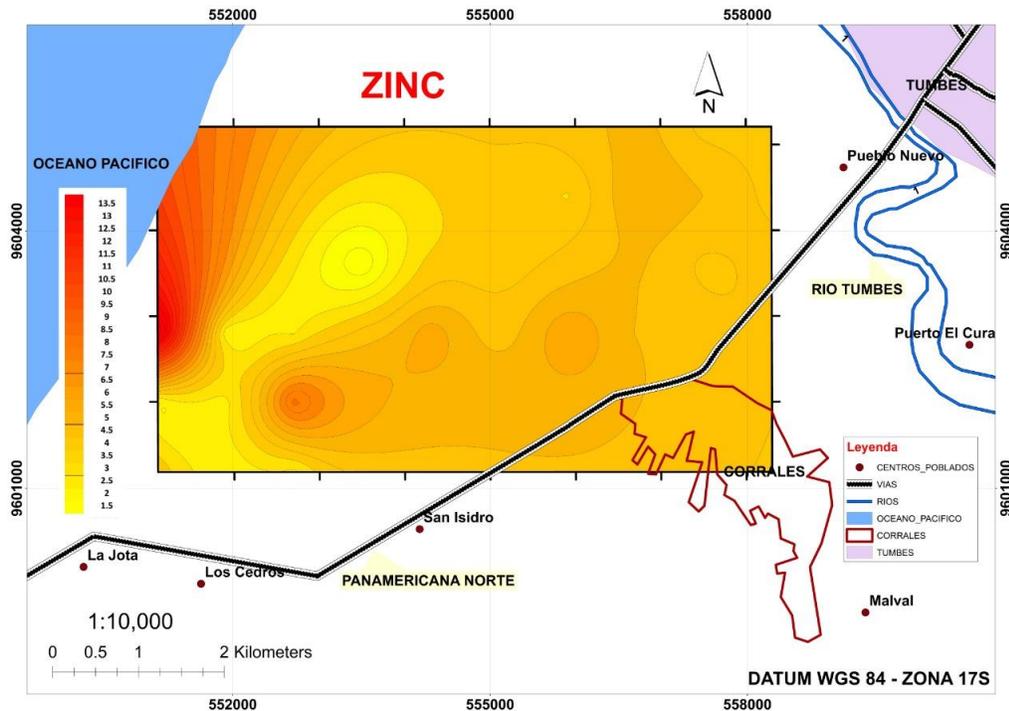


Figura N°16 curva de iso-contenido para el Zn en mg/kg.

Estudios previos (Marshall et. al., 2017) han confirmado que el río Tumbes, incluso en la parte baja de la cuenca (Río Puyango Tumbes) se encuentra contaminado con elementos como As, Hg, Cd, Cu, Pb y Zn en suficiente cantidad para poder afectar la vida acuática (de acuerdo a las normas canadienses). En el mismo estudio se aclara que la principal fuente de estos elementos contaminantes presentes en el río Puyango Tumbes es la actividad minera artesanal de oro desarrollada en la parte alta de la cuenca (Portobello Ecuador). Es de considerar que el agua de este río es utilizada como la única fuente de agua de riego de los cultivos de arroz. Adicionalmente, en épocas de avenida, diversas zonas de la margen izquierda del río Tumbes son inundadas por el río, depositándose gran cantidad de sólidos acompañados de metales pesados sobre los suelos arroceros (DIGESA, 2006; Bermejo y Cruz, 2006)

4.6.3. Suelo testigo.

Los promedios de concentración de metales en los suelos agrícolas para el Cr 6,32 mg/kg, Mn 165,89 mg/kg, Co 3,91 mg/kg, Ni 2,63 mg/kg, Cu 18,95 mg/kg, Zn 43,33 mg/kg, As 8,63 mg/kg, Cd 0,89 mg/kg y Pb 40,95 mg/kg superan los valores de ST01 y ST02 de cada elemento, incluso algunos de ellos sobrepasa el 100%. (Ver cuadro N°12). Esto significa que las concentraciones encontradas en el área de estudio se deberían a fuentes exógenas, provenientes de actividades antrópicas y/o procesos de la naturaleza.

