

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS DE INVESTIGACIÓN

**“DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS SERVIDAS
SOBRE EL SUELO Y CULTIVOS EN LA DESEMBOCADURA DEL
CANAL DE REGADÍO DE LAS SALINAS BAJO – CHANCAY – LIMA”**

EJECUTORA:

Bach. CLAUDIA FIORELLA HUAMANÍ CAHUAS

ASESOR:

Dr. HONORIO ELOY MUNIVE JÁUREGUI

HUACHO – PERÚ

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 015-2018/UCSS/FIA

Siendo las 10:00 am, del día 24 de noviembre de 2018, en pabellón G1 – aula 201 del Local Manuel Gonzáles Prada – Sede Lima - Universidad Católica Sedes Sapientiae, los miembros del Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Ing. Agr. Iris Cecilia Ordóñez Guerrero | Presidente |
| 2. Blga. Heidi Isabel Sánchez Torres | Primer Miembro |
| 3. Ing. Amb. Mabel Teodora Borda Olivas | Segundo Miembro |
| 4. Ing. Agr. Honorio Eloy Munive Jáuregui | Asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada: “**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LAS AGUAS SERVIDAS SOBRE EL SUELO Y CULTIVOS EN LA DESEMBOCADURA DEL CANAL DE REGADÍO DE LAS SALINAS BAJO - CHANCAY - LIMA**”; que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, la Srta. **Claudia Fiorella Huamaní Cahuas** cumpliendo así con los requerimientos exigidos en el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación, el Jurado luego de deliberar, acuerda:

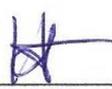
APROBAR

DESAPROBAR

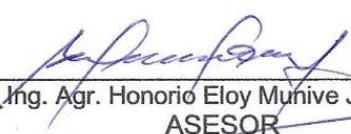
La tesis, con el calificativo de **Buena** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Firmado en Lima, 24 de noviembre de 2018.


Ing. Agr. Iris Cecilia Ordóñez Guerrero
PRESIDENTE


Blga. Heidi Isabel Sánchez Torres
1° MIEMBRO


Ing. Amb. Mabel Teodora Borda Olivas
2° MIEMBRO


Ing. Agr. Honorio Eloy Munive Jáuregui
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios que es mi guía y me protege en cada paso que doy y por darme una maravillosa familia con buenos valores.

A mis padres Benito Huamaní Ramírez y Amelia Isabel Cahuas García por el amor incondicional, el apoyo y creer en mí, por sus consejos, comprensión, cuidados y por transmitirme desde pequeña el amor por la naturaleza.

A mi hermano Luis Enrique por confiar en mí y darme su apoyo incondicional para culminar una de mis metas.

A mis hermanas Isabel, Roxana y Maritza, por la comprensión, cuidados y consejos.

A mi sobrino Karlo Díaz, con mucho cariño y afecto.

Los amo con todo mí ser, y no habrá día que no agradezca a Dios por haberme dado una ejemplar familia.

AGRADECIMIENTOS

De manera especial, agradecer al Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui, mi asesor, quién desde mi inicio como estudiante en la universidad hasta hoy me ha brindado su confianza y consejos. Por su amistad, orientación, apoyo y dedicación en la elaboración y revisión de esta investigación.

A mi alma mater la Universidad Católica Sedes Sapientiae por haber permitido lograr unas de mis metas, estudiar una carrera profesional.

A mis hermanos Luis Enrique y Maritza Angelica por la comprensión y apoyo constante en mi vida, hasta el último momento con esta investigación.

Un agradecimiento especial a Juan José Monroy Ramos, por todo el amor, amistad, compañía, comprensión y consejos que me brindó desde el primer día que nos conocimos.

A mis amigos Cristina, Luis alias Goku, Toshie, Paul, Ñuler y Jhonatan, gracias por sus consejos y amistad sin reservas, que fue y es un aliciente más para esforzarme y terminar con mis metas, los quiero mucho y me siento honrada por tenerlos a mi lado por siempre.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CARÁTULA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE APÉNDICES	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. MARCO NORMATIVO	10
1.2.1. Constitución política del Perú	10
1.2.2. Ley general del ambiente	10
1.2.3. Ley de recursos hídricos	12
1.2.4. Reglamento de la ley de recursos hídricos	16
1.2.5. Modificación del reglamento de la ley de recursos hídricos	20
1.2.6. Ley orgánica de gobiernos regionales	21
1.2.7. Ley orgánica de gobiernos municipales	21
1.2.8. Ley general de salud	22
1.2.9. Reglamento de organización y funciones del Ministerio de Salud	23
1.2.10. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. N° 002-2008-MINAM	24
1.2.11. Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. N° 023-2009-MINAM	24
1.2.12. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. N° 015-2015-MINAM	25
1.2.13. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. N° 004-2017-MINAM	26

1.3. BASES TEÓRICAS	28
1.3.1. Agua	28
1.3.2. Contaminación del agua	29
1.3.2.1. Aguas servidas	32
1.3.2.2. Parámetros físicos del agua	34
1.3.2.3. Parámetros químicos del agua	35
1.3.2.4. Metales pesados en agua	44
1.3.2.5. Uso de aguas servidas en la agricultura	52
1.3.3. Suelo	54
1.3.4. Contaminación del suelo	54
1.3.4.1. Parámetros químicos del suelo	56
1.3.4.2. Metales pesados	61
1.3.5. Cultivo agrícola	74
1.3.6. Contaminantes microbiológicos en cultivos agrícolas	75
1.3.6.1. Parámetros microbiológicos del agua, suelo y cultivos agrícolas	77
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	81
2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	81
2.1.1. Lugar y fecha	81
2.1.2. Población y muestra	82
2.1.2.1. Población	82
2.1.2.2. Muestra	83
2.1.3. Tipo de investigación	85
2.1.4. Descripción de la investigación en campo	86
2.1.4.1. Fase preliminar	86
2.1.4.2. Fase de campo	86
2.1.4.3. Fase de laboratorio	87
2.1.4.4. Fase de gabinete	88
2.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES Y SU MENSURACIÓN	89
2.2.1. Contaminación del agua	89
2.2.2. Contaminación del suelo	90
2.2.3. Contaminación de cultivos agrícolas	90
2.3. ANÁLISIS DE DATOS	91

2.3.1. Parámetros físicos, químicos y metales pesados en el agua	91
2.3.2. Clasificación y peligro de sales-sodio	93
2.3.3. Clasificación y peligro de boro y dureza	94
2.3.4. Conductividad eléctrica en el suelo	95
2.3.5. Materia orgánica, calcáreo total, fósforo y potasio en el suelo	96
2.3.6. Reacción del suelo	97
2.3.7. Parámetros microbiológicos de aguas y plantas	98
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	99
3.1. RESULTADOS	99
3.1.1. Resultados de los análisis físico, químico y microbiológico del agua del canal de regadío de las Salinas Bajo	99
3.1.1.1. Análisis físico del agua de Riego	99
3.1.1.2. Análisis químicos del agua de riego	100
3.1.1.3. Análisis de metales pesados en el agua	101
3.1.1.4. Análisis microbiológico del agua	101
3.1.2. Resultados del análisis de los suelos agrícolas de las Salinas Bajo	102
3.1.2.1. Análisis químico del suelo	102
3.1.2.2. Análisis de metales pesados en el suelo	103
3.1.2.3. Análisis microbiológico en el suelo	104
3.1.3. Resultados del análisis microbiológico en el cultivo de la lechuga, fresa y betarraga cultivados en los suelos de las Salinas Bajo	105
3.2. DISCUSIONES	106
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	131
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	136
TERMINOLOGÍA	151
APÉNDICES	153

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución del agua en la tierra	28
Tabla 2. Principales contaminantes del agua	31
Tabla 3. Variables físicas, químicas, metales pesados y microbiológicas del agua	89
Tabla 4. Variables químicas, metales pesados y microbiológicas del suelo	90
Tabla 5. Variables microbiológicas en plantas	90
Tabla 6. Estándares nacionales de calidad ambiental para el riego de vegetales	91
Tabla 7. Rangos de pH del agua y efectos esperables	92
Tabla 8. Clasificación y peligro de sales	93
Tabla 9. Clasificación y peligro del sodio	93
Tabla 10. Clasificación y peligro del boro	94
Tabla 11. Clasificación y peligro del cloruro	94
Tabla 12. Clasificación y peligro de la dureza	95
Tabla 13. Clasificación de la salinidad en función de la C.E. del suelo	95
Tabla 14. Materia orgánica, fósforo y potasio en el suelo	96
Tabla 15. Clasificación de carbonato de calcio (CaCO ₃) en los suelos	96
Tabla 16. Clasificación del pH del suelo (USDA)	97
Tabla 17. Estándares nacionales de calidad ambiental para el riego de vegetales	98
Tabla 18. Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos	98
Tabla 19. Resultados del análisis físico del agua	99
Tabla 20. Resultados del análisis químico del agua	100
Tabla 21. Resultados del análisis de metales pesados del agua	101
Tabla 22. Resultados del análisis microbiológico del agua	102
Tabla 23. Resultados del análisis químico del suelo	103
Tabla 24. Resultados del análisis de metales pesados en el suelo	103
Tabla 25. Resultados del análisis microbiológico en el suelo	104
Tabla 26. Resultados del análisis microbiológico en cultivos agrícolas	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento	33
Figura 2. Diagrama de clasificación de calidad de aguas para riego agrícola - Normas de Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory).	41
Figura 3. Unidades agropecuarias, por calidad del agua de riego - Chancay	53
Figura 4. Superficie agrícola bajo riego, por calidad del agua de riego - Chancay.	54
Figura 5. pH y disponibilidad de nutrientes	58
Figura 6. Reacciones de sodificación en suelos ácidos, neutros y alcalinos	61
Figura 7. Modelo multifactorial de determinantes asociados a la contaminación microbiológica de hortalizas	76
Figura 8. Principales fuentes de contaminación fecal de hortalizas	77
Figura 9. Fases de la investigación	86

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Mapa satelital del área en estudio	153
Apéndice 2. Método de muestreo	154
Apéndice 3. Ubicación general de la toma de muestras y puntos de coordenadas	155
Apéndice 4. Ubicación de toma de muestras de agua del canal	156
Apéndice 5. Ubicación de toma de muestras de suelo y cultivos	156
Apéndice 6. Resultados de análisis de laboratorio	157
Apéndice 7. Condiciones de suelos	185
Apéndice 8. Conversiones	188
Apéndice 9. Fotografías	189

RESUMEN

En Chancay, Lima, Perú, no están bien identificados los problemas que existen en la utilización de agua para el riego en la zona de las Salinas Bajo, entre ellos la distribución del agua y los niveles de contaminación en el canal de irrigación. El agua de riego no solo es proveniente del río Chancay, sino que en su trayecto se vierten aguas servidas que no han recibido un tratamiento, por esta razón se consideró importante determinar el efecto contaminante de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos agrícolas en la desembocadura del canal de regadío, mediante análisis fisicoquímicos, contenido de metales pesados y microbiológicos del agua, suelo y cultivos de la zona, para ello se tomó muestras de agua al inicio y final del canal en tres horarios (8:00, 13:00 y 18:00 horas), formando un total de 12 muestras; para el suelo se consideraron 10 muestras y para los cultivos 6 muestras. Como resultado se obtuvo que las aguas se clasificaron como muy duras, alcalinas y de acuerdo con la R.A.S. son de C3-S1 que lo califica de salinidad media. Además, estas aguas presentan gran carga contaminante de sólidos suspendidos que provocan la turbidez y las otras variables químicas como los metales pesados están por debajo de los ECAs establecidos; sin embargo, en la mayoría de las muestras resultó que para coliformes fecales, totales y *Escherichia coli* sobrepasaron los ECAs, con una mayor tendencia al final del canal de regadío. Los resultados de la caracterización indican que los suelos son básicos, salinos y calcáreos, con bajo contenido de M.O., alto contenido de P y medio en K, los metales pesados fueron encontrados en el siguiente orden: Fe>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd, sin problemas de exceso. Referente a los coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* se han encontrado en cantidades medias en el suelo mientras que en los cultivos hay una presencia aceptable. Se concluye que el mayor problema de contaminación está presente en el agua, provocando la contaminación del suelo y los cultivos, por lo tanto, debe ser tratada para evitar que en un futuro sea fuente de propagación de enfermedades y de bioacumulación de metales pesados como el cromo identificado como moderadamente tóxico en los suelos y las plantas, que pueden afectar la salud de los habitantes.

Palabras claves: *Contaminación, aguas servidas, canales de irrigación, calidad de suelos y cultivos agrícolas.*

ABSTRACT

In Chancay, Lima, Peru, the problems that exist in the use of water for irrigation in the area of the Salinas Bajo are not well identified, among them the distribution of water and the levels of contamination in the irrigation canal. Irrigation water is not only coming from the Chancay river, but in its path is discharged wastewater that has not received a treatment, for this reason it was considered important to determine the contaminating effect of wastewater on soil and agricultural crops in the mouth of the irrigation canal, through physicochemical analysis, content of heavy and microbiological metals of the water, soil and crops of the area, for this water samples were taken at the beginning and end of the channel in three hours (8:00, 13:00 and 18:00 hours), forming a total of 12 samples; for the soil 10 samples were considered and for the crops 6 samples. As a result, it was obtained that the waters were classified as very hard, alkaline and in accordance with R.A.S. are of C3-S1 that qualifies it as average salinity. In addition, these waters have a high pollutant load of suspended solids that cause turbidity and the other chemical variables such as heavy metals are below the established ECAs; however, in most of the samples it was found that for fecal coliforms, total and *Escherichia coli* surpassed the ECAs, with a higher tendency at the end of the irrigation channel. The results of the characterization indicate that the soils are basic, saline and calcareous, with low content of M.O., high content of P and medium in K, the heavy metals were found in the following order: Fe>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd, without problems of excess. Regarding total coliforms, fecal coliforms and *Escherichia coli* have been found in medium quantities in the soil while in the crops there is an acceptable presence. It is concluded that the biggest problem of contamination is present in the water, causing the contamination of soil and crops, therefore, it must be treated to avoid that in the future it is a source of disease propagation and bioaccumulation of heavy metals such as chromium identified as moderately toxic in soils and plants, which can affect the health of the inhabitants.

Keywords: *Pollution, sewage, irrigation channels, soil quality and agricultural crops.*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional se ha incrementado en los últimos tiempos de forma rápida y sin control, aumentando así la demanda por los servicios de agua potable y saneamiento. Sin embargo, en la actualidad existen hogares que carecen de uno de estos servicios o ambos, y la mayoría de los efluentes no reciben un tratamiento. La causa de que carezcan de varios servicios se debe en su mayoría a factores políticos, sociales y económicos. En diversos países, los conflictos políticos y sociales, en su lucha por el poder y el control, desvían el uso de los recursos monetarios hacia otros fines, dejando de lado las necesidades básicas de la población. En el año 2015 el 39 por ciento de la población mundial (2 900 millones de personas) contó con un servicio de saneamiento gestionado de forma segura, mientras que el 78 por ciento de la población en América Latina y el Caribe no cuenta con servicio seguro de saneamiento (Organización Mundial de la Salud [OMS] y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2017). En el año 2017 solo el 3,8 por ciento de la población del Perú contó con sistema de eliminación de excretas fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación, siendo en la actualidad, un gran problema de contaminación en el país (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018).

Países de Asia, África y Latinoamérica (China, India, Libia, Namibia, Haití, Chile, entre otros) se confrontan al problema de cómo alimentar a la mayor cantidad de habitantes en condiciones desfavorables por la continua escasez de agua. En general las ciudades de países en desarrollo (Bogotá, Buenos Aires, Lima, São Paulo, entre otros) no cuentan con los recursos para tratar las aguas servidas, carecen de instituciones y de la legislación indispensable para controlar la contaminación. En tales circunstancias, estos contaminantes se dirigen hacia los ríos, canales, lagos o al mar. Con mayor frecuencia, los agricultores que dependen del agua para el riego de sus cultivos no están conscientes de esta amenaza (Vander, 2002).