Cuadro N°12: Comparación de promedios suelo agrícola y promedios de suelos testigos 01 y 02 (mg/kg)

Muestras	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
SA(promedio)	6,32	165,89	3,91	2,63	18,95	43,33	8,63	0,89	40,95
ST 01	4,6	165,67	355	2,15	6,83	28,55	4,88	0,27	9,04
ST 02	3,26	105,08	2,91	1,52	6,59	24,96	2,48	0,26	6,17

Fuente: elaboración propia

Así mismo, Bermejo L. (2003) ha determinado que existen concentraciones altas de metales pesados en muchos de los agroquímicos que se utilizan en el área de estudio, como por ejemplo: urea, fósforo súper triple, sulfato de amonio, nitrato de amonio.

Por otro lado, se hace una comparación del ST 05, un suelo no agrícola ubicado muy cerca del área de estudio y del río Tumbes, donde se presenta niveles máximos de Cr 7,18 mg/kg, Mn 257,27 mg/kg, Co 4,85 mg/kg, Ni 4,03 mg/kg, Zn 47,41 mg/kg y Cd 0,91 mg/kg que superan los promedios de SA (Ver cuadro N°13). Se puede decir que los metales como producto de los agroquímicos son arrastrados por el aire y contamina esta área. Para el caso de los elementos del Cu, As y Pb no sobrepasan los valores promedios de SA. Esto podría ser otro indicio que lleve a suponer que durante las avenidas e inundaciones del río Tumbes a los suelos del margen izquierda, se estarían depositando estos elementos contaminantes.

Cuadro N°13: Comparación de promedio de suelos agrícolas vs. Suelo testigo05.

Muestras	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
SA (promedio)	6,32	165,89	3,91	2,63	18,95	43,33	8,63	0,89	40,95
ST05	7,18	257,27	4,85	4,03	17,28	47,41	5,01	0,91	21,07

Fuente: elaboración propia

4.6.4. Grano de arroz.

Los límites máximos permitidos para los granos de arroz (sin cascara) han sido establecidos en diferentes países (cuadro N°14), que serán comparados con cada uno de los elementos analizados del área de estudio.

Cuadro N° 14: límites máximos permitidos para grano de arroz de diferentes países

Países	Elementos (mg/kg)									
	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	
*Europa	--	40	--	1,2	5,1	28	0,2	0,23	0,07	
**Brasil	0,1	--	--	5	30	--	1	1	0,5	
***Codex alimentario	--	--	--	--	--	--	0,35	--	0,2	

- valores no detectables

* Límites máximos permisibles de acuerdo a la legislación europea.

** Límites máximos permisibles de acuerdo a la legislación brasileña.

***Límites máximos permisibles de acuerdo al codex alimentario.

Comparando los valores encontrados en el presente estudio con los niveles máximos de metales pesados en granos de arroz presentados en la normatividad internacional se observan algunas situaciones importantes.

Respecto al contenido de Cr de las muestras granos de arroz analizadas en el área de estudio, diversas muestras GA02, GA03, GA04, GA05, GA06, GA11, GA13, GA19, GA21, GA22, GA24, GA25 a la GA30 sobrepasan el valor máximo de Brasil (0,1mg/kg). Para el caso de las muestras restantes no sobrepasaron los valores máximos

estipulados. Mientras para la normativa Europea y Codex alimentario no se encontraron datos para realizar la comparación.

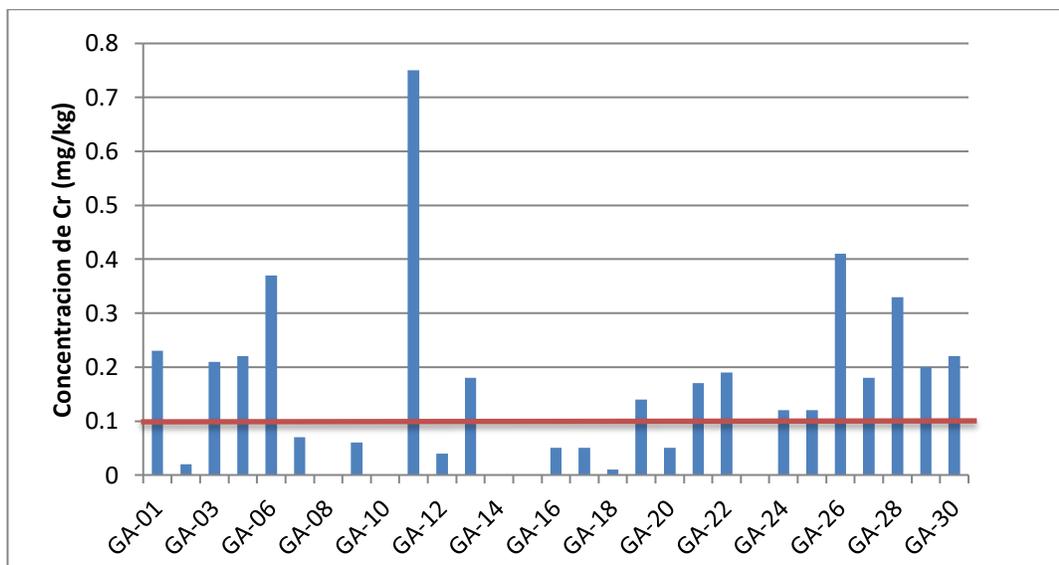


Grafico N°12 concentración de Cr para cada una de las muestras analizadas
La línea de color rojo corresponde al límite para grano de arroz de Brasil (0,1mg/kg)

Para el caso de los contenidos de Mn, Ni y Zn en las muestras de grano de arroz analizadas en el área de estudio, ninguno supera los valores máximos estipulados en la normatividad internacional.

Para el caso del contenido de Co en las muestras de grano de arroz, no se ha encontrado referencias para comparar en la legislación internacional.

Respecto al contenido del Cu en las muestras de grano de arroz, ninguna de las muestras supera el valor máximo Brasileño (30 mg/kg), sin embargo como se puede apreciar en el grafico siguiente diversas muestras GA06, GA08 y GA09 sobrepasan el valor máximo Europeo (5,1mg/kg).

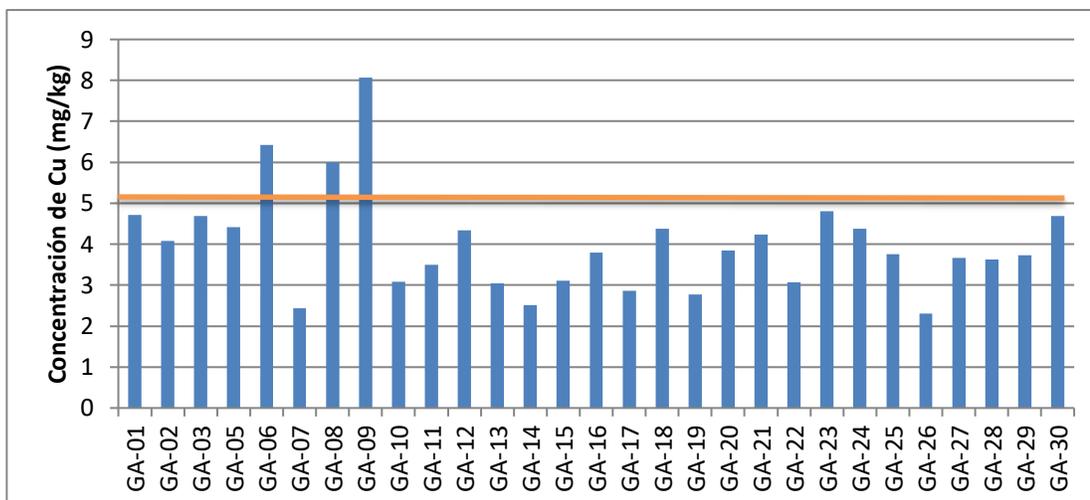


Gráfico N°13 concentración de Cu para cada una de las muestras analizadas
 La línea de color naranja corresponde al límite para grano de arroz de Europa (5,1mg/kg)

Para el caso del contenido de As en grano de arroz en el área de estudio, sí se les compara con el valor máximo de As para Europa (0,2mg/kg), la mayoría no supera este valor máximo a excepción de las muestras GA02, GA11, GA13, GA14, GA19, GA26 y GA28 (ver gráfico N°14).