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas, es la de verter directamente el efluente sin tratamiento alguno hacia las aguas superficiales y en el suelo; en consecuencia, la calidad de estas aguas puede originar varios tipos de problemas: la alta incidencia de enfermedades infecciosas y problemas ambientales, afectando la conservación de los ecosistemas acuáticos y edáficos del suelo (Mara, 1996;

Pierce & turner, 1990, citado por Silva, Torres y Madera, 2008). El uso de aguas servidas de origen antrópico para riego en la agricultura es un grave problema en Latinoamérica y particularmente en Perú, especialmente en lugares donde escasea el agua de riego. A pesar de la evidencia de presencia de agentes microbiológicos patógenos, alta concentración de sales disueltas y metales pesados, entre otros, no existen suficientes estudios sobre el impacto de este accionar sobre el medio ambiente y la salud de la población.

La Sierra y Selva Peruana son zonas con bajo desarrollo económico, a pesar de que su actividad agrícola comprende de 3 296 000 y 2 142 000 ha aproximadamente y comparten el 98,2 por ciento de los recursos hídricos. En comparación con la Costa que cuenta con mayor población y solo dispone de 1,8 por ciento de los recursos hídricos, presentando valores muy cercanos al estrés hídrico ($2\ 067\ \text{m}^3\cdot\text{año}^{-1}$). Sin embargo, la Costa es la zona con mayor desarrollo económico, con una actividad agrícola de 1 686 777 ha (INEI, 2013, citado por Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

Debido al actual cambio de estilo de vida en la población, se hace más recurrente el consumo de hortalizas y otras especies, importantes dentro de una dieta balanceada para tener una vida más saludable, ya que poseen una gran variedad de propiedades nutritivas; sin embargo, por sus características de cultivo estas están expuestas a contaminación de tipo biológico y químico, siendo de gran riesgo para la salud de las personas e incluso de los animales. La presencia de una enterobacteria del grupo de los coliformes como la *Escherichia coli*, lo convierte en un buen indicador de contaminación fecal, así mismo, existen otros microorganismos causantes de enfermedades como el cólera (*Vibrio cholerae*), amebiasis (ameba, parásito, protozooario y *Entamoeba histolytica*), hepatitis (Virus A (HAV) y E (HEV)), fiebre tifoidea (*Salmonella typhi*) y shigelosis (bacteria *Shigella*); algunos de estos microorganismos tienen la capacidad de sobrevivir por largos períodos en las hortalizas frescas, así como a procesos de desinfección y almacenamiento (Rivera, Rodríguez y López, 2009), sumándose a esto la posible contaminación de los suelos por metales pesados que también pueden tener un efecto negativo al ser transmitidos a las plantas cultivadas.

En las tierras de uso agrícola de las Salinas Bajo se utiliza un canal de regadío que proviene de una derivación del río Chancay, que en su trayecto recibe descargas de aguas servidas de la población del centro poblado Peralvillo. Este pueblo no cuenta con una planta de

tratamiento, por lo tanto, los efluentes van directo al canal de regadío (para la utilización en campos de cultivo de hortalizas, forrajes, tubérculos y frutales) para luego desembocar en el humedal o en el mar; cabe resaltar que en la zona los productores venden con frecuencia al mercado local y de Lima dichos cultivos para el consumo humano y animal. Por lo tanto, se planteó si las aguas servidas usadas como riego contaminan tanto al suelo como a los cultivos; y representan un riesgo para la salud de los productores y consumidores de la zona de influencia de Las Salinas Bajo, Chancay. Por tal motivo, con el presente estudio se determinó el efecto contaminante de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de las Salinas Bajo y así poder comprender si existen riesgos de contaminación ambiental y en la salud humana.

En el presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar el efecto contaminante de las aguas servidas sobre el suelo y cultivos en la desembocadura del canal de regadío de las Salinas Bajo - Chancay - Lima.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros físico-químicos, el contenido de metales pesados y la presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en el agua que es utilizada para los riegos en la zona en estudio.
- Caracterizar los suelos de las Salinas Bajo que están siendo irrigadas con aguas servidas.
- Determinar los parámetros físico-químicos, el contenido de metales pesados y de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en el suelo.
- Determinar contenido de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en la lechuga, betarraga y fresa cultivados con aguas servidas.

CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ANTECEDENTES

Méndez, Gisbert, García y Marqués (2003) determinaron la concentración media de metales pesados totales y la relación con diversas propiedades de suelos cultivados con “arroz” (*Oryza sativa* L.), regados con aguas residuales de la Acequia de Favara durante más de 20 años en la Huerta de Valencia, España. Se delimitó un área de suelo cultivado de donde se tomaron 96 muestras, las cuales fueron evaluadas mediante el análisis estadístico multivariante. Los resultados revelaron que los suelos se clasifican como Oxyaquic Xerofluvents debido a que poseen alto contenido de materia orgánica (M.O.) con 3,4 por ciento, una elevada capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) con 20,2 cmol.kg⁻¹, pH alcalino con 7,7 por predominancia de cloruro de sodio (NaCl), carbonato de calcio (CaCO₃) y sulfatos de calcio (CaSO₄) y magnesio (MgSO₄).

La concentración de los metales pesados en los suelos fueron para Cadmio (Cd): 0,8 mg.kg⁻¹, Cromo (Cr): 84,86 mg.kg⁻¹, Cobre (Cu): 118,51 mg.kg⁻¹, Hierro (Fe): 23,9 g.kg⁻¹, Manganeso (Mn): 464,55 mg.kg⁻¹, Níquel (Ni): 47,17 mg.kg⁻¹, Plomo (Pb): 65,40 mg.kg⁻¹, Zinc (Zn): 146,34 mg.kg⁻¹ y Molibdeno (Mo): 5,4 mg.kg⁻¹; presentando el siguiente orden Fe>Mn>Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Mo>Cd. Los factores obtenidos a través del programa BMDP4M (1990) fueron: a) factor 1 con 37,11 por ciento de variabilidad manifiesta la relación de Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn y Fe con la arcilla. b) factor 2 con 19,02 por ciento de variabilidad presenta relación entre el Cd, la salinidad, la M.O. y la CIC. c) factor 3 con 13,75 por ciento se relaciona con los carbonatos y la arena. d) el factor 4 con 8,29 por ciento manifiesta relación entre el Mo y el pH. Se presentaron riesgos de fitotoxicidad debido a la concentración total de Zn, Pb, Cr, Ni, Mo y Cu en los suelos, y la de Cd, Cr, Cu, Pb, Mo, Mn y Ni en las aguas de riego superando así los límites establecidos por la Legislación Española, Unión Europea y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (Méndez et al., 2003).

Méndez, Ricardo, Pérez, Hernández y Campos (2006) indicaron que el uso de las aguas residuales a través de la irrigación es una alternativa en la agricultura urbana. Pretendieron hacer un mayor uso de las aguas con la técnica de riego a goteo en cultivos que no se consumen frescos. Llevaron a cabo los trabajos de campo en dos áreas: la primera fue controlada en plazoletas, con la “flor de marigold” (*Tagetes erecta* L.) y la segunda fue en el suelo con los cultivos de “zanahoria” (*Daucus carota* L.) y “rábano” (*Raphanus sativus* L.). Como resultado se tuvo que las aguas residuales del afluente Luyanó en Cuba fueron clasificadas como aguas de baja contaminación, además, toxicológicamente no representaron riesgo de contaminación para el suelo, ni para el medio ambiente, sin embargo, no deben utilizarse sin tratamiento previo en cultivos de consumo directo, debido a que presentan gran carga microbiana con coliformes totales desde 11×10^5 a 54×10^5 NMP.100ml⁻¹ y para coliformes fecales desde 22×10^4 a 350×10^4 NMP.100ml⁻¹. Obtuvieron 24,00 meq.100 g⁻¹ para el fósforo (P), 7,9 rango de pH, 3,58 por ciento de M.O., < 0,20 a 3 313,40 NMP.gps⁻¹ (número más probable/gramo de peloide) de coliformes fecales después del riego en los suelos. Obtuvieron mayor rendimiento en los cultivos de “marigold”, “rábano” y “zanahoria” ya que fueron irrigadas con aguas residuales, debido al gran valor fertilizante de NPK que estas aguas tienen. Los análisis bacteriológicos realizados en la cosecha del “rábano”, no mostraron ningún tipo de contaminación; así como tampoco para el suelo ni el entorno agrícola.

Zamora, Rodríguez, Torres y Yendis (2008) comprobaron que, en la Planicie de Coro - Venezuela el uso de aguas residuales son una alternativa eficaz para el riego y determinaron su efecto sobre algunos parámetros químicos en suelos de tres unidades de producción. Se cultivan aproximadamente 300 ha de pastizales con uso permanente del agua y se tomaron 8 muestras de suelo, con cultivo de hortalizas del “melón” (*Cucumis melo* L.) y “pimentón” (*Capsicum annuum* L.) con uso intermitente del agua se tomaron 3 muestras luego del ciclo de cosecha y se tomaron 2 muestras del suelo virgen sin uso de aguas residuales. Previamente se recolectaron

muestras de aguas residuales cuyo tratamiento consistía en dos lagunas de oxidación.

Los resultados indicaron que el punto de descarga y la primera laguna de oxidación presentaron los mismos niveles de concentración de metales, así mismo, en ambas lagunas de oxidación (I y II) no presentaron niveles altos de metales como Cd (0,020 y 0,005 mg.L⁻¹), Cu (0,05 mg.L⁻¹), Cr (0,10 y 0,05 mg.L⁻¹), Fe (0,05 y 0,10 mg.L⁻¹), Pb (0,1 mg.L⁻¹) y Zn (0,1 mg.L⁻¹), solo mostraron altos valores de coliformes totales con 16x10⁶ NMP.100ml⁻¹ y 13x10⁴ NMP.100ml⁻¹, y para riego con 3x10⁴ NMP.100ml⁻¹, reflejando la no remoción de P con 5,1 mg.L⁻¹ y nitrógeno (N) con 23 mg.L⁻¹, siendo esto importante en la fertilidad del suelo. Se halló que la aplicación constante de aguas residuales en los suelos con pastizales aumentó los niveles de M.O. con 43,1 g.kg⁻¹, en suelos con hortalizas y con riego intermitente se halló 13,3 g.kg⁻¹ y en suelo virgen con 8,5 g.kg⁻¹, encontrándose un efecto prometedor para la fertilidad de los suelos; sin embargo, el uso continuo de las aguas residuales elevó los contenidos de Cd (2,30 mg.kg⁻¹) y Pb (23,30 mg.kg⁻¹) en el suelo, que implicarían riesgos sobre la salud por la probable contaminación de metales pesados en los cultivos (Zamora et al., 2008).

Neri (2008) evaluó los efectos ambientales y sociales de la agricultura causados por el uso de aguas residuales del canal Chilhuacán procedentes del río Nexapa, México, debido a que la zona agrícola se riega con aguas residuales, es altamente productiva, pero con un riesgo implícito para suelos y cultivos, ya que estas aguas tienen contaminantes, primordialmente metales pesados y una alta salinidad. Se realizaron muestreos y análisis de agua, suelo y cultivos, para determinar el grado de contaminación. La calidad del agua fue clasificada como C3-S1, y calificada como altamente salina debido por tener de 0,94 a 1,41 dS.m⁻¹ de conductividad eléctrica, la concentración de los metales pesados se encontró en el siguiente orden decreciente: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Cu>Cd, además de un elevado contenido de coliformes fecales (15x10² a 24x10⁴ NMP.100ml⁻¹) y entre uno y tres huevos de helminto.

En los suelos, encontraron pH: 7,50, M.O.: 2,33 por ciento, C.E.: 0,74 dS.m⁻¹, P: 39,28 mg.kg⁻¹, K: 423,00 mg.kg⁻¹ y los metales pesados disponibles en orden decreciente tuvieron la siguiente relación: Fe>Mn>Zn> Cu>Cd>Ni>Pb. En cuanto a los cultivos analizados; la “alfalfa” (*Medicago sativa* L.), la “cebolla” (*Allium cepa* L.) y en “cilantro” (*Coriandrum sativum* L.), presentaron un contenido de metales pesados en el siguiente orden: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Cd>Pb, mostrando concentraciones normales con respecto a los rangos propuesto por Kabata-Pendias y Pendias, a excepción del “cilantro” (2,04 mg.kg⁻¹) y “alfalfa” (0,34 a 2,25 mg.kg⁻¹) que registraron niveles altos de Cd. Posteriormente realizaron una caracterización de las actividades generales de los agricultores, en el cual se identificaron siete tipos de productores, que se distinguen según el tipo de cultivo (forrajes, hortalizas y flores) y por el tamaño de la explotación agrícola. Finalmente, se concluyó que la única alternativa que tienen los agricultores en primera instancia es abandonar sus campos de cultivos para emigrar a otras ciudades o países, debido a que saben los riesgos que involucra producir con aguas contaminadas (Neri, 2008).

Larrea et al. (2009) mencionan que el aumento del uso del agua para diferentes actividades y el crecimiento de la población a nivel mundial han contribuido al incremento de los niveles de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo una problemática que se presenta en la actualidad, debido al constante vertimiento de desechos domésticos e industriales que constituyen una fuente de deterioro del medio ambiente. La alternativa para realizar un control fiable, económico y rápido de la calidad microbiológica del agua es el uso de indicadores de contaminación fecal (los coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos). Las bacterias indicadoras permiten realizar la clasificación sanitaria de las aguas para diferentes usos, la determinación de criterios para las normas de calidad, la identificación de contaminantes, el control de procesos de tratamiento de agua y estudios epidemiológicos, entre otros.

Rivera et al. (2009) determinaron el nivel de coliformes fecales y la frecuencia de *Escherichia coli* en 85 muestras de 200 g de varias hortalizas, sin mostrar lavado y obtenidas de manera aleatoria en tres mercados de Cajamarca, Perú. Los campos de cultivos son de gran extensión en la ciudad, siendo regados con agua de ríos que en su recorrido reciben vertidos de aguas residuales sin tratar. Se muestrearon cinco tipos de hortalizas: “cebolla” (*Allium cepa*), “rabanito” (*Raphanus sativus*), “culantro” (*Coriandrum sativum*), “lechuga” (*Lactuca sativa* L.) y “perejil” (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss). El procesamiento, aislamiento e identificación bacteriana se realizó según el manual de procedimientos bacteriológicos de la Food and Drug Administration (FDA, 2012), encontrándose que el perejil con 36,8 por ciento y la lechuga también con 36,8 por ciento del total de positivos que presentaron los índices más altos de contaminación con más de 10^3 NMP.g⁻¹ de las muestras analizadas para bacterias coliformes, cada especie presentó un promedio de 4×10^3 y 5×10^3 NMP.g⁻¹ de coliformes, respectivamente, a diferencia del rabanito que dio como resultado la presencia menor al 10^3 NMP.g⁻¹. Se evidenció que el 24 por ciento del total de las muestras analizadas presentó *Escherichia coli* siendo más habitual en lechuga, perejil y rabanito. Concluyeron que da la necesidad de establecer medidas de control para prevenir riesgos a la salud, a consecuencia del elevado nivel de contaminación fecal y el inaceptable estado sanitario.

Navarro y Nieto (2010) realizaron una investigación en la ciudad de Tula del Valle Mezquital, Hidalgo, México, en donde estudiaron la potencialidad del uso de aguas residuales sobre la calidad post cosecha, rendimiento y presencia de contaminantes en frutos de tomate, cuyas plantas fueron irrigadas con agua residual en un ensayo en hidroponía y en el suelo. Realizaron análisis del agua residual, encontrando los siguientes valores de pH: 6,82, C.E.: 1,45 dS.m⁻¹, K⁺: 0,89 meq.L⁻¹, Ca²⁺: 6,22 meq.L⁻¹, Mg²⁺: 2,05 meq.L⁻¹, Na⁺: 4,28 meq.L⁻¹, HCO₃⁻: 6,87 meq.L⁻¹, SO₄²⁻: 1,23 meq.L⁻¹, Cl⁻: 6,72 meq.L⁻¹, N-NO₃: 2,78 mg.L⁻¹, P: 0,38 mg.L⁻¹, Fe: 0,13 mg.L⁻¹, Cu: 0,01 mg.L⁻¹, Zn: 0,05 mg.L⁻¹, Mn: 0,11 mg.L⁻¹ y boro (B): 1,02 mg.L⁻¹, mientras que en el análisis del suelo encontraron pH: 7,41, C.E.: 11,63 dS.m⁻¹, M.O.: 4,03 por ciento, P: 98,03 mg.kg⁻¹, K: 1 370 mg.kg⁻¹, CO₃: 1,45 meq.L⁻¹, HCO₃⁻: 3,94

meq.L⁻¹, Fe: 10,95 mg.kg⁻¹, Cu: 2,72 mg.kg⁻¹, Zn: 6,44 mg.kg⁻¹, Mn: 2,35 mg.kg⁻¹ y B: 8,34 mg.kg⁻¹.