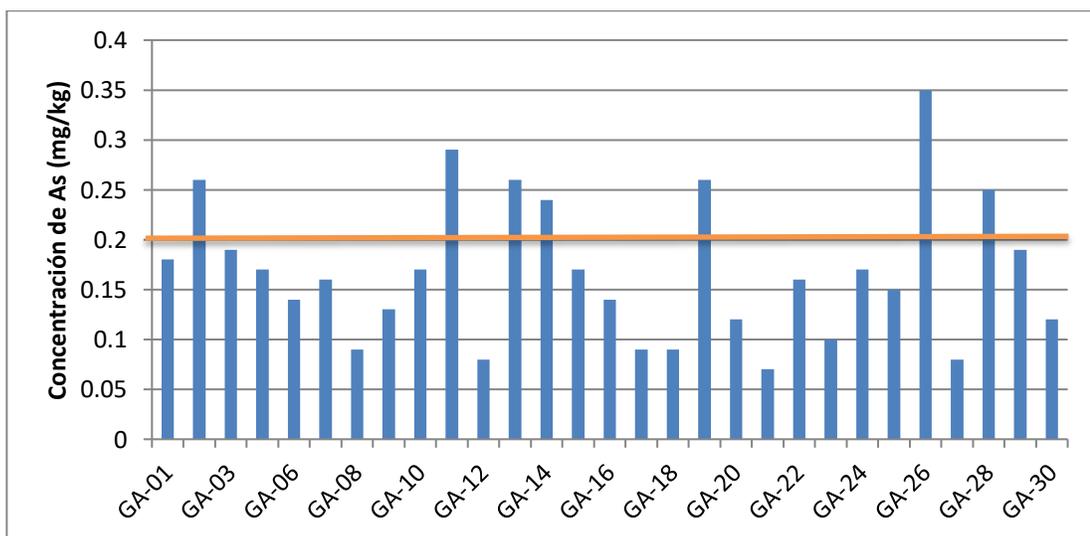


Gráfico N° 14 concentración de As para cada una de las muestras analizadas
 La línea de color naranja corresponde al límite para grano de arroz de Europa (0,2mg/kg)

En el gráfico siguiente se muestra un comparativo entre los valores de Cd encontrados en las muestras analizadas y la legislación Europea y brasileña. Las muestras GA06, GA08, GA09, GA12, GA20, GA21, GA23, GA25 y GA30 sobrepasan los valores máximos para Europa, mientras que las muestras de GA06, GA09 y GA12 sobrepasan los valores máximos de Brasil.

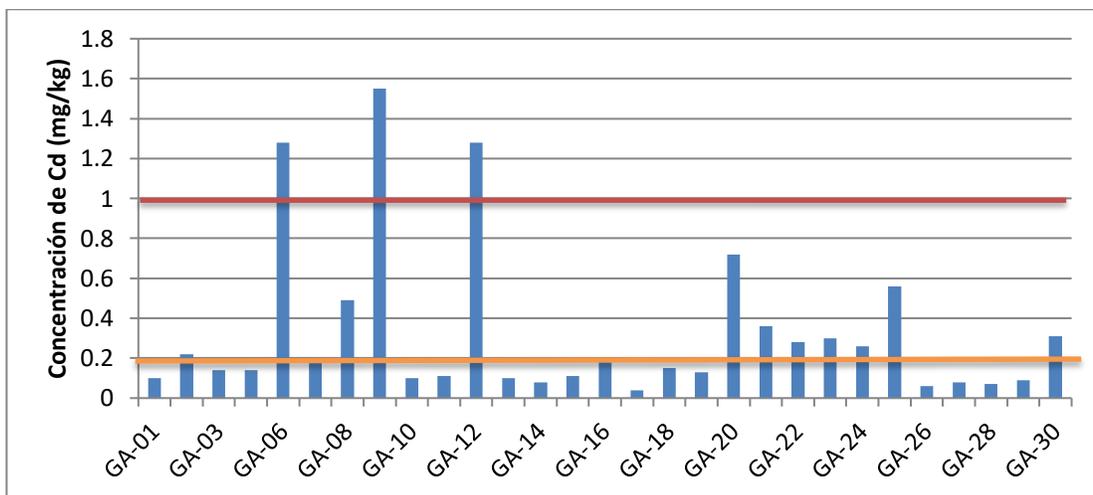


Grafico N°15 concentración de Cd para cada una de las muestras analizadas

La línea de color naranja corresponde al límite para grano de arroz de Europa (0,23mg/kg). La línea de color rojo corresponde al límite para grano de arroz de Brasil (1mg/kg).

Respecto al contenido de Pb se hizo un comparativo entre los valores encontrados en las muestras analizadas y la legislación europea y Codex alimentario. Las muestras GA01, GA02, GA03, GA04, GA06, GA09, GA10, GA11, GA13, GA15, GA18, GA19, GA21, GA25, GA26 y GA30 sobrepasan los valores máximos de Europa. Mientras para las muestras GA03, y GA11 sobrepasan los valores estipulados del Codex alimentario.

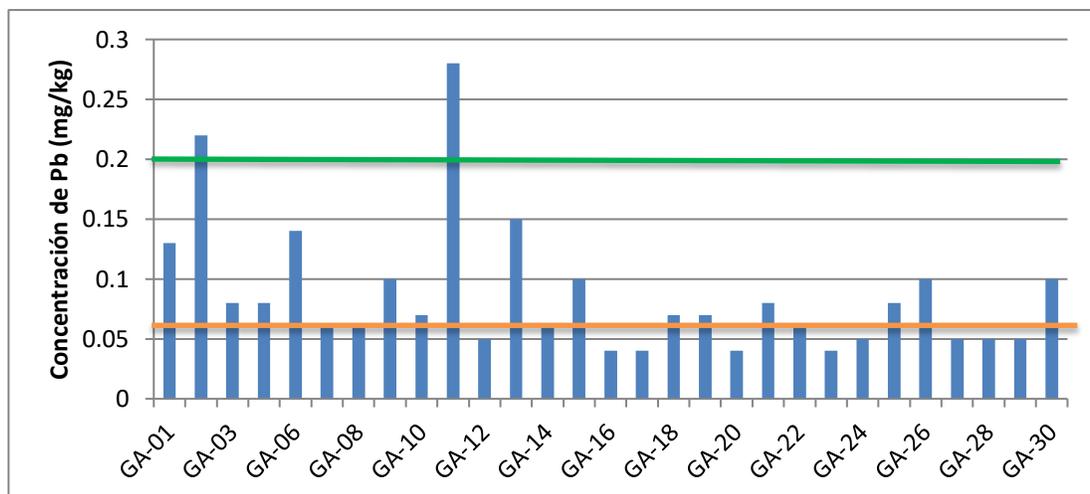


Grafico N°16 concentración de Pb para cada una de las muestras analizadas

La línea de color naranja corresponde al límite para grano de arroz de Europa (0,07mg/kg). La línea de color verde corresponde al límite para grano de arroz de Codex alimentario (0,2mg/kg).

Esto evidencia que existe indicios de transferencia de los metales pesados del suelo hacia la planta y luego hacia el grano de arroz.

4.6.5. Agua de riego, subterránea.

En el caso de la normatividad peruana se tomó como referencia para comparar las muestras de agua de riego y subterránea con la categoría1: poblacional y recreacional, sub categoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, tipo A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

En las muestras de agua de riego del presente estudio se encontraron resultados que están por encima de los valores máximos de acuerdo a la normatividad peruana y la legislación mexicana.

Cuadro N°15 Límites máximos permitidos y estándares de calidad ambiental para agua de riego de acuerdo a la legislación de diferentes países

Países	Elementos mg/L								
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
**México	0,1	0,01	--	1	0,2	--	0,2	5	2
*Perú	0,01	0,005	--	0,05	2	0,5	--	0,05	5

--: No se encontraron datos registrados.

** Límites máximos permitidos de acuerdo a la legislación mexicana.
 *Estándares de calidad ambiental para el agua de la categoría1: poblacional y recreacional, sub categoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, tipo A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

De acuerdo con el contenido metálico en el agua de riego el elemento de mayor toxicidad es el Cd con niveles 0,008 hasta 0,049 mg/L. El Pb presenta valores que van desde 0,014 hasta 0,096 mg/L.

Para el caso del contenido metálico del As, Cr, Mn y Zn en las muestras de agua de riego analizadas en el área de estudio, ninguno supera los valores máximos estipulados en la normatividad Nacional e internacional. Mientras que para el contenido de Co, Cu y el Ni, presentan valores por debajo del límite de detección del equipo de medición (ICP-EOS), por lo que no se ha podido realizar ninguna comparación.

En las muestras de agua subterránea de las muestras analizadas del presente estudio, se compararan los resultados de acuerdo a la normatividad nacional e internacional.

Cuadro N°16: Límites máximos permitidos y estándares de calidad ambiental para agua subterránea de acuerdo a la legislación de diferentes países.

Países	Elementos mg/L								
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
*Brasil	10	5	--	50	2	100	20	--	5
**Perú	0,01	0,005	--	0,05	2	0,5	--	0,05	5
***OMS	--	0,003	--	0,05	--	--	--	--	--

--: no hay datos registrados.

* Límites máximos para el agua de acuerdo a la legislación brasileña

**Estándares de calidad ambiental para el agua de la categoría1: poblacional y recreacional, sub categoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, tipo A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.