Los resultados del estudio indicaron que las aguas residuales favorecieron la calidad post cosecha en los parámetros de sólidos solubles totales, color del fruto y menor acidez. Aunque el uso de estas aguas disminuyó el tamaño del fruto, pero incrementó la cantidad de frutos, afectando el rendimiento con 22,12 por ciento en sustrato hidropónico y 12,62 por ciento en suelo. En los frutos no se encontró la presencia de Cd, Cr VI, arsénico (As) ni mercurio (Hg), pero si se encontraron otros metales como Pb: 0,020 mg.100g⁻¹, Cr total: 86 mg.100g⁻¹, Zn: 0,36 mg.100g⁻¹, aluminio (Al): 5,39 mg.100g⁻¹, bario (Ba): 0,037 mg.100g⁻¹, B: 0,103 mg.100g⁻¹, Cu: 0,723 mg.100g⁻¹, Fe: 0,109 mg.100g⁻¹ y Mn: 0,107 mg.100g⁻¹, siendo valores inferiores a los establecidos como riesgosas para el ser humano. No se evidenció la presencia de *Shigella* spp. ni *Salmonella* spp., en los frutos lavados y sin lavar, mientras que para *Escherichia coli* las cantidades expresadas en unidades formadoras de colonias (UFC) en los frutos fueron menores a 3,0 UFC.g⁻¹, estando por debajo de los valores establecidos que es de 50-100 UFC.g⁻¹. Concluyeron que el uso de soluciones nutritivas con agua residual y riego por goteo no implicaría un peligro e incluso puede reducir el riesgo de contaminación por metales y microorganismos, al no estar el agua residual en contacto con las plantas (Navarro & Nieto, 2010).

Sarabia, Cisneros, Aceves, Durán y Castro (2011) reportan que, debido a la poca disponibilidad de agua subterránea para riego, algunos agricultores de los municipios de Soledad de Graciano Sánchez y San Luis Potosí, México, utilizan para riego pozos emplazados en los acuíferos y también aguas residuales procedentes de efluentes domésticos e industriales. Mediante un muestreo analizaron la calidad del agua, la calidad del suelo y cultivos agrícolas; las muestras fueron analizadas para evaluar sus características químicas y microbiológicas. Los resultados indicaron que algunas muestras de agua excedieron el límite en la concentración de sulfatos (SO₄²⁻: 2,58 meq.L⁻¹) y C.E. con más del 60 por ciento,

superando $1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ según la norma oficial mexicana (NOM-001-ECOL-1996) para uso agrícola. Obtuvieron para los HCO_3^- : $5,69 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, CO_3^{2-} : $0,00 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, B: $0,39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pH: > 8 , mientras que con la C.E. y SAR (C3-S1) estas aguas fueron consideradas como altamente salina y bajas en sodio ($3,98 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$). Se evidenció que el 75 por ciento de muestras presentan elevadas concentraciones de nitratos en agua de riego ($0,23 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$).

La concentración de sólidos disueltos totales (SDT) y coliformes fecales excedieron en ciertos casos a lo establecido en la norma NOM-127-SSA-1994, mientras que en el suelo las concentraciones de metales presentaron valores dentro de la norma. Además, el 95 por ciento de los suelos tienden a la alcalinidad, sin problemas de salinidad y con suficientes niveles de M.O., P: $> 25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y K: 500 a $1500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. En el caso de los cultivos no se presenció exceso de metales porque no sobrepasaron los valores establecidos en la norma (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004). Sin embargo, recomendaron realizar un análisis más amplio y detallado de elementos traza en aguas, suelos y cultivos (Sarabia et al., 2011).

El Said (2012) manifestó que la ingestión de verduras crudas representa un importante medio de transmisión de diversas enfermedades infecciosas. Detectó la contaminación parasitaria en algunos vegetales comunes crudos en Alejandría, Egipto. Los resultados fueron que los parásitos intestinales se detectaron en el 31,7 por ciento de las muestras examinadas. Los parásitos incluidos fueron huevos de *Ascaris lumbricoides*, huevos de *Toxocara* spp., huevos de *Hymenolepis nana*, quistes de *Giardia* spp., ooquistes de *Cryptosporidium* spp., ooquistes *Cyclospora* spp. y las esporas de *Microsporidium* spp. Agrega que el número más alto se detectó en muestras contaminadas en “arúgula” (*Eruca sativa* Lam.) con un 46,7 por ciento; mientras que el menor número de contaminación en muestras se detectó en la “cebolla verde” (*Allium cepa*) con un 13,3 por ciento.

Los ooquistes *Cryptosporidium* spp., fueron las que tuvieron prevalencia en vegetales crudos con un 29,3 por ciento en muestras de arúgula. Después de *Cryptosporidium* spp., la incidencia de parásitos se mostró en la siguiente proporción: esporas de *Microsporidium* spp. (25,3 por ciento), ooquistes de *Cyclospora* spp. (21,3 por ciento), huevos de *Ascaris lumbricoides* (20,3 por ciento), huevos de *Toxocara* spp. (19 por ciento), quistes de *Giardia* spp. (6,7 por ciento) y finalmente los huevos de *Hymenolepis nana* Siebold (2,6 por ciento). El número de muestras contaminadas fue significativamente más alto en primavera y verano. El autor estimó que estos hallazgos pudieron tener implicaciones importantes para la seguridad alimentaria mundial e hizo hincapié en la importancia de las verduras crudas en la salud pública que amenaza la transmisión de parásitos intestinales a los seres humanos en Alejandría, Egipto (El Said, 2012).

Hernández, Quiñones, Cristóbal y Rubiños (2014) investigaron que los agricultores, al estar en contacto directo con las aguas residuales, padecen enfermedades gastrointestinales a causa de coliformes y parásitos. Por tal motivo evaluaron coliformes fecales en aguas residuales, suelo y plantas, y huevos de helmintos solo en aguas residuales en el módulo II del Distrito de Riego 028, Tulancingo, Hidalgo, México. Las muestras de agua se colectaron en el año 2009, durante la época seca y de lluvias. La recolección de aguas residuales se hizo de acuerdo con la norma mexicana (NMX-AA-003-1980). También se tomaron muestras de suelo, de acuerdo con la norma por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (NOM-021-SEMARNAT-2000); y las muestras de cultivos como: “avena forrajera” (*Avena sativa* L.), “maíz forrajero” (*Zea mays* L.), “alfalfa verde” (*Medicago sativa*) y “trébol verde” (*Trifolium pratense* L.), se tomaron cerca de los canales de riego. El análisis bacteriológico y de helmintos se hizo acorde con las normas: NMX-AA-003-1980, NOM-001-SEMARNAT-1996, PROY NMX-AA-042-SCFI-2008 y en la sección 9810 APHA. Se determinaron 16 sitios de muestreo de aguas en los canales de riego y se tomaron 54 muestras, tanto de suelo como de plantas. Las concentraciones más altas de coliformes fecales en el agua fueron 2×10^{10} NMP.100ml⁻¹, en el suelo fue 10^9 NMP.100g⁻¹, en la raíz se encontró 10^9 NMP.100g⁻¹ y en el tallo se encontró 3×10^9 NMP.100g⁻¹. Once de los dieciséis sitios

de muestreo tuvieron helmintos. Sugieren que se debe tratar las aguas residuales antes del uso, para evitar problemas de salud entre los usuarios.

Bonilla, Ayala, González, Santamaría y Silva (2015) investigaron la calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 “Valsequillo” en Puebla, México, y a la vez realizaron la clasificación del agua para su uso en la irrigación, debido a que el agua no recibía ningún tratamiento. Tomaron una muestra de agua por cada estación de monitoreo (11) para el respectivo análisis; como resultado obtuvieron pH: 6,8 a 8,5, sólidos suspendidos totales: 4,0 a 26 mg.L⁻¹, el agua fue altamente salina con respecto a la C.E.: 879,00 a 895,00 µS.cm⁻¹, se clasificó como C3-S1 según el SAR: 0,97 a 2,79 meq.L⁻¹, la alcalinidad: 228,00 a 254,00 mg.L⁻¹, Cl⁻: 65,23 a 83,66 mg.L⁻¹, SO₄²⁻: 72,13 a 1309,89 mg.L⁻¹, además encontraron una relación muy importante entre los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺, determinando concentraciones de Ca²⁺ entre 57,72 a 102,60 mg.L⁻¹, de Mg²⁺ entre 1,95 a 56,64 mg.L⁻¹, el Na⁺ osciló entre 46,20 mg.L⁻¹ a 97,80 mg.L⁻¹ y por último el K⁺ entre 2,30 a 16,40 mg.L⁻¹ (estos valores sobrepasaron el rango de 0 a 2 mg.L⁻¹ de Ayers y Westcot - 1987), además mencionan que altas concentraciones de Na⁺ en las aguas de regadío contribuyen al aumento de salinidad en el suelo, afectando la permeabilidad y causando problemas de infiltración, debido a que el Na⁺ cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones. El exceso de iones de Na⁺ desplaza el Ca²⁺ y Mg²⁺, provocando la dispersión y desagregación del suelo. Finalmente concluyeron que el agua no es aceptable para uso en riego de cultivos sin previo tratamiento.

1.2. MARCO NORMATIVO

Últimamente en el Perú se ha implementado una serie de requisitos en el orden legal que buscan mejorar la calidad de las aguas utilizadas en las diversas actividades. Algunas de las normativas se presentan a continuación:

1.2.1. Constitución política del Perú

Según la Constitución Política del Perú (1993):

En el artículo 66° del capítulo II, menciona sobre los recursos naturales, renovables y no renovables que son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento, “Por ley orgánica se fijan las condiciones de su utilización y de su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal”.

En el artículo 67° menciona que el Estado determina la política nacional del ambiente, “promoviendo el uso sostenible de sus recursos naturales”.

1.2.2. Ley general del ambiente

Según la Ley N° 28611 (2005):

En el artículo 31°, Inciso 31.1, explica que:

El estándar de calidad ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. [...]

En el artículo 67° sobre el saneamiento básico, mencionan que las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local deben:

Priorizar medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

En el artículo 120°, Inciso 120.1, menciona que “el Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país”.

En el Inciso 120.2, explica que “el Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán”.

En el artículo 121° sobre el vertimiento de aguas residuales.

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo con lo establecido en los ECAs correspondientes y las normas legales vigentes.

En el artículo 122° sobre el tratamiento de residuos líquidos.

122.1 Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.

122.2 El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMPs) en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

122.3 Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMPs, los ECAs y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento.

1.2.3. Ley de recursos hídricos

Según la Ley N° 29338 (2009) determina los siguientes artículos:

En el punto 4 del artículo 15° del capítulo II, menciona sobre las funciones de la Autoridad Nacional.

Elaborar el método y determinar el valor de las retribuciones económicas por el derecho de uso de agua y por el vertimiento de aguas residuales en fuentes naturales de agua, valores que deben ser aprobados por decreto supremo; así como aprobar las tarifas por uso de la infraestructura hidráulica, propuestas por los operadores hidráulicos.

En el artículo 34°, sobre las condiciones generales para el uso de los recursos hídricos.

El uso de los recursos hídricos se encuentra condicionado a su disponibilidad. El uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, de acuerdo con lo establecido en la Ley, promoviendo que se mantengan o mejoren las características físico-químicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional.

En el artículo 35° se menciona las clases de usos de agua y orden de prioridad, “La Ley reconoce las siguientes clases de uso de agua: uso primario, uso poblacional y uso productivo”.

En el artículo 42° menciona que “el uso productivo del agua consiste en la utilización de esta en procesos de producción o previos a los mismos. Se ejerce mediante derechos de uso de agua otorgados por la Autoridad Nacional”.

En el artículo 43° determina “los siguientes tipos de uso productivo: Agrario, pecuario y agrícola; Acuícola y pesquero; Energético; Industrial; Medicinal; Minero; Recreativo; Turístico; y de transporte”.

En el artículo 76° menciona sobre la vigilancia y fiscalización del agua.

La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los ECAs y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por autoridad del ambiente.

También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad del recurso.

En el artículo 80° nos menciona sobre la autorización de vertimiento.

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva, el cual debe contemplar los siguientes aspectos respecto de las emisiones: a) Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos, b) Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

En el artículo 83° se refiere a la prohibición de vertimiento de algunas sustancias.

Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La Autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece los criterios y la relación de sustancias prohibidas.

En el artículo 84° sobre el régimen de incentivos.

La Autoridad Nacional, en coordinación con el Consejo de Cuenca, otorga reconocimientos e incentivos a favor de quienes desarrollen acciones de prevención de la contaminación del agua y de desastres, forestación, reforestación o de inversión en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a la protección del agua y la gestión integrada del agua en las cuencas.

[...] Los titulares de derechos de uso de agua que inviertan en trabajos destinados al uso eficiente, a la protección y conservación del agua y sus bienes asociados y al mantenimiento y desarrollo de la cuenca hidrográfica pueden deducir las inversiones que efectúen para tales fines de los pagos por concepto de retribución económica o tarifas de agua, de acuerdo con los criterios y porcentaje que son fijados en el Reglamento [...].

En el artículo 89° nos menciona que “La Autoridad Nacional y del Ambiente, debe desarrollar estrategias y planes para la prevención y adaptación a los efectos del cambio climático y sus efectos sobre la cantidad de agua y variaciones climáticas de orden local, regional y nacional”.

En el artículo 121° menciona sobre las infracciones en materia de agua que son calificadas como leves, graves y muy graves, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Afectación o riesgo a la salud de la población;
- beneficios económicos obtenidos por el infractor;
- gravedad de los daños generados;
- circunstancias de la comisión de la infracción;
- impactos ambientales negativos, de acuerdo con la legislación vigente;
- reincidencia; y
- costos en que incurra el Estado para atender los daños generados.

La calificación e imposición de sanciones en primera instancia corresponde a la Autoridad Administrativa del Agua.

1.2.4. Reglamento de la ley de recursos hídricos

Según el Decreto Supremo N° 001-2010-AG:

En el artículo 2° sobre el dominio de las aguas.

2.1 El agua es un recurso natural renovable, vulnerable, indispensable para la vida, insumo fundamental para las actividades humanas, estratégica para el desarrollo sostenible del país, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y la seguridad de la Nación.

2.2 El agua es patrimonio de la Nación y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada sobre el agua, sólo se otorga en uso a personas naturales o jurídicas.

[...]

En el artículo 7° sobre el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

Este Sistema es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, conformado por el conjunto de instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado se organiza para desarrollar y asegurar la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la protección de la calidad y el incremento de la disponibilidad de los recursos hídricos.

En el artículo 61° sobre el uso productivo del agua.

61.1 El uso productivo del agua consiste en la utilización con carácter exclusivo de los recursos hídricos, como insumo para el desarrollo de una actividad económica. Para ejercer este uso se requiere de licencia, permiso o autorización de uso de agua otorgado por la Autoridad Nacional del Agua.

61.2 Los ministerios y demás entidades públicas sectoriales deberán establecer normas específicas para el planeamiento, regulación, supervisión y control para el uso del agua en las respectivas actividades productivas que se encuentran bajo su ámbito. [...]

En el artículo 103° sobre la protección del agua, menciona los siguientes puntos:

103.1 La protección del agua tiene por finalidad prevenir el deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de sus fuentes naturales y los ecosistemas acuáticos; establecer medidas específicas para eliminar o reducir progresivamente los factores que generan su contaminación y degradación.

103.2 La Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con el Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud y demás sectores cuando corresponda, emite disposiciones, directivas y normas complementarias al Reglamento, para la conservación y protección de la calidad de las aguas.

En el artículo 123° sobre las acciones para la prevención y el control de la contaminación de los cuerpos de agua.

123.1 La ANA ejerce de manera exclusiva acciones de control, supervisión, fiscalización y sanción para asegurar la calidad del agua en sus fuentes naturales y en la infraestructura hidráulica pública.

123.2 La Autoridad Administrativa del Agua ejerce acciones de vigilancia y monitoreo del estado de la calidad de los cuerpos de agua y control de los vertimientos, ejerciendo la potestad sancionadora exclusiva por incumplimiento de las condiciones establecidas en las resoluciones que autorizan vertimientos o por aquellos vertimientos no autorizados.

123.3 De acuerdo con la Ley N° 28611, las autoridades ambientales sectoriales ejercen control, fiscalización, supervisión y sanción de las

actividades que se encuentran dentro de sus respectivos ámbitos por incumplimiento de obligaciones ambientales.

123.4 A fin de evitar conflictos de competencia y posible duplicidad de sanciones, la ANA y el MINAM coordinarán de manera permanente sus acciones.

En el artículo 133° sobre las condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas.

133.1 La ANA podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- a. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los LMPs.
- b. No se transgredan los ECAs para Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el MINAM para su implementación.
- c. Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- d. No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- e. No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- f. Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente.
- g. Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustre, fluviales o marino costeras, según corresponda.

En el artículo 135° menciona que está prohibido lo siguiente: a) Ningún vertimiento de aguas residuales podrá ser efectuado en las aguas marítimas o continentales del país, sin la autorización de la ANA, b) No se podrá efectuar vertimientos sin previo tratamiento en infraestructuras de regadío [...].

En el artículo 277° indica que son infracciones en materia de recursos hídricos las siguientes:

- a. Usar, represar o desviar las aguas sin el correspondiente derecho de uso de agua o autorización de la ANA.
- b. Construir o modificar, sin autorización de la ANA, obras de cualquier tipo, permanentes o transitorias, en las fuentes naturales de agua, los bienes naturales asociados a esta o en la infraestructura hidráulica mayor pública.
- c. Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas, cualquiera fuese la situación o circunstancia que lo genere.
- d. Efectuar vertimiento de aguas residuales en los cuerpos de agua o efectuar reúso de aguas, sin autorización de la ANA.
- e. Arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua natural o artificial.
- f. Ocupar, utilizar o desviar sin autorización los cauces, riberas, fajas marginales o los embalses de las aguas.
- g. Destinar las aguas a uso o predio distinto para el cual fueron otorgadas sin autorización de la ANA.
- h. Transferir o ceder a terceros el uso total o parcial de las aguas.
- i. Utilizar el agua con mayores caudales o volúmenes que los otorgados o de manera ineficiente técnica o económicamente, o por incumplir con los parámetros de eficiencia o plan de adecuación aprobado.
- j. Falta de pago de retribuciones económicas o tarifas por el uso del agua [...].
- k. Mantener en malas condiciones la infraestructura hidráulica, los dispositivos de control y medición necesarios para el uso del agua o incumplir con instalar dichos dispositivos.
- l. Impedir u obstaculizar las inspecciones que disponga la ANA o el ingreso a cualquier lugar de propiedad pública o privada, a quienes ejercen autoridad en materia de aguas en el cumplimiento de sus funciones.
- m. No dar aviso oportuno a la ANA cuando por causa justificada no utilice transitoria, parcial o totalmente las aguas otorgadas.

- n. Sustraer el agua cuyo uso ha sido otorgado a terceros, o impedir el uso del agua o las servidumbres de agua, a sus respectivos titulares o beneficiarios.
- o. Dañar, obstruir o destruir las obras de infraestructura hidráulica pública o cualquier bien asociado al agua natural o artificial.
- p. Dañar, obstruir o destruir las defensas, naturales o artificiales, de las márgenes de los cauces.
- q. Usar las obras de infraestructura pública para fines de transporte u otros distintos a los programados que pueda originar deterioros.
- r. Usar las estructuras hidráulicas contrariando las normas respectivas de operación y mantenimiento o variar, deteriorar u obstaculizar el normal mantenimiento y operación de los sistemas de infraestructura hidráulica.
- s. Contravenir cualquiera de las disposiciones previstas en la Ley o el Reglamento.

En el artículo 278°, Inciso 278.3, menciona que no podrán ser calificadas como infracciones leves los puntos a, b, c, d y e, de las infracciones nombradas en el artículo 277°.

1.2.5. Modificación del reglamento de la ley de recursos hídricos

Según el Decreto Supremo N° 006-2017-AG:

En el artículo 135° indica que no está permitido lo siguiente: “a) El vertimiento de aguas residuales en las aguas marítimas o continentales, sin la autorización de la ANA. b) Las descargas de aguas residuales en infraestructura de aprovechamiento hídrico, salvo las tratadas en el marco de una autorización de reúso [...]”.

1.2.6. Ley orgánica de gobiernos regionales

Según la Ley N° 27867 (2002):

En el artículo 10° menciona las competencias exclusivas y compartidas establecidas en la Constitución y la Ley de Bases de la Descentralización, [...] “Entre sus competencias compartidas resalta la Gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental”. [...]

1.2.7. Ley orgánica de municipalidades

Según la Ley N° 27972 (2003):

En el artículo 80° las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

1. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:
 - 1.1 Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial.
[...]
2. Funciones específicas compartidas de las municipalidades provinciales:
 - 2.1 Administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando por economías de escala resulte eficiente centralizar provincialmente el servicio.
[...]
 - 2.3 Proveer los servicios de saneamiento rural cuando éstos no puedan ser atendidos por las municipalidades distritales o las de los centros poblados rurales, y coordinar con ellas para la realización de campañas de control de epidemias y sanidad animal.

2.4. Difundir programas de saneamiento ambiental en coordinación con las municipalidades distritales y los organismos regionales y nacionales pertinentes.

[...]

4. Funciones específicas compartidas de las municipalidades distritales:

4.1 Administrar y reglamentar, directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando esté en capacidad de hacerlo.

4.2 Proveer los servicios de saneamiento rural y coordinar con las municipalidades de centros poblados para la realización de campañas de control de epidemias y control de sanidad animal.

[...]"

1.2.8. Ley general de salud

Según la Ley N° 26842 (1997):

En el artículo 103°, del capítulo VIII, sobre la protección del ambiente, “Es responsabilidad del Estado y de las personas naturales y jurídicas, los que tienen la obligación de mantenerlo dentro de los estándares que, para preservar la salud de las personas, establece la Autoridad de Salud competente”.

En el artículo 104° determina que “toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente”.

En el artículo 105° corresponde a la Autoridad de Salud competente, “dictar las medidas necesarias para minimizar y controlar los riesgos para la salud de las personas derivados de elementos, factores y agentes ambientales, de conformidad con lo que establece, en cada caso, la ley de la materia”.

1.2.9. Reglamento de organización y funciones del Ministerio de Salud

Según el Decreto Supremo N° 023-2005-SA (2005) determina los siguientes artículos:

En el artículo 50° menciona que la Dirección de Ecología y Protección del Ambiente está a cargo de las siguientes funciones generales:

[...]

b) Vigilar la calidad de los recursos agua, aire y suelo para identificar riesgos a la salud humana.

[...]

h) Diseñar e implementar el sistema de registro y control de vertimientos en relación a su impacto en el cuerpo receptor; así como el registro y control de plaguicidas y desinfectantes de uso doméstico, industrial y en salud pública.

[...]

En el artículo 51° menciona que la Dirección de Saneamiento Básico está a cargo de las siguientes funciones generales:

[...]

b) Establecer las normas técnicas sanitarias, del abastecimiento de agua para consumo humano; el manejo, reuso y vertimiento de aguas residuales domésticas y disposición de excretas; el manejo de residuos sólidos; y la vigilancia y control de artrópodos vectores de enfermedades transmisibles y plagas de importancia en salud pública, en el marco de la normatividad vigente.

[...]

d) Vigilar la calidad sanitaria de los sistemas de agua y saneamiento para la protección de la salud de la población.

[...].

1.2.10. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. N° 002-2008-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2008):

En el artículo 1° sobre la aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECAs).

Aprobar los ECAs para Agua con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los ECAs aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

1.2.11. Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. 023-2009-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2009):

En el artículo 1° se tuvo como objetivo, “Aprobar las disposiciones para la implementación de los ECAs para Agua, aprobados por D.S. N° 002-2008-MINAM”.

En el artículo 2° menciona las precisiones de las Categorías de los ECAs para Agua.

[...]

c. Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales.

i. Vegetales de tallo bajo

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo: que

usualmente tienen un sistema radicular difuso o fibroso y poco profundo (ajo, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares).

ii. Vegetales de tallo alto

Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, de porte arbustivo o arbóreo que tienen una mayor longitud de tallo (árboles forestales, árboles frutales, entre otros).

iii. Bebida de animales

Entiéndase como aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, ovino, porcino, equino o camélido, y para animales menores como ganado caprino, cuyes, aves y conejos.

[...]

1.2.12. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. 015-2015-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015):

En el artículo 1° “Modifíquese los parámetros y valores de los ECAs para Agua, aprobados por D.S. N° 002-2008-MINAM”

En el artículo 2° menciona que:

Los ECAs para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, y en el diseño de normas legales y políticas públicas, de conformidad con la Ley N° 28611.

1.2.13. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – D.S. 004-2017-MINAM

Según el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2017):

En el artículo 1° menciona que:

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el D.S. N° 002-2008-MINAM, el D.S. N° 023-2009-MINAM y el D.S. N° 015-2015-MINAM, que aprueban los ECAs para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente D.S. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECAs, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

En el artículo 3° menciona sobre las categorías de los ECAs.

[...]

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a. Subcategoría D1: Riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (habas, entre otros); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (maíz forrajero y alfalfa).

[...]

1.3. BASES TEÓRICAS

1.3.1. Agua

Uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza es el agua, debido a que cubre alrededor de tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Como se puede observar en la Tabla 1, aproximadamente el 97,308 por ciento del total de agua se encuentra en los océanos y otros cuerpos de agua salina, el 2,146 por ciento se encuentra distribuida en los témpanos de hielo, glaciares, en la atmosfera o combinada con el suelo. De tal forma que, para el desarrollo y sostenimiento de la vida humana, con sus diversas actividades industriales y agrícolas, se dispone 0,6191 por ciento del agua restante, que se encuentra en lagos, ríos y mantos freáticos (Arellano & Guzmán, 2011).

Tabla 1
Distribución del agua en la tierra

Localización	Volumen $10^{12}m^3$	% del total
Área continental:		
Lagos	125	0,009
Lagos salados y mares continentales	104	0,008
Ríos	1,12	0,0001
Mezclada con el suelo	67	0,005
Agua subterránea	8 350	0,61
Témpanos de hielo y glaciares	29 200	2,14
Total de agua continental	37 800	2,8
Disuelta en la atmosfera (vapor)	13	0,001
Océanos	1 320 000	97,3
Total de agua en la tierra	1 360 000	100

Fuente: Environmental Engineering. Mc Graw Hill, citado por Arellano & Guzmán, 2011.

Burek et al. (2016), citado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2018) pronosticaron que los recursos hídricos superficiales disponibles a nivel continental permanecerán relativamente constantes en comparación con el desarrollo de la población, el PIB o la demanda de agua. En la actualidad, casi todos los países en una franja que abarca de 10 a 40 grados norte, desde México hasta China y el sur de Europa, se ven afectados por la escasez de agua, junto con Australia, Sudamérica occidental y África Meridional en el hemisferio sur (Veldkamp et al., 2017, citado por UNESCO, 2018).

Gray (2018) del Foro Económico Mundial, los riesgos por su alto impacto a nivel mundial, en los próximos 10 años serán los siguientes:

- Aumento de las armas de destrucción masiva.
- Efecto de un clima extremo.
- Riesgo de desastres naturales.
- Posible fracaso en la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Crisis del agua.

1.3.2. Contaminación del agua

Es la modificación del agua por presencia de agentes físicos, químicos y microbiológicos que causan un cambio en sus características y provocan una inestabilidad en el ambiente. En el tiempo, la calidad del agua potable ha sido un componente determinante del bienestar humano. Ciudades enteras fueron diezmadas por la propagación de enfermedades a causa del uso de agua potable contaminada con materia fecal. Actualmente, el agua insalubre contaminada por fuentes naturales o antropogénicas sigue causando grandes problemas a las personas que la utilizan para la irrigación de hortalizas y otros cultivos agrícolas (Manahan, 2007).

Existen muchos orígenes como los residuos radiactivos, hospitalarios y de laboratorios, ruinas causadas por las explosiones nucleares, desechos domésticos en ciudades (basureros, tiraderos y aguas residuales), las pulverizaciones químicas aplicadas a tierras de cultivo, detritus químico en las fábricas, entre otros, que son generalmente los problemas de la contaminación del agua (Carson, 1962; Ávila, 2003).

Las principales fuentes de contaminantes del agua son las fuentes puntuales y las no puntuales como son las aguas residuales domésticas, descargas industriales, vertidos accidentales, desechos de la agricultura y ganadería, fugas de tanques de almacenamiento, lluvia contaminada y residuos urbanos. Las principales descargas industriales provienen de las siguientes industrias: química, petróleo y petroquímica, textiles, papel, alimentos y bebidas, azúcar, minera y metalúrgica, curtidurías, pesquera y su procesamiento, y producción de fertilizantes. Miles de sustancias químicas entran a los cuerpos de agua provenientes de fuentes antropogénicas. Estas sustancias tienen diferentes propiedades por lo cual resulta imposible su monitoreo o medición (Ibáñez, Hernández, Doria, Fregoso y Mohan, 2013). Los principales tipos de contaminantes del agua y sus fuentes se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2

Principales contaminantes del agua

Tipo de Contaminante del Agua	Fuentes Puntuales		Fuentes no Puntuales	
	Urbanas	Industriales	Agricultura y otros Residuos	Residuos Urbanos
Sustancias demandantes de oxígeno	x	x	x	x
Nutrientes	x	x	x	x
Partículas suspendidas/sedimentos	x	x	x	x
Sales		x	x	x
Compuestos tóxicos de metales o metaloides		x		x
Surfactantes	x	x		x
Ácidos y bases		x		
Sustancias orgánicas tóxicas		x	x	x
Sales inorgánicas tóxicas		x		x
Aceites y grasas		x		x
Plásticos, polímeros, etc. (basura)				x
Patógenos	x	x	x	x
Calor		x		

Fuente: Química ambiental, Mc Graw Hill (Ibáñez et al., 2013).

Según la Autoridad Nacional del Agua [ANA], (2016) la calidad de los recursos hídricos se ve afectada por dos factores principales:

- Antropogénicos: Son las actividades poblacionales y productivas que usan el agua desde su fuente natural, las cuales generan vertidos de aguas residuales no tratadas; asimismo, una deficiente cobertura del sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, manejo inadecuado de agroquímicos y residuos sólidos domésticos, pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos, minería informal y deforestación.

- Naturales: Es aquello inherente a la naturaleza o producido por ella sin que el ser humano intervenga, como las características geológicas, hidrológicas, edafológicas, condiciones climatológicas, cambio climático, naturaleza volcánica y fenómenos naturales, entre otras.

1.3.2.1. Aguas servidas

Se denomina aguas servidas al tipo de agua que está contaminado con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido forma graves problemas de contaminación. A las aguas servidas también se les llama aguas negras, aguas residuales, aguas fecales o aguas cloacales. Otros autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que la primera provendrían del uso doméstico y la segunda a la mezcla de aguas domésticas e industriales (Acosta, 2008).

Las características originales del agua son modificadas a causa de la actividad antropogénica y debido a esto su calidad se ve afectada, por ende, requieren de un tratamiento previo antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. En el Perú se generan aproximadamente 2 217 946 m³ por día de aguas residuales y que son descargadas a la red de alcantarillado de las EPS de saneamiento. El 32 por ciento de estas aguas recibe tratamiento y el 68 por ciento no es tratada (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

Generalmente a las mezclas complejas de compuestos orgánicos e inorgánicos ocasionadas por flujos domésticos e industriales, de aguas de lluvia o infiltración del agua subterránea, se les denominan como contaminantes en las aguas residuales (Arana, 2004).

Actualmente en Perú, alrededor de $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de agua residual sin tratamiento son vertidos a fuentes superficiales y cerca de 4 000 hectáreas de tierras agrícolas son regadas con dichas aguas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2012).

El agua residual es aquella descartada que ya no es requerida por el usuario. En el año 2016, en el país se registró un ascenso de las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento del 59,7 por ciento respecto al año anterior y un descenso de 38,7 por ciento en relación al año 2008 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017). Se debió probablemente al crecimiento de la población y de las actividades económicas.