***Organización Mundial de Salud (OMS).

El contenido Cd supera los estándares de calidad ambiental de agua estipulados de acuerdo a la normatividad peruana. Mientras que para los contenidos de As y Zn ninguno supera los estándares de calidad

ambiental y/los límites máximos estipulados en la normatividad nacional e internacional. Para el caso de los contenidos de Co, Cr, Cu, Mn, Pb y Zn se encontraron valores por debajo del límite de detección del equipo utilizado (ICP-EOS).

Para el caso de las muestras de agua de drenaje del presente estudio, no se han encontrado referencias para comparar con la legislación nacional e internacional.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ❖ Los suelos cultivados con arroz de la margen izquierda del río Tumbes se encuentran contaminados con elementos como As, Cr y Pb, superando los niveles máximos permisibles de países como Alemania en el caso de los tres elementos; Australia y Reino Unido en el caso de As y Pb; y los estándares de calidad ambiental para el suelo en Perú para el caso de As y Cr.
- ❖ Se encontró evidencia de contaminación en los granos de arroz principalmente Cr (7 de 30 muestras), Cd (6 de 30 muestras) y Pb (3 de 30 muestras), los cuales en algunas de las muestras analizadas superan los valores máximos permisibles establecidos por normas europeas y del *codex alimentarius*. Por lo tanto existe una transferencia de estos elementos desde suelo hacia el grano de arroz.
- ❖ Las aguas de riego, aguas procedentes del río Tumbes mostraron valores altos para el caso de Cd y Pb, superando los valores y/o estándares estipulados en las normatividades mexicana (para Cd) y peruana (para Cd y Pb)

5.2. Recomendación

- ❖ Realizar evaluaciones de As, Cr y Pb en las diferentes partes de las plantas de arroz (*Oryza sativa L.*) y los suelos cercanos a la rizosfera de estas con la finalidad de estudiar la dinámica de estos elementos.
- ❖ El presente estudio servirá como base para establecer medidas de mitigación que permitan disminuir la incidencia de estos elementos contaminantes en el cultivo de arroz, las cuales deberán plantearse en estudios futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Sultan K (2007). Distribution of Metals and Arsenic in Soils of Central Victoria (Creswick-Ballarot), Australia. Archives of Environmental Contamination and toxicology. Vol. 52, pp 339–346.
- Soon YK, Abboud S (1990). Trace elements in agricultural soils of Northwestern Alberta. Canadian Journal of Soil Science. Vol 70, pp 277-288.
- EMBRAPA (1999). Manual Análisis Químicas de Solos, plantas e Fertilizantes/ Embrapa solos, Embrapa informática agropecuaria, Río de Janeiro, Brasil.
- (2015). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS- 0111, Vol. 24, No. 1.
- LEY DE RECURSOS HÍDRICOS LEY Nº 29338 – congreso de la república.
- Revista de la Facultad de Agronomía · January 2009.
- Estévez, J., M.L. Andrade, P. Marcet, M.J. Montero, 2000. Fijación y movilidad de Cadmio y Zinc en tres tipos de suelos ácidos de Galicia, España. Ciencias del Suelo, 18(1), pp 28-35.
- Jackson, M.L., (1970). Análisis químico de suelos y plantas. Trad. del Inglés por José Beltrán Martínez 2da Ed. OMEGA, Barcelona, pp 662.
- Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (theobroma cacao L.) En tres regiones del Perú.
- Acevedo E., Carrasco M., León O., Silva P., Castillo G., Ahumada I., Borie G. & González S. (2005). Informe de criterios de calidad de suelo agrícola. Servicio Agrícola y Ganadero, Chile, pp205.

- Andrades, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. UNIVERSIDAD DE LA RIOJA. Tercera Edición.
- Miguel, C. (2016). Estudio de Niveles de Boro y Arsénico en Suelo Agrícola en el Distrito de Cocachacra. Valle de Tambo. UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTÍN AREQUIPA.
- MASKANA. (2011). Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja el Río Guayas. Revista semestral de la DIUC. Vol. 2 N°. 1.
- Guillermo, G. (2007). Guía para la utilización de valijas viajeras – Determinación del PH. Red de Monitoreo Ambiental Participativos de Sistemas Acuáticos.
- Luis, L. Paula, L. Fabián, M. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 14. N°. 2, pp. 145-153.
- MINAM. (2014). Decreto Supremo N° 002-2013. Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental. – Lima – PERÚ.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017- Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017- Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Suelo.
- Mesa, P. María Aurora R. Oscar; S. Baqué, D. Tavella M. (2015). Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de zen la subcuenca Mampostón. Revista Ciencias

Técnicas Agropecuarias, Universidad Agraria de La Habana
Fructuoso Rodríguez Pérez La Habana, Cuba. Vol. 24, pp. 25-30.