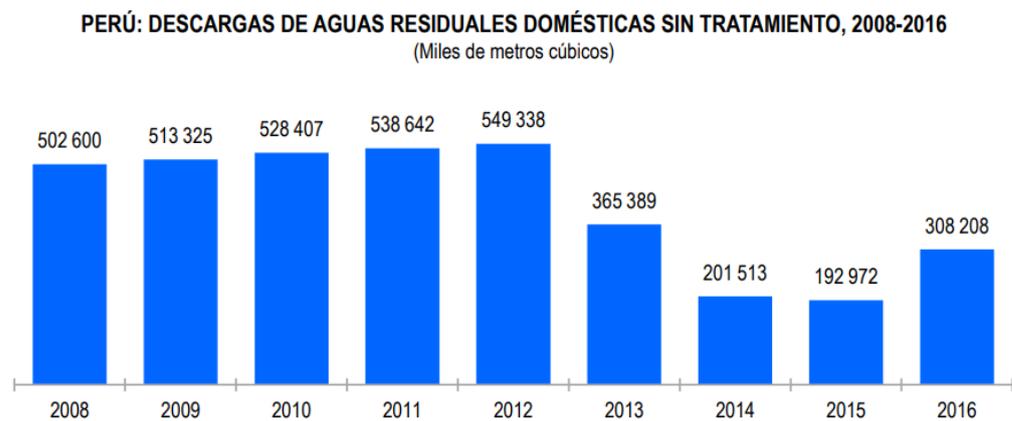


Figura 1. Descargas de Aguas Residuales Domésticas sin Tratamiento.

Fuente: Ministerio de la Producción (PRODUCE) – Dirección General de Asuntos Ambientales, citado por INEI, 2017.

1.3.2.2. Parámetros físicos del agua

a. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (C.E.) mide la resistencia eléctrica que hay en el agua principalmente debido a la concentración de sales solubles, es decir, mide la cantidad total de iones presentes en el agua. Entre mayor sea la CE mayor es la salinidad del agua, variando en función a la temperatura; su unidad de medida es deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) o microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Roldán, 2003).

b. Turbidez

Se entiende por turbidez a la medida del grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión. Es un parámetro fundamental como indicador para la determinación de la calidad del agua, ya que a la vez es una medida visual de la contaminación. Se genera por la presencia de partículas en suspensión, mientras algunas son de naturaleza inorgánica (arena, arcillas, fangos y minerales) por la erosión del suelo, otras son orgánica (bacterias, parásitos, plancton, algas, coloides húmicos, entre otros). Además, como fuente principal tenemos a las actividades humanas que generan efluentes cargados de estas partículas y el aporte de otras sustancias que pueden combinarse con ellas (virus entéricos, contaminantes químicos, cloro, entre otros) (Marín, 2003).

Las aguas residuales domésticas e industriales presentan altos valores de turbidez y suelen asociarse con altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias; se

expresa en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (DIGESA, 2003).

c. Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos son la materia particulada, cuyo tamaño no pasa por el filtro estándar de fibra de vidrio (Jiménez, 2001). Son partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles que están presentes en el agua. Como partículas orgánicas se tiene fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos de origen biológico, por otra parte, la arcilla y sales son elementos considerados como partículas inorgánicas. Los impactos que causan son la poca estética (apariencia del agua); proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos, pueden degradarse causando productos secundarios nocivos; aquellos elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos o causantes de enfermedades, como las bacterias que transmiten la enfermedad del cólera (Campos, 2000).

1.3.2.3. Parámetros químicos del agua

a. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) mide el balance de los iones de hidrógeno (H^+) y los iones hidroxilo negativo (OH^-) en el agua. El pH es un valor variable entre 0 a 14 que indica la acidez, neutralidad o la alcalinidad. Un pH elevado indica una baja concentración de iones H^+ y alta en iones OH^- , y por lo tanto una alcalinización del medio. Por el contrario, un pH bajo indica acidificación (Abarca, 2007).

b. Calcio

El calcio (Ca) es el elemento más abundante en el cuerpo humano y el quinto en la corteza terrestre, su distribución es muy amplia. La presencia de los iones de calcio en los suministros de agua deriva de su paso a través de depósitos de caliza, dolomita, yeso y pizarras yesíferas. Este ion forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CaCO_3), contribuyendo muy especialmente a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

c. Magnesio

El catión magnesio (Mg^{2+}) es menos abundante que el Ca en la corteza terrestre; ingresa al agua superficial como resultado de los procesos de meteorización química y disolución de dolomitas, magnesitas y otras rocas. Los iones de Mg están presentes en todas las aguas naturales, su concentración en aguas de río oscila entre una y decenas de $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. La menor actividad biológica del catión Mg^{2+} , en comparación con el catión Ca^{2+} , y también la mayor solubilidad del sulfato de magnesio (MgSO_4) y el hidrocarbonato en comparación con los compuestos equivalentes de Ca, favorecen el aumento de la concentración de Mg en el agua (Nikanorov & Brazhnikova, 2009).

d. Sodio

El catión sodio (Na^+) se presenta en la naturaleza en estado combinado y es encontrado generalmente en agua subterránea. Un aumento del Na^+ en las aguas puede indicar contaminación desde fuentes puntuales o no puntuales e intrusión de agua

salada. Las fuentes más comunes de elevados niveles de Na^+ en el agua son: erosión de depósitos de sal y minerales de roca, agua salobre natural, invasión de agua salada, agua superficial contaminada con sal de carretera, irrigación y lixiviación de precipitaciones a través de suelos ricos en Na^+ , contaminación por efluentes de aguas residuales e infiltración de lixiviados en vertederos o sitios industriales (British Columbia, 2007).

En concentraciones significativas para la agricultura, la presencia de Na^+ en el agua es perjudicial, por lo que es considerado un elemento potencialmente fitotóxico, así mismo su efecto negativo se manifiesta al reducir la permeabilidad del suelo. Las directrices de toxicidad de la FAO-UNESCO utilizan la Relación de Absorción de Sodio como indicador de la intoxicación potencial (Fernández, 2009).

e. Potasio

El catión potasio (K^+) se encuentra en la mayor parte de las aguas potables, rara vez alcanza los 20 mg.L^{-1} . Sin embargo, las salmueras en ocasiones pueden contener más de 100 mg.L^{-1} (APHA-AWWA-WPCF, 1992). En aguas naturales las concentraciones de K^+ son menores a 10 mg.L^{-1} , aunque puede aumentar por deposición atmosférica, escorrentía e influencia de drenajes de irrigación; debido a que es un elemento esencial, para la nutrición de las plantas y su presencia en el agua es favorable (Beita, 2008).

f. Cloruro

El anión cloruro (Cl^-) se encuentra presente en las aguas naturales por la disolución de roca salina y de suelo que esté

en contacto con el agua en zonas costeras por la infiltración de aguas marinas, contaminación proveniente de los diversos efluentes domésticos o industriales y aguas de riegos agrícolas. A veces se puede presentar un incremento constante como consecuencia de contaminantes domésticos sin tratar como desperdicios y desagües (Ramos, Sepúlveda y Villalobos, 2003).

g. Sulfato

La presencia del anión sulfato (SO_4^{2-}) es debida a la disolución de los yesos y oxidación de sulfuros (piritas). Pueden tener origen en las aguas que atraviesen terrenos ricos en yeso o debido a la contaminación con aguas residuales (Andrés, 2016). Este anión se encuentra en la mayoría de las aguas, contribuyendo a la salinidad (Pancorbo, 2011).

h. Bicarbonatos y carbonatos

Los bicarbonatos (HCO_3^-) se encuentran en las aguas naturales y existen en solución como bicarbonatos de calcio y magnesio o en forma de sales sólidas como bicarbonatos de sodio y potasio. Por otro lado, los carbonatos (CO_3^{2-}) están presentes en algunas aguas, debido a que los carbonatos de calcio y magnesio son insolubles, es probable que los cationes que se asocian a las masas de agua que tienen un alto contenido de CO_3^{2-} sean los de sodio y potasio (Palacios, Rodríguez y Barajas, 2010). La alcalinidad de las aguas se debe generalmente a la presencia de los HCO_3^- y CO_3^{2-} . Las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para el riego, debido a la fijación de Na^+ en el terreno (Fernández, 2009).

Los contenidos de carbonatos y bicarbonatos en solución provocan la alcalinidad del agua, por ende, cuando se utilizan aguas con altos contenidos de estas soluciones se produce un elevado pH del sustrato, y a la vez, se hace poco disponibles ciertos nutrientes, uno de los más frecuentes es el Fe manifestando síntomas de clorosis intervenal en las hojas. Incluso pueden llegar a disminuir los rendimientos de los cultivos. Otras deficiencias de Zn, P y N pueden explicarse como la presencia excesiva de carbonatos (López, 2016).

i. Nitratos

El ión nitrato (NO_3^-), forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito (NO_2^-), nitrógeno (N) y amoníaco (NH_3^+). Las reacciones de los NO_3^- pueden causar el agotamiento del oxígeno en el agua. Su presencia en las aguas, en conjunto con los fosfatos, provoca la eutrofización que se caracteriza por un excesivo crecimiento de algas (Rigola, 1990).

Las concentraciones de los NO_3^- en aguas superficiales tiene diversos orígenes, se libera cuando la materia orgánica es descompuesta por las bacterias del suelo, por disolución de rocas, componente de abonos y fertilizantes nitrogenados, pozos sépticos y por efluentes de aguas residuales tanto domésticos e industriales (Pacheco & Cabrera, 2003).

j. Relación de adsorción de sodio

El cálculo de la Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S. o S.A.R.) es uno de los sistemas más desarrollado, propuesto por Richards (1954) para el Laboratorio de Salinidad de los

Estados Unidos (Riverside) y muy utilizado para alertar el peligro de salinización o modificación del suelo. Se basa en la medición de la C.E. del agua para determinar el riesgo de salinización del suelo y para determinar el riesgo de sodificación o alcalinización, definiendo cuatro clases de riesgo de salinización y otras cuatro de sodificación, resultando en total dieciséis clases de agua y cada una tiene unos condicionantes para ser utilizada en riego (Palacios & Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera & Martínez, 1996; Marín, 2002; Porta, 2010, citado por Pérez, 2011). En la Figura 2 se presenta el diagrama de clasificación de calidad de aguas para riego agrícola según el SAR obtenido.

En la práctica el valor de la R.A.S. del agua aumenta en el suelo a consecuencia del aumento de la concentración de todas las sales y de la precipitación de las concentraciones de calcio y magnesio a medida que disminuye el contenido de humedad por la extracción que hacen las plantas y por la evaporación superficial (Gurovich, 1985).

Según Casas (2011), el SAR es un índice que permite evaluar el riesgo de que el uso de un agua determinada genere con el tiempo el deterioro de la estructura del suelo, originándose con ello los problemas consiguientes de permeabilidad. El SAR se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

En las que las concentraciones de sodio, calcio y magnesio en el agua de riego se expresan en meq.L^{-1} .

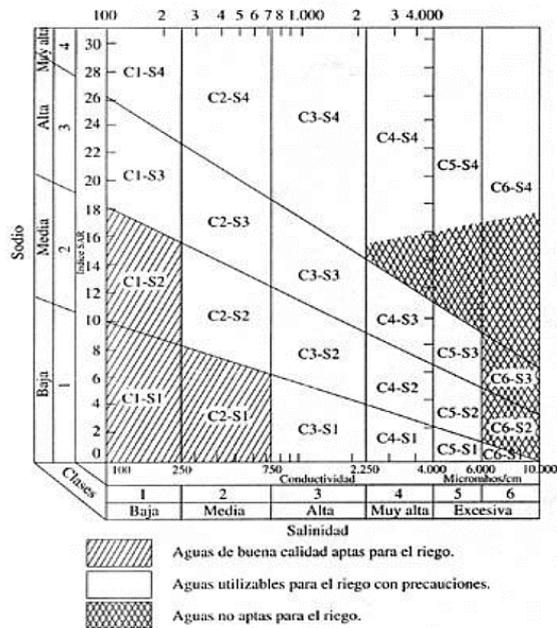


Figura 2. Diagrama de Clasificación de Calidad de Aguas para Riego Agrícola - Normas de Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory).

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973), citado por Cadahía, 2005.

k. Boro

El ion boro (B) es un elemento químico que ingresa en las aguas superficiales y subterráneas a través de dos vías: meteorización de rocas que contienen B y aguas residuales donde el B se deriva de productos de limpieza y residuos de industrias de pinturas y barnices, textiles, curtido de pieles, entre otras (Dyer & Caprara, 2009, citado por Velázquez, Pimentel y ortega, 2011). En altas concentraciones el B es de relevancia en los estudios de calidad del agua debido a su toxicidad tanto en animales como en plantas cultivadas (Elefteriou, 2001, citado por Velázquez et al., 2011).

El ion B está presente en el medio ambiente a través de la volatilización del agua de mar y la actividad volcánica. También se desprende B por la quema de productos agrícolas y la basura, la producción de energía a base de carbón y petróleo, la fabricación de productos de vidrio, la utilización de boratos en el hogar y la industria, la lixiviación de la madera y papel tratado (Marín, 2011).

1. Dureza Total

La dureza se refiere a los cationes alcalinotérreos disueltos en el agua, mientras que la dureza total es la concentración total de iones calcio y magnesio (Capote, Matute y Rojas, 2015). Una parte de la dureza debida a los bicarbonatos de calcio y de magnesio, se denomina dureza temporal; y la parte debida a todas las otras sales de estos dos iones, se denomina dureza permanente. Por lo tanto, la suma de las dos durezas forma la dureza total del agua (Angiolani, 1960).

Es la concentración total de iones alcalinotérreos que existe en el agua. Como la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} es mucho mayor que otros iones, la dureza es igual a la suma de ambos. Estos iones consumen una cantidad importante del jabón que se utiliza en la limpieza. La dureza es beneficiosa en agua de riego, porque los iones alcalinotérreos tienden a flocular las partículas coloidales del suelo, de modo que aumenta la permeabilidad del suelo (Harris, 2007).

El agua dura tiene una elevada concentración de sales, en contraste con el agua blanda. Una mayor dureza del agua de riego implica un elevado riesgo de precipitaciones y

taponamientos del sistema de riego. Por otro lado, aguas con mucho calcio compensan las acciones negativas del sodio, por lo que al momento de rescatar suelos sódicos se recomienda el empleo de aguas duras para compensar el efecto negativo del catión sodio (Na^+). Las aguas muy duras son poco recomendables en suelos duros y compactos, pues no ayudan a mejorar la permeabilidad del suelo. El precipitado de carbonato de calcio es común en aguas alcalinas (pH elevado) y ricas en calcio (Ca^{2+}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Es más probable que ocurran los problemas de acumulación con aguas de pH mayor a 7.5 y contenido de bicarbonatos mayor a 5 mmol.L^{-1} (Ruiz, 2017).

m. Alcalinidad total

La alcalinidad es la cantidad de iones presentes en el agua que reaccionan con los iones H^+ para neutralizarlos. En las aguas superficiales la alcalinidad depende, primordialmente, de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos. Los HCO_3^- y CO_3^{2-} presentes en los cuerpos naturales de agua dulce se originan por el desgaste y disolución de rocas piedra caliza, el exceso de estos compuestos tiene importancia para la aceptabilidad del agua para riego (Contreras & Molero, 2011).

El valor de la dureza del agua también puede ser utilizado, aunque no estén muy relacionadas, debido a que la alcalinidad es causada por la alta presencia de carbonatos de Ca y Mg, la dureza es una buena opción para aproximar la alcalinidad. Cuando se utilizan aguas con alta alcalinidad se produce un aumento de pH del sustrato, y a la vez vuelve poco disponibles

a ciertos nutrientes. Uno de los elementos más afectados es el hierro, manifestándose en síntomas como la clorosis intervenal de las hojas jóvenes, volviéndose más amarillentas o provocando el blanqueamiento general de todas las hojas. El zinc y el manganeso son otros de los micronutrientes que se ven afectados por una elevada alcalinidad en el agua. Cabe resaltar que su valor es constante a lo largo del tiempo, por tal motivo, es necesario realizar el análisis una vez al año. Para disminuir la alcalinidad se debe acidificar correctamente el agua para riego, los ácidos más comunes inyectados en el agua de riego para neutralizar la alcalinidad son el sulfúrico (H_2SO_4), fosfórico (H_3PO_4), nítrico (HNO_3), y cítrico ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$). La alcalinidad puede ser expresada en meq.L^{-1} o concentración de partes por millón (ppm o mg.L^{-1}) de carbonatos (López, 2016).

1.3.2.4. Metales pesados en agua

Los principales metales pesados presentes en las aguas son los siguientes:

a. Hierro

El hierro (Fe) es un metal común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente de forma insoluble. Sin embargo, debido a complejas reacciones que suceden de forma natural en el suelo, se pueden crear formas solubles de Fe que pueden contaminar el agua (DIGESA, 2003).

Se presenta en el agua en varias formas básicas: disuelto como hierro ferroso (Fe^{2+}), en partículas en estados férricos (Fe^{3+}), y en coloidales como partículas muy pequeñas difíciles de filtrar y asentar. El predominio de una u otra forma depende en su mayoría del pH, Eh (potencial de oxidación) y la temperatura del agua (National Environmental Services Center [NESC], 2010).

El Fe está presente en las aguas residuales industriales, operaciones de minería, manufactura de tintas, procesamiento de metales, de fábricas textiles, refinación de petróleo, entre otros (Martínez, 2002).

b. Cobre

El Cu tiene varios usos, como en la fabricación de tubos, válvulas, accesorios para baño, aleaciones y revestimientos, entre otros. Además, el sulfato de cobre es uno de los compuestos utilizados como pesticidas, así mismo las sales de cobre poseen efectos fungicidas y alguicidas (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Las actividades industriales como la minería, la corrosión de las tuberías de latón, efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, escurrimiento superficial y contaminación del agua subterránea a partir del uso de pesticidas en la agricultura y la precipitación atmosférica de fuentes de la industria aumentan la cantidad de Cu en el medio ambiente (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], 2009).

Existen diversos procesos que intervienen en el destino del Cu en los sistemas acuáticos, se puede encontrar en forma de partículas y tiende a sedimentarse, precipitarse o ser adsorbido por materia orgánica, hierro hidratado, óxidos de manganeso y arcilla en el sedimento o en la columna de agua (Helz et al., 1975, citado por Organización Mundial de la Salud [OMS], 1998).

El ion de cobre (I) es inestable en solución acuosa, tiende a ser desproporcionado al cobre (II) y al metal de cobre a menos que esté presente un ligando estabilizante. Los únicos compuestos cuprosos estables en el agua son insolubles, como el sulfuro, el cianuro y el fluoruro. En su estado de cobre (II), el cobre forma compuestos de coordinación o complejos con ligandos inorgánicos y orgánicos. Los iones de amoníaco y cloruro son ejemplos de especies que forman ligandos estables con el cobre (OMS, 1998).

c. Zinc

El zinc (Zn) se desplaza en el medio ambiente por un proceso denominado ciclo natural. Las rocas y el suelo que contienen Zn se erosionan por los efectos de la nieve, el calor del sol, el viento, la lluvia, el hielo y el viento. En consecuencia, el agua y el viento transportan zinc hasta ríos, lagos y mares, donde se depositan como sedimentos o se siguen deslizando. Los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas contribuyen a este ciclo (International Zinc Association [IZA], 2010).

Es un elemento esencial y su eliminación tendría, a la larga, efectos perjudiciales en un ecosistema. La existencia de niveles elevados de Zn en el medio ambiente se debe a varias fuentes que incluyen efluentes municipales e industriales, impurezas de origen histórico, actividades mineras, geológicas y fuentes difusas, entre otras (IZA, 2010).

La distribución y el transporte del Zn en el agua, los sedimentos y en el suelo se debe a las especies de Zn y de las características del ambiente. La solubilidad del Zn depende del pH, por ejemplo, el Zn puede estar presente en la fase acuosa en su forma iónica a valores de pH ácidos y tiende a precipitar a valores de pH superiores a 8.0. También puede formar complejos orgánicos estables (ácidos húmicos y fúlvicos). El Zn tiene una fuerte tendencia a reaccionar con compuestos ácidos, alcalinos e inorgánicos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2001).

De acuerdo Florence (1980), citado por OMS (2001) el Zn en el agua se puede dividir en siete clases:

- Material particulado (diámetro > 450 nm).
- Ion de metal hidratado simple, como el Zn $(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ (diámetro 0,8 nm).
- Complejos inorgánicos simples, como el Zn $(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}^+$, Zn $(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}^+$ (diámetro 1 nm).
- Complejos orgánicos simples, por ejemplo, Zn-citrato, Zn-glicinato (diámetro 1-2 nm).
- Complejos inorgánicos estables, por ejemplo, ZnS, ZnCO₃, Zn₂SiO₄ (diámetro 1-2 nm).
- Complejos orgánicos estables, por ejemplo, Zn-humato, Zn-cisteinato (diámetro 2-4 nm).

- Adsorbido en coloides inorgánicos, por ejemplo, Zn^{2+} Fe_2O_3 , Zn^{2+} SiO_2 (diámetro 100-500 nm).
- Adsorbido en coloides orgánicos, por ejemplo, ácido Zn^{2+} -húmico, detritus orgánico Zn^{2+} (diámetro 100-500 nm).

d. Manganeseo

El manganeseo (Mn) es un elemento natural que se encuentra en muchas rocas, el suelo y el agua. La mayor fuente antropogénica en el ambiente incluye las descargas de aguas residuales municipales, lodos, minería y procesamiento de minerales, fabricación de aleaciones de hierro y acero, la quema de combustibles fósiles, entre otros (Howe, Malcolm y Dobson, 2004).

La actividad antrópica puede ser responsable de las elevadas concentraciones de Mn. Algunas de las principales fuentes de contaminación ambiental están constituidas por los humos, polvos y aerosoles provenientes de procesos metalúrgicos, operaciones mineras, combustión de carbón, incineración de residuos sólidos y otras actividades (International Programme on Chemical Safety [IPCS], 1981).

Los compuestos más abundantes de Mn son óxidos (en pirolusita, brannita, manganita y hausmannita), sulfuros (en manganeseo rubio y hauserita), carbonatos (en manganesespar) y en silicatos (en tefroita, knebelita y rodamita). También ocurre en la mayoría de los minerales de Fe en concentraciones que van desde 50-350 $g.kg^{-1}$. El agua contiene Mn derivado del suelo y las rocas. El Mn en el agua de mar se encuentra en forma de dióxido de manganeseo (MnO_2), producido a partir de

sales de Mn de varias especies de bacterias comunes en los suelos y lodos oceánicos. El Mn se precipita al entrar en aguas superficiales en pH y Eh medios, dando lugar a sedimentos enriquecidos con Mn (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1981).

e. Plomo

Las fuentes naturales de contaminación por plomo (Pb) son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de minerales de Pb y las emanaciones volcánicas. Después de las actividades de minería, la principal fuente antropogénica es la industrial (Badillo, 1985, citado por García, 2000).

El origen de la presencia del Pb en cursos naturales de agua o en las aguas marinas se deriva de efluentes industriales, aguas residuales municipales, emisiones de gases por operaciones de fundición, combustión de combustibles fósiles (Callender & Rice, 2000, citado por Rincón, 2009).

El Pb tiene cuatro electrones en su capa de valencia, solo dos ionizan fácilmente. El estado de oxidación en compuestos inorgánicos es Pb^{2+} en lugar de Pb^{4+} . Las sales inorgánicas de Pb como el sulfuro y los óxidos de plomo son insolubles. Sin embargo, el nitrato, el clorato y a menor grado el cloruro son solubles en agua. Algunas de las sales formadas con los ácidos orgánicos, por ejemplo, oxalato de plomo (PbC_2O_4), también son insolubles, pero el acetato [$Pb(C_2H_3O_2)_2$] es relativamente soluble. El estado de valencia habitual en compuestos inorgánicos de plomo es +2 (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1995).

Se estima que la concentración natural del Pb en el agua superficial es aproximadamente de $0,02 \mu\text{g.L}^{-1}$. En general, el Pb no es encontrado en aguas subterráneas o superficiales a concentraciones superiores a $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Flegal et al., 1987; IPCS, 1989, citado por OMS, 1995).

f. Cadmio

La mayor parte del cadmio (Cd) se produce como subproducto de la extracción y fundición del Zn, ya que los dos metales se encuentran juntos en la naturaleza. La contaminación ambiental por Cd es debido a las minas de Zn, la quema de carbón, tratamientos por incineración de residuos y otras fuentes. Debido a su parecido con el Zn, las plantas absorben el Cd del agua de riego. La diseminación de fertilizantes de fosfato por los campos agrícolas que contienen Cd, así como lodos residuales por vertidos industriales, aumentan el nivel de Cd en el suelo y plantas (Baird, 2001).

Algunos compuestos de Cd son insolubles en el agua como el sulfuro de cadmio (CdS), carbonato de cadmio (CdCO_3) y el óxido de cadmio (CdO). Estos compuestos en la naturaleza pueden cambiarse a sales solubles en agua, debido a la influencia del oxígeno y los ácidos. La presencia de Cd en el suelo, plantas, tejidos animal y alimentos, suelen ser importantes para la evaluación de la salud, debido a los peligros asociados (áreas de contaminación o alta ingesta de Cd). La acidificación de suelos y lagos puede mejorar la movilización de Cd en los suelos y en los sedimentos, y conducir a mayores niveles en aguas superficiales y

subterráneas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1986).

Los ríos contaminados con Cd pueden contaminar los alrededores, ya sea mediante el riego con fines agrícolas, por vertido de sedimentos dragados, o por inundaciones (Forstner, 1980; Sangster et al., 1984, citado por Organización Mundial de la Salud [OMS], 1992).

El Cd rara vez se encuentra en estado puro, pero si se encuentra en varios tipos de rocas, suelos y en aguas, así como en el carbón y el petróleo. Entre estas fuentes naturales, el Zn, Pb y el mineral de Cu son fuentes de Cd. El Cd puede formar una serie de sales. Su movilidad en el ambiente y los efectos en el ecosistema dependen en gran medida de la naturaleza de estas sales. El cadmio tiene una presión de vapor relativamente alta. El vapor es oxidado rápidamente para producir CdO en el aire. Cuando se reactiva gases o vapor, como dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre, trióxido de azufre o cloruro de hidrógeno, el vapor reacciona para producir carbonato de cadmio, hidróxido, sulfito, sulfato o cloruro. Estas sales pueden formarse en pilas y emitirse al ambiente. Algunas de las sales de Cd, como el sulfuro, el carbonato u óxido son prácticamente insolubles en agua (OMS, 1992).

g. Cromo

El cromo (Cr) es un elemento natural, que se encuentra en las rocas, plantas, suelos, animales, el humus y gases volcánicos. Puede funcionar con distintas valencias y en el ambiente se encuentra en varias formas; las más comunes son las derivadas

del cromo trivalente (III) y cromo hexavalente (VI). El Cr III es un nutriente esencial para los seres humanos.

El Cr metálico y los derivados del Cr VI, son de origen antropogénico. Las principales fuentes de exposición ambiental al Cr son las emisiones de la industria química e incineradores, efluentes de las industrias, rellenos sanitarios contaminados, polvo de cemento, polvo procedente de desgaste de convertidores y balatas de frenos, humo de tabaco, entre otras (Albert, 1997).

1.3.2.5. Uso de aguas servidas en la agricultura

Las aguas servidas constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego por su gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados. La presencia de microorganismos y agentes tóxicos en las aguas servidas pueden causar efectos nocivos a la salud y/o a los cultivos, si no reciben el tratamiento y manejo adecuado (Saéñz, 1986).

González y Chiroles (2011) mencionan que estudios realizados en México sobre el uso de aguas residuales reportan la incidencia de enfermedades como ascariasis. Se han realizado investigaciones similares donde se demostró el impacto que tiene el uso de aguas residuales sobre la salud. El estudio más relevante fue en los suburbios de la ciudad de Asmara, Eritrea, África, donde se detectó una alta contaminación de los vegetales con Coliformes fecales y quistes de *Giardia*, así como bacterias como *Salmonella* spp. y *Shigella* spp., ocasionando la alta incidencia de gastroenteritis en los agricultores que realizaban el riego con agua

residual y consumían vegetales, especialmente repollos y lechugas.

Una investigación realizada en Dimapur en la India, demostró la elevada contaminación microbiológica que tienen los vegetales, debido al riego con agua residual parcialmente tratada y el riesgo potencial que derivaba esto para la salud de los consumidores (González & Chiroles, 2011). Se ha observado que a largo plazo el uso de aguas residuales en la irrigación de cultivos incrementa el nivel de Zn, Cu, Ni, Cr, Pb, Cd y Hg en los suelos (Hussein, 1999, citado por Neri, 2008).

Según el Instituto Nacional de estadística e Informática [INEI] (2012), obtuvieron en el IV Censo Nacional Agropecuario solo para la ciudad de Chancay, los siguientes resultados:

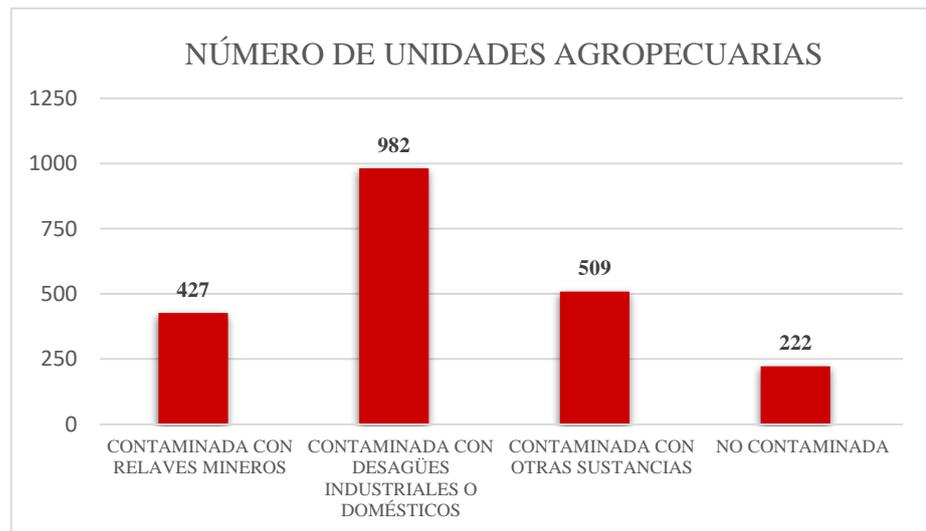


Figura 3. Unidades Agropecuarias, por Calidad del Agua de Riego - Chancay.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2012.

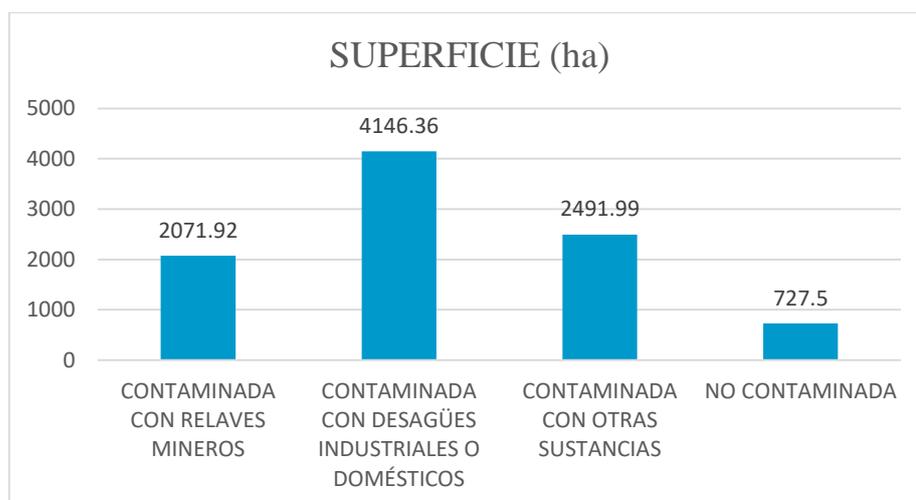


Figura 4. Superficie Agrícola bajo Riego, por Calidad del Agua de Riego - Chancay.

Fuente: INEI, 2012.

1.3.3. Suelo

Se denomina suelo a la delgada capa de corteza terrestre en la que habitan los seres humanos y que es afectada por los cambios climatológicos y la descomposición de los organismos. Este recurso es esencial para la vida, las plantas toman su alimento de él a través de la cadena alimenticia, todos los animales dependen de éste. El suelo está formado por roca que, a través del tiempo, se ha ido pulverizando por la acción del ambiente. Existe una gran cantidad de actividades físicas, químicas y biológicas que van dando forma al suelo y cambiando sus características. Tiene cuatro componentes principales que son partículas minerales, material orgánico, agua y aire (Arellano & Guzmán, 2011).