- Welbry, D. Ramiro V. Olivia L. Fernando, I. María, I. Balbín, A. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 24, No. 1, pp. 44-50, Universidad Agraria de La Habana.
- Cruz G. (2004). Incidencia de metales pesados en los cultivares de mango instalado en Tambogrande, valle de San Lorenzo. [Tesis de maestría en ingeniería ambiental]. Piura (PE): Universidad nacional de Piura.
- Bermejo L. (2003). Cuantificación del impacto ambiental del mono cultivo de arroz. Primera Reunión de Ciencia y Tecnología del Norte del Perú; 2006 dic pp. 5-6.
- Bermejo. L y Cruz. G. 2006. “Evaluación del contenido de metales pesados en los suelos cultivados con arroz - margen izquierda del río tumbes”. Revista Manglar 4(1), pp. 41-50.

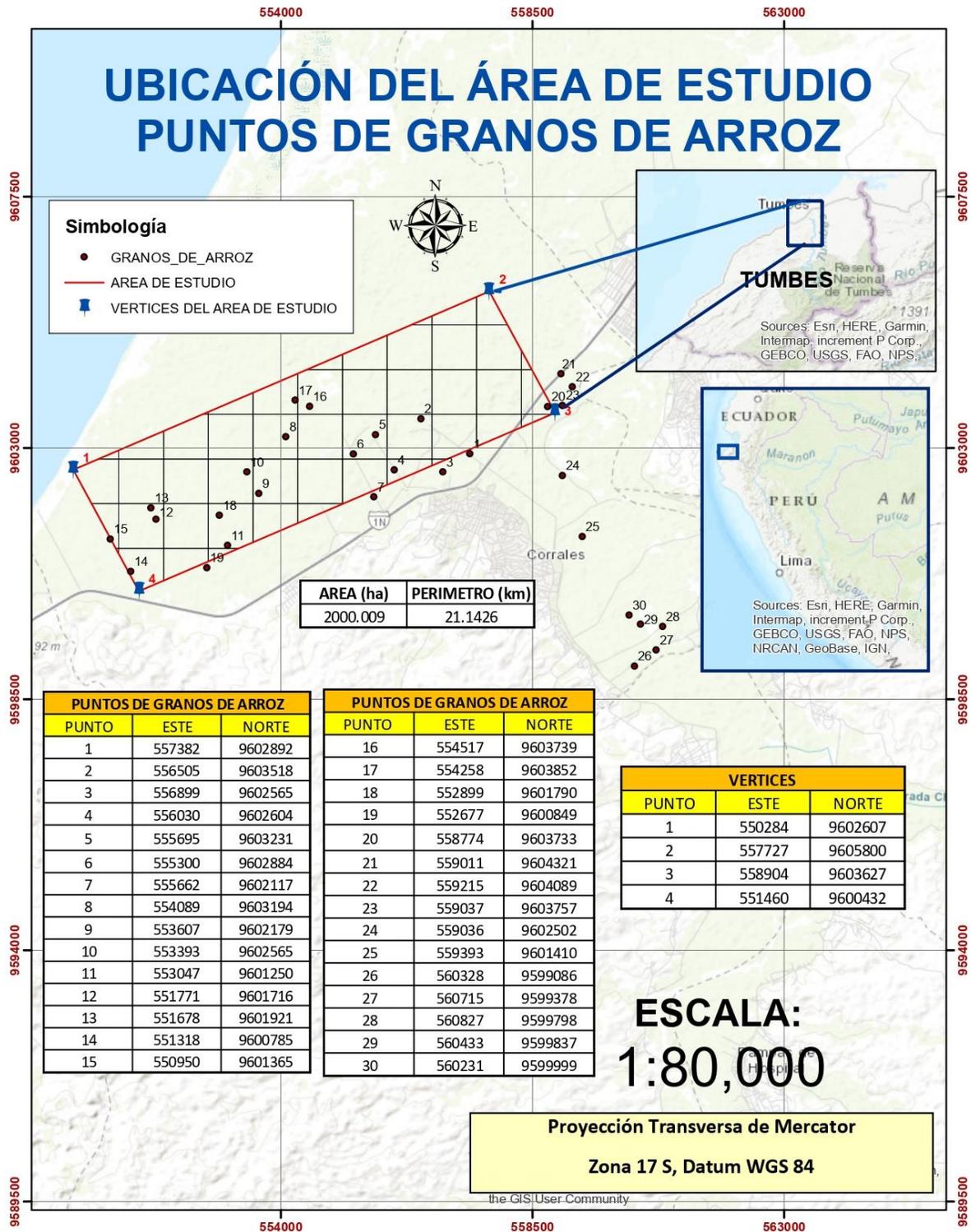
ANEXOS

Anexo 01: mapa de ubicación del área de estudio puntos de suelo agrícola



Fuente: elaboración propia.

Anexo 02: mapa de ubicación del área de estudio puntos de grano de arroz



Fuente: elaboración propia

Anexo 03: Propiedades físicas y químicas del suelo agrícola

Numero de Muestras	contenido en %			Clase textural	pH	MO %	Conductividad (Ms/cm)	Potencial oxido reducción (mV)
	Arena	Limo	Arcilla					
SA - 01	29	35	36	Franco Arcilloso	9.8	33.24	0	-98.9
SA - 02	11	44	45	Limoso Arcilloso	8.4	45.31	0	-65.4
SA - 03	35	36	29	Franco Arcilloso	8.9	32.2	0	-55.6
SA - 04	59	18	23	Franco Arcillo Arenoso	8.2	6.11	0.1	-19.9
SA - 05	23	59	18	Franco Limoso	8.6	5.23	0	-38.9
SA - 06	38	53	9	Franco Limoso	8.5	10.32	0.1	-31.6
SA - 07	25	60	15	Franco Limoso	8.6	33.01	0.2	-44.4
SA - 08	19	48	33	Franco Limo Arcilloso	8.7	41.35	0.1	-46.2