1.3.4. Contaminación del suelo

La contaminación del suelo es una perturbación que conlleva a la pérdida de calidad y aptitud para el uso o lo hace inutilizable, a no ser que reciba un tratamiento previo. El suelo puede contener una gran variedad de elementos

químicos, por lo que puede resultar difícil establecer a partir de qué momento, un mismo elemento deja de ser beneficioso, para pasar a tener la calificación de contaminante. Asimismo, resulta difícil precisar cuándo deja de estar contaminado un suelo que está siendo objeto de un proceso de recuperación. Un suelo contaminado presenta uno o más elementos o productos químicos a elevadas concentraciones (Porta, López y Roquero, 2003).

La contaminación del suelo es la presencia de cualquier agente externo al suelo tanto físico como químico que pueda ocasionar afectaciones a su estado. La contaminación ocurre por fuentes generadoras como las aguas servidas, los fertilizantes y pesticidas que entran en contacto con el suelo (Fredman, 1989, citado por Neri, 2008; Arellano & Guzmán, 2011; Ibáñez et al., 2013).

Algunas fuentes de contaminación del suelo y aguas subterráneas son los residuos provenientes de fuentes industriales, debido a la filtración provocada por derrames de sustancias químicas. Así mismo, los residuos domésticos como basura y aguas servidas que no son depositados de forma adecuada causan problemas de contaminación propiciando la proliferación de ciertas plagas como ratas, moscas, cucarachas y entre otros (Arellano & Guzmán, 2011). Otros agentes de contaminación son los biocidas que se utilizan para el control de plagas tanto de animales vertebrados como invertebrados, malezas y otros vectores de las enfermedades. El uso de lodos activados como fertilizantes en terrenos agrícolas es otra fuente de contaminación ya que, compuestos como los nitratos, fosfatos, metales pesados, detergentes y otros se añaden al suelo. El alto contenido de sales en el agua (sulfatos de Na, Ca, y Mg) al estar en contacto con los suelos produce la salinización, causando que sea más difícil la captación del agua por las raíces de las plantas, lo que reduce considerablemente los

rendimientos de los cultivos, así como la degradación de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales (Ibáñez et al., 2013).

A largo plazo el uso de fosfatos inorgánicos presentes como fertilizantes aumenta sustancialmente el nivel de cadmio y flúor en el suelo, mientras que otros elementos tales como el arsénico, cromo, plomo y vanadio no se incrementan significativamente (Fredman, 1989, citado por Neri, 2008). Para conocer el grado de contaminación es necesario realizar una caracterización del suelo que involucre el análisis de varios parámetros tales como:

1.3.4.1. Parámetros químicos del suelo

a. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (C.E.) de un suelo es proporcional al número de iones presentes y a su movilidad, por lo que permite estimar el contenido de sales que contiene. Sus valores son orientativos y deben complementarse con determinaciones de profundidad de la napa freática o sistemas de labranza, entre otros. Se expresa como deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (Quiroga & Bono, 2012).

La C.E. mide la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta. La C.E. mide la concentración de sales solubles del suelo (Coeto, 2017).

b. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (pH) es una de las mediciones químicas más importante que se puede hacer en un suelo. A pesar de su simplicidad, no sólo indica si el mismo es ácido, neutro o alcalino, sino que aporta información básica para conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos. Permite predecir los cationes dominantes en los coloides del suelo y está involucrado con la retención de plaguicidas, factor importante al momento de evaluar la contaminación de suelos y de aguas y/o persistencia (Quiroga & Bono, 2012).

El pH o reacción del suelo es una característica primordial en las propiedades químicas, específicamente, el pH controla la disponibilidad de los nutrientes; e, indirectamente, el pH tiene influencia sobre los procesos biológicos y la actividad microbiana. La mayoría de los cultivos se desarrollan adecuadamente en un suelo con pH entre 5,0 a 7,5, debido a que dentro de ese rango muchos de los nutrientes esenciales están disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas, son biodisponibles (Ministerio de Agricultura [MINAG], 2011).

En función de la tendencia ácida o alcalina se tiene una idea de los iones presentes en el suelo. En suelos ácidos, se encuentran Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+4} , mientras que, en suelos alcalinos, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y K^{+} ; la acidez o alcalinidad está relacionada con las condiciones de pluviometría (Yakabi, 2014). En la Figura 5 se muestra la disponibilidad de nutrientes según el pH del suelo.

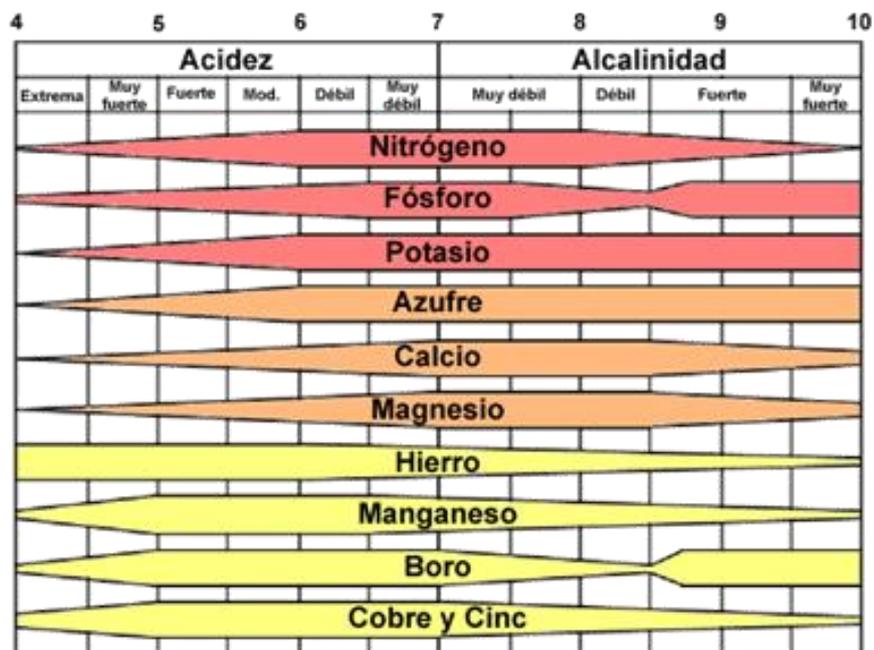


Figura 5. pH y Disponibilidad de Nutrientes

Fuente: MINAG, 2011

c. Materia orgánica

La materia orgánica (M.O.) se refiere a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que, por lo tanto, pueden dar lugar a aumentar el contenido en nutrientes del suelo. Se expresa en porcentaje o en g.kg^{-1} . La M.O. tiene una elevada capacidad de intercambio catiónico, esto es, una gran capacidad para retener cationes en el suelo, además, favorece la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de este y favorece el desarrollo de microfauna edáfica. Todos estos factores hacen que este parámetro sea muy útil para conocer, de forma indirecta, la fertilidad de un suelo determinado (Garrido, 1993).

d. Fósforo

El fósforo (P) es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Forma parte de

enzimas, ácidos nucleicos y proteínas, además de estar involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. Su contenido en el suelo está definido por el material madre y, en general, se ha observado una marcada influencia del clima, siendo las zonas más húmedas, las más deficientes en este nutriente (Quiroga & Bono, 2012).

El P disponible en el suelo es insuficiente para los vegetales, y esta deficiencia sólo se puede paliar con la aplicación de fertilizantes fosforados, ya que el P no es reciclado por las lluvias ni es liberado rápidamente de los residuos orgánicos. Niveles excesivos de P que se filtran en los ríos y océanos causan un crecimiento excesivo de algas, las cuales quitan el oxígeno del agua mientras se descomponen (Fernández, 2007).

e. Potasio

El potasio (K) es un elemento esencial, tanto en los animales, como en las plantas. Los requerimientos por las plantas lo ubican en el quinto lugar después del C, O, H y N (Marschner, 1995, citado por Borges, Escamilla, Soria y Casanova, 2005). El K está presente en el suelo en cuatro categorías: presente en la solución del suelo, intercambiable, difícilmente intercambiable y formando parte de los minerales del suelo (Barber, 1995).

Las formas intercambiables y en solución son fácilmente disponibles para las plantas y las que generalmente son extraídas y medidas en la mayoría de los procedimientos de análisis de K disponible en el suelo. Estas formas son las más importantes para cultivos que crecen en suelos altamente

meteorizados, los cuales a menudo tienen bajo contenido de arcillas y tienen muy limitadas cantidades de minerales primarios de K para descomposición. La adsorción de K en las superficies de intercambio y su disponibilidad dependen de las características fisicoquímicas del suelo (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 1991).

f. Carbonato de calcio

El carbonato de calcio o cálcico (CaCO_3) es la principal fuente de Ca de los suelos, encontrándose en dimensiones variables, desde guijarros hasta en forma de polvo muy fino. Cuando falta el CaCO_3 en el suelo nos encontramos normalmente con suelos ácidos, aunque también puede darse su falta en tierras básicas. En este último caso se tiene que aportar sulfato cálcico o yeso, de manera que se aumenta los niveles de Ca sin elevar el pH (Andrades & Martínez, 2014).

Los CO_3^{2-} tienen una acción positiva sobre la estructura del suelo y sobre la actividad de los microorganismos, pero un exceso de éstos puede traer problemas de nutrición en las plantas por antagonismos con otros elementos. Los suelos ricos en CO_3^{2-} y con pH próximo a 8 suelen contener mucho CaCO_3 , mientras que los suelos con altos contenidos en CO_3^{2-} y con pH superior a 8,5 suele predominar el carbonato sódico (Andrades & Martínez, 2014).

Los CaCO_3 y MgCO_3 son compuestos insolubles, es probable que los cationes que se asocian a las masas de agua que tienen un alto contenido de carbonatos sean los de Na^+ y K^+ , por tal motivo a medida que el suelo pierde humedad, este proceso

remueve el calcio y deja el sodio en su lugar, de la misma manera sucede con el bicarbonato y por consecuencia se forma un suelo alcalino (sódico) (Palacios et al., 2010).

El peligro de sodificación de suelo es agravado y acelerado por la presencia de Carbonato o Bicarbonato de sodio. Las reacciones que se producen se muestran en la Figura 6.

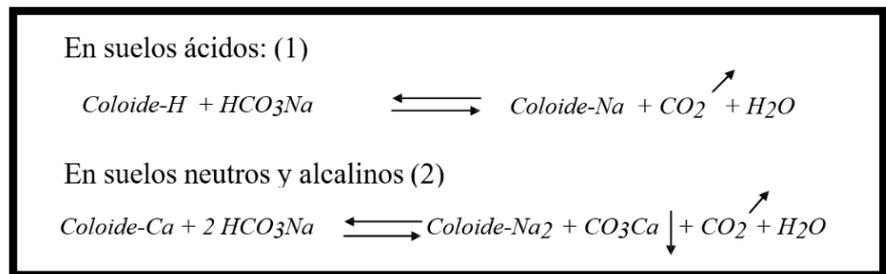


Figura 6. Reacciones de Sodificación en Suelos Ácidos, Neutros y Alcalinos

Fuente: Jarsun, 2008

Los suelos calcáreos suelen ser pobres en el contenido de materia orgánica y nitrógeno, por ende, sufren con frecuencia de la deficiencia de micronutrientes, especialmente el zinc y el hierro (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

1.3.4.2. Metales pesados

Los principales metales pesados que se encuentran en el suelo se describen a continuación:

a. Hierro

El hierro (Fe) puede considerarse como uno de los elementos principales, tanto en la corteza terrestre como en los suelos. Su

potencial en la corteza terrestre es verdaderamente importante siendo de alrededor del 5 por ciento, y es después del silicio y aluminio, el elemento más abundante. La cantidad de Fe en los suelos no es, sin embargo, indicador de su disponibilidad para las plantas (Navarro, 2003).

En los procesos de meteorización, las reacciones del Fe dependen del Eh, pH y de la oxidación de los compuestos de Fe. La movilización y fijación de Fe se da en condiciones oxidantes y alcalinas en la cual promueven la precipitación de Fe, y las ácidas y reductoras que promueven la solución de los compuestos de Fe. La M.O. influye en la formación de óxidos de Fe. La hidrólisis y las especies complejas son las reacciones involucradas con la solubilidad de Fe en el suelo. La movilidad del Fe en los suelos se da por la solubilidad de Fe^{3+} y Fe^{2+} . Sin embargo, los fosfatos, sulfuros y carbonatos, puede modificar en gran medida la solubilidad de Fe. Las formas inorgánicas solubles incluyen Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, FeOH^{2+} , Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Fe}(\text{OH})_4^{2-}$ (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La concentración de Fe en las soluciones del suelo oscila entre 30 y 550 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. El nivel de Fe soluble alcanza un mínimo en el rango de pH alcalino. Por lo tanto, los suelos ácidos son más altos en Fe inorgánico soluble que los suelos neutros y calcáreos, a la vez se vuelven tóxicos; mientras que los suelos alcalinos bien aireados, la baja concentración de Fe puede no cumplir con los requisitos de la planta. Cuando los suelos están saturados de agua, la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} se refleja en un aumento en la solubilidad del Fe. Una alta tasa de movilidad de Fe en suelos bajo estrés antropogénico (lluvia ácida, fertilizantes ácidos y alto aporte de M.O.) puede afectar el

aumento de la movilidad de Fe en varias zonas hipergénicas. Los compuestos de Fe están muy implicados en el comportamiento de algunos macronutrientes y de muchos elementos traza (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

A niveles normales de pH, los complejos orgánicos de Fe juegan un papel importante en la nutrición de las plantas. La deficiencia de Fe afecta varios procesos fisiológicos, retrasando el crecimiento y el rendimiento de la planta. El síntoma inicial más común de la deficiencia de Fe es la clorosis intervenal de las hojas jóvenes. Una absorción excesiva de Fe puede producir efectos tóxicos en las plantas, esto es más probable que ocurra en suelos muy ácidos, en suelos con sulfato ácido y en suelos inundados. Esta toxicidad también se asocia a menudo con salinidad y bajo P. Además, los aniones P compiten con la planta por Fe, por ende, el P interfiere con la absorción y con el transporte interno de Fe. Altas concentraciones de Fe causan deficiencia de P. Por lo tanto, se puede pensar que la clorosis de Fe en plantas en suelos calcáreos refleja una baja disponibilidad de Fe en tales suelos debido a la presente evidencia insuficiente de interferencias metabólicas de Fe-Ca (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

b. Manganese

El Manganese (Mn) es esencial en los procesos metabólicos de las plantas, pero es un elemento tóxico cuando está en exceso. El Mn tiene una dinámica compleja en los suelos porque está presente en diversos estados de oxidación (0, II, III, IV, VI y VII), sin embargo, la mayor parte se encuentra bajo la forma bivalente (Mn^{+2}) que, además, es el estado más

soluble de Mn en el suelo (Geering, Hodgson y Sdano, 1969, citado por Thompson & Troeh, 1988).

El Mn se lava de los suelos ácidos bien drenados porque la oxidación y la acidez aumentan su solubilidad, luego el Mn disuelto se desplaza hacia posiciones más húmedas y/o más alcalinas, donde precipita en partículas pequeñas, endurecidas y de color oscuro (Thompson & Troeh, 1988). El Mn puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas; cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Mn son más comunes. Las concentraciones de oligoelementos en los aditivos del suelo son generalmente bajas y no afectan significativamente el contenido total de Mn del suelo (Mitchell, 1971, citado por OMS, 1981).

El Mn forma una serie de minerales en los que se encuentran los iones Mn^{2+} , Mn^{3+} o Mn^{4+} . El catión Mn^{2+} se sabe que reemplaza los sitios de algunos cationes divalentes (Fe^{2+} y Mg^{2+}) en silicatos y óxidos. El Mn se elimina fácilmente, bajo condiciones climáticas frías, desde la zona de intemperie y del suelo mediante soluciones ácidas como bicarbonato o como complejo con ácidos orgánicos (plantas en descomposición). Los $Mn(OH)_4$ y MnO_2 cargados negativamente son responsables del alto grado de asociación de concreciones de Mn con algunos metales pesados (Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ba, Ti, W y Mo), dichas concreciones en los suelos acumulan Fe y otros oligoelementos. Un exceso de Mn puede producir toxicidad y se asocia con varias propiedades del suelo: a) suelos fuertemente ácidos (niveles de pH < 5,5), b) condición anaeróbica y mala aireación (suelos inundados, anegados o

compactos), c) suelos fuertemente calizados (niveles elevados de pH hasta aprox. 8) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La concentración de Mn en las plantas muestra una relación negativa con el aumento del pH del suelo y una relación positiva con la M.O. del suelo. Los síntomas de deficiencia de Mn aparecen primero en hojas más jóvenes como clorosis intervenal. En etapas posteriores, aparecen manchas necróticas en las hojas y pardeamiento de las raíces. El crecimiento de las plantas con deficiencias de Mn es retardado, la turgencia se reduce y las hojas afectadas se rompen. La deficiencia de Mn es relativamente común en ciertos cultivos que crecen en suelos neutros y calcáreos. La toxicidad de Mn en algunos cultivos podría esperarse en suelos ácidos ($\text{pH} < 5,5$) y elevado nivel de Mn. La toxicidad de Mn también ocurre a niveles de pH más altos en suelos mal drenados (mal aireados) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

c. Plomo

El plomo (Pb) en el suelo se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación Pb^{4+} . No realiza un papel esencial en las plantas, la absorción, en caso de presentarse, es de un modo pasivo, la tasa de absorción se reduce al aumentar el pH y por bajas temperaturas (Bautista, 1999). Las fuentes más frecuentes de contaminación por Pb son la industria automotriz, los lodos residuales, la combustión de carbón, la incineración de residuos, entre otros (Sierra, 2005).