SA - 09	33	54	13	Franco Limoso	8.7	43.11	0	-49.9
SA - 10	42	53	5	Franco Limoso	8.8	29.19	0	-41.3
SA - 11	43	47	10	Franco	8.7	29.97	0.1	-44.4
SA - 12	56	37	7	Franco Arenoso	8.8	5.92	0	-45.7
SA - 13	25	50	25	Franco Limoso	8.6	13.36	0	-37.8
SA - 14	43	29	28	Franco Arcilloso	8.8	12.19	0	-45.6
SA - 15	87	12	1	Arena	9	20.53	0	-58.7
SA - 16	3	14	83	Arcilla	9.7	22.42	0	-95.6
SA - 17	56	19	25	Franco Arcillo Arenoso	9.4	15.87	0	-77.2
SA - 18	9	66	25	Franco Limoso	8.5	8.50	0	-30.1
SA - 19	78	11	11	Franco Arenoso	8.8	83.46	0	-47.6
SA - 20	82	16	2	Franco Arenoso	9.5	1.75	0	-85.7
SA - 21	25	58	17	Franco Limoso	8.9	4.80	0.1	-52.1
SA - 22	57	34	9	Franco Limoso	8.7	17.67	0	-45.8
SA - 23	42	40	18	Franco	9.5	32.01	0	-56.4
SA - 24	18	20	62	Limoso Arcilloso	9.2	16.33	0	-55.7
SA - 25	3	21	76	Limoso Arcilloso	9.1	11.05	0	-62.4
SA - 26	32	43	25	Franco	9.8	31.56	0.1	-106.2
SA - 27	17	63	20	Franco Limoso	9.2	14.55	0.2	-64.4
SA - 28	47	35	18	Franco	8.4	32.43	0	-26.9
SA - 29	48	37	15	Franco	9.5	6.40	0	-84.5
SA - 30	31	59	10	Franco Limoso	9.1	5.70	0	-61.3

Fuente: elaboración propia

Anexo 04: Estándares de calidad ambiental para el suelo en mg/kg.

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ^{(5)/ Industrial/ Extractivo⁽⁶⁾}	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

Anexo 05: Recolección de muestras de suelo agrícola.



Anexo 06: Recolección de muestras de lodos de drenaje y aguas de riego



Anexo 07: Etiquetado en campo.



Anexo 08. Preparación de muestras de suelos para análisis en laboratorio.



Anexo 09. Preparación de las muestras de granos de arroz.