Los sulfuros de Pb se oxidan lentamente durante la intemperie y tienen la capacidad de formar carbonatos y también de incorporarse en minerales de arcilla, en óxidos de Fe y Mn, y en la M.O. La solubilidad de Pb puede reducirse mediante el encalado y con la baja temperatura. Un pH alto del suelo puede precipitar Pb como hidróxido, fosfato o carbonato. El aumento de la acidez puede aumentar la solubilidad del Pb, pero esta movilización suele ser más lenta que la acumulación en la capa de suelos ricos en M.O., debido a que es un importante sumidero de Pb en suelos contaminados (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El destino del Pb antropogénico en los suelos es peligroso para el hombre y los animales por dos fuentes: la cadena alimenticia y la inhalación de polvo del suelo. Aunque el Pb es un metal ligeramente fitodisponible y, por lo tanto, difícil de fitoextraer, hay varias plantas (*Thlaspi* sp., Maíz y girasol) que acumulan Pb, especialmente en las raíces (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La acumulación de Pb en suelos superficiales es de gran importancia ecológica ya que afecta la actividad biológica de los suelos. El Pb no es fácilmente soluble en el suelo, sin embargo, es absorbido por los pelos radiculares y se almacena en las paredes celulares, también es absorbido por las plantas a través del follaje. El Pb puede eliminarse de las superficies de las hojas mediante lavado con detergentes, es probable que haya una translocación significativa de Pb en los tejidos vegetales (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

d. Cadmio

El Cadmio (Cd) es un metal que tiende a acumularse en la superficie del suelo. Debido a las actividades antropogénicas, se han incrementado los niveles de este metal en suelos agrícolas generando preocupación debido a su movilidad y lixiviación en el perfil del suelo y la facilidad con que es absorbido por las plantas (Sánchez, Subero y Rivero, 2011).

El cadmio (Cd) es fuertemente adsorbido por la M.O. del suelo y cuando está presente en el suelo este puede ser peligroso. Los suelos que son ácidos aumentan la disponibilidad de Cd para las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir debido a que puede acumularse en sus cuerpos, las vacas pueden tener grandes cantidades de cadmio en sus riñones debido a esto (Neri, 2008). Las principales fuentes de contaminación son: la combustión de carbón, el uso de fertilizantes, lodos y aguas residuales, desechos de incineración, entre otros (Sierra, 2005).

La relación que existe generalmente entre la alta biodisponibilidad de cadmio en el suelo y la alta toxicidad que tiene para humanos y animales, han hecho del cadmio un metal que provoca una gran preocupación, considerando los valores de aguas contaminadas con sustancia fecal y orina, procedentes de animales y humanos (aguas negras) que son aplicadas en algunas zonas agrícolas (McBride, 1994, citado por Rangel, 2009).

La adsorción de Cd en las partículas del suelo es mayor en suelos neutros o alcalinos que en ácidos, aumentando así los niveles de Cd en la solución del suelo. Como consecuencia, la absorción de Cd por las plantas disminuye a medida que aumenta el pH del suelo. Otros factores del suelo que influyen en la distribución de Cd es la capacidad de intercambio de cationes, el contenido de los óxidos hidratados de Mn y Fe, M.O. y CaCO_3 , un aumento en estos parámetros da lugar a una menor disponibilidad de Cd para las plantas. La pequeña proporción de Cd soluble en los suelos de Shipham (0,04 por ciento) se relacionó con el alto pH (7,7), alto contenido de CaCO_3 y óxido hidratado. La aplicación continua de los lodos de aguas residuales a los suelos puede alterar la disponibilidad de Cd (acumulación) (Alloway et al., 1988, citado por OMS, 1992).

Los compuestos de Cd son isotípicos con los compuestos correspondientes de tales cationes como Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , y, en algunos casos, Ca^{2+} . Durante la intemperie, el Cd se disuelve fácilmente y, aunque se sabe que se produce como Cd^{2+} , también puede formar varios iones complejos (CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO_3^+ , CdCl_3^- , CdCl_4^{2-} , $\text{Cd}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Cd}(\text{OH})_4^{2-}$) y quelatos orgánicos. Sin embargo, el Cd^{2+} es más común en el entorno natural, y los factores más importantes que controlan la movilidad iónica de Cd son el pH y Eh. En condiciones de fuerte oxidación, es probable que el Cd forme minerales (CdO , CdCO_3) y también es probable que se acumule en depósitos de fosfato y biolitos. Existe una relación más fuerte para Cd con contenidos de Fe y Mn del suelo. La contaminación del suelo con Cd es un serio riesgo de salud. Bajo condiciones inducidas por el hombre, es probable que el Cd se acumule en los suelos

superficiales. Sin embargo, los niveles elevados de Cd en los suelos también pueden ser de origen litogénico (geológico). Los lodos de aguas residuales y los fertilizantes de fosfato también se conocen como fuentes importantes de Cd. Aunque el Cd se considera un elemento no esencial para los procesos metabólicos, es absorbido de manera efectiva por los sistemas de las raíces y las hojas, y también se encuentra muy acumulado en los organismos del suelo (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Los girasoles y las patatas absorben significativamente más Cd de los suelos afectados por la sal (0,03 a 0,1 ppm). El cloruro forma complejos fuertes con Cd (CdCl^+ , CdCl_2^0 , CdCl_3^- y CdCl_4^{2-}), movilizándolo y aumentando su fitodisponibilidad. El Cd es más móvil en suelos ácidos (pH 4,5 a 5,5), mientras que en el suelo alcalino el Cd es bastante inmóvil. Sin embargo, a medida que aumenta el pH en el intervalo alcalino, es probable que se produzcan especies de iones hidroxilos monovalentes (CdOH) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

e. Zinc

La toxicidad de Zn es menos común, los suelos con un pH bajo favorecen la movilidad del catión y esto es especialmente peligroso en suelos contaminados por actividades como: zonas de áreas mineras y de fundición, suelos agrícolas tratados con fertilizantes, aguas o lodos residuales, pesticidas, entre otros. El Zn puede ser tóxico en grandes cantidades para las plantas y pueden estar disponible para influenciar la captación y metabolismo de otros elementos, en estas situaciones el metal puede ser altamente biodisponible y pueden desarrollar síntomas de toxicidad en las plantas, tales como hojas

cloróticas e inhibición del crecimiento radicular (Woolhouse, 1983, citado por Sagardoy, 2011).

En suelos alcalinos tiene una movilidad limitada debido a que el carbonato de calcio reacciona con el Zn, lo que reduce su disponibilidad (Fassbender & Bornemisza, 1987, citado por Gil, Marroquín y Martínez, 2012). Es poco probable que el Zn se lixivie del suelo debido a su adsorción en la arcilla y la materia orgánica. Los suelos ácidos y los suelos arenosos con un bajo contenido orgánico tienen una capacidad reducida para la absorción de zinc (OMS, 2001).

La M.O. del suelo es capaz de unir Zn en formas estables; por lo tanto, se observa la acumulación de Zn en horizontes orgánicos del suelo y en algunas turbas. La adición de lodos de aguas residuales a estos suelos modifica el patrón de distribución de Zn, aumentando significativamente la concentración de Zn en el suelo, fácilmente solubles e intercambiables. La solubilidad y la disponibilidad de Zn se correlacionan negativamente con la saturación de Ca y los compuestos de P presentes en los suelos (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Los óxidos de Zn agregados a un suelo se transforman fácilmente en otras especies, principalmente carbonatos. La mejora de los suelos contaminados con Zn se basa comúnmente en el control de su disponibilidad mediante la adición de cal o M.O., o ambos. Los complejos orgánicos de Zn solubles que se producen particularmente en los lodos de aguas residuales municipales son muy móviles en los suelos y,

por lo tanto, están fácilmente disponibles para las plantas. Los factores más importantes de la deficiencia de Zn son: a) bajo contenido de Zn en el suelo, b) suelos calcáreos y $\text{pH} > 7$, c) suelos bajos en M.O., d) inactivación microbiana de Zn en el suelo, e) absorción limitada de Zn por las raíces debido a la zona de raíz restringida y a las temporadas de primavera, f) respuestas diferenciales de especies de plantas y genotipos y g) efectos antagonistas (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

f. Cobre

El aumento de la concentración de cobre (Cu) en los suelos es debido a distintas fuentes antrópicas y puede producir efectos de toxicidad en vegetales. Sin embargo, se ha postulado que diversos factores edáficos podrían determinar la biodisponibilidad del Cu y, por lo tanto, la intensidad del efecto fitotóxico, tales como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo, además del grado de solubilidad de la forma química en la cual el Cu es incorporado (Ginocchio & Narváez, 2002).

La concentración de Cu en la corteza terrestre se encuentra entre 20-30 mg.kg^{-1} de suelo (Wedepohl, 1990, citado por León & Sepúlveda, 2012); pero en suelos de diferentes partes del mundo el nivel de cobre se eleva a más de 50 mg.kg^{-1} debido a la actividad minera, la industria petrolera, al uso de aguas residuales sin tratamiento para el riego de suelos agrícolas y al uso de fungicidas en la agricultura (León & Sepúlveda, 2012).

En general los vertidos industriales y urbanos, actividades agrícolas, lodos procedentes de estaciones depuradoras y depósitos de residuos industriales provocan que se incrementen los niveles de los metales pesados (Zn, Pb, Cu, y Cd), hasta una profundidad de 36 a 40 cm. Este incremento provoca, en la biota edáfica y en las plantas, cambios morfológicos en su bioquímica, actividades enzimáticas y reproducción (Cervantes et al., 1988, citado por Castro, 2013).

El Cu se acumula en los horizontes superiores de los perfiles del suelo. Los lodos de aguas residuales pueden ser una fuente de contaminación de Cu en las plantas, y en algunos casos también de las aguas subterráneas. La movilidad de Cu dentro de los tejidos de las plantas depende en gran medida del nivel de suministro de Cu, y su baja movilidad en relación con otros elementos en las plantas y la mayoría de este metal parece permanecer en los tejidos de las raíces y las hojas hasta que envejecen; solo pequeñas cantidades pueden moverse a órganos jóvenes y estos son los primeros en desarrollar síntomas de deficiencia de Cu (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

A pesar de que algunas especies de plantas son tolerantes al Cu, este metal se considera altamente tóxico. Los síntomas generales de la toxicidad de Cu muestran que la clorosis inducida por Cu y la malformación de la raíz son los síntomas característicos más comunes de esta toxicidad. En las plantaciones de cítricos, café, cacao, té, aceitunas y viñedos, los fungicidas cúpricos se han aplicado durante bastante tiempo. Ahora, los microorganismos han desarrollado una resistencia al Cu, pero la acumulación de este metal en los

suelos superficiales es perjudicial para muchas especies de plantas (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

g. Cromo

El cromo (Cr) se puede encontrar en varias formas de valencia y las más comunes son: Cr II, Cr III y Cr VI. El Cr hexavalente (Cr^{6+}) es más tóxico que el trivalente (Cr^{3+}). Este último se encuentra en la cromita, que es cromito ferroso (FeOCr_2O_3), pero al entrar en contacto con el oxígeno se oxida a Cr^{6+} . El Cr se encuentra de forma natural en la cromita y otros minerales en la corteza terrestre. Como fuente antropogénica se encuentra la extracción de compuestos de Cr, industria química, colorantes, pigmentos, plaguicidas, curtido de cueros, teñidos de telas, explosivos, conservador de madera, lodos de aguas residuales municipales, entre otros (Figueroa, 1985; Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El Cr^{3+} tiende a estar asociado con fases sólidas, por lo tanto, pueden ser persistentes y acumulativos en los sedimentos y suelos, mientras que su absorción puede ser limitada por los seres vivos (Pereira, 2013). El cromo $^{6+}$ en los suelos puede ser eliminado de la solución mediante la absorción por organismos vivos, lixiviación, adsorción o reducción a formas de Cr^{3+} (Bartlett & James, 1988, citado por Pereira, 2013).

Las sustancias orgánicas añadidas como lodos de aguas residuales al suelo (pH 6,1) causan un aumento significativo de dos especies de Cr asociadas con óxidos hidratados y unidas a M.O. El Cr^{6+} es fácilmente soluble en los suelos, es tóxico para las plantas y los animales. Por lo tanto, la variabilidad en

los estados de oxidación de Cr en los suelos es de gran preocupación ambiental. El Cr agregado a los suelos generalmente se acumula en la capa superior delgada. La mayoría de los suelos contienen cantidades significativas de Cr, pero su disponibilidad para las plantas es muy limitada. La mayor concentración de Cr en dos formas (Cr^{3+} y Cr^{6+}), se encontró en raíces de plantas de la familia Brassicaceae, y la más baja en raíces de *Allium* sp. El contenido de Cr en los brotes fue mucho más uniforme en todos los cultivos de hortalizas. Los síntomas de toxicidad de Cr aparecen como marchitamiento de las partes superiores y lesión de la raíz; también, la clorosis en las hojas jóvenes, las bandas cloróticas en los cereales y las hojas de color marrón rojizo son las principales características (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

1.3.5. Cultivo agrícola

Al iniciarse el siglo XXI, los informes que publican tanto las Naciones Unidas respecto al panorama mundial del medio ambiente como la FAO respecto a la disponibilidad de recursos para producir alimentos subrayan que los recursos naturales están sometidos a presiones cada vez mayores, con lo cual se amenazan la salud pública y el desarrollo. La escasez de agua, el agotamiento de los suelos, la pérdida de bosques, la contaminación del aire, del agua y la degradación de las costas afectan adversamente a numerosas zonas y, como consecuencia, a la producción de alimentos (Díaz & Escárcega, 2009).

Los cultivos agrícolas son productos que se obtienen gracias a la agricultura y uno de los cultivos más consumidos son las hortalizas las cuales son plantas herbáceas de cultivo intensivo o extensivo que se cultivan para el aprovechamiento de las partes útiles o comestibles como son las hojas,

tallos, raíces, flores, frutos y bulbos, en estado fresco, cocinadas o industrializadas (Caicedo, 1972 citado por Pinzón et al., 2012).

1.3.6. Contaminantes microbiológicos en cultivos agrícolas

Tanto el ser humano como también los animales, llevan microorganismos en la boca, el intestino y la piel. En las heces humanas y animales se excretan muchos microorganismos peligrosos, estos dependen de que alguien o algo los transporte. Por esta razón, se denomina contaminación a la transferencia de microorganismos de una superficie a otra (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2012).

La ingesta directa de agua de fuentes contaminadas o indirectamente a través de alimentos de consumo crudo de tallo bajo o de tallo alto regados por aguas servidas sin tratar o deficientemente tratadas, así como el contacto con campos regados con aguas servidas también deficientemente tratadas y sin tomar las debidas restricciones, representan un elevado riesgo de infección parasítica (giardiasis, amebiasis, teniasis y ascariasis), vírica (hepatitis, diarreas por rotavirus) y bacteriana (cólera, tifoidea y enfermedades diarreicas agudas en general) (Méndez & Marchán, 2008).

La presencia de microorganismos en el agua de superficie (ríos, arroyos y lagos) proviene del vertido de aguas servidas por parte de las poblaciones ribereñas. El reúso de aguas servidas sin tratar o con tratamiento inadecuado, implica riesgos de salud para los agricultores y sus familias, lo mismo que para la población en general que consumen los productos agrícolas, en consecuencia, se presentan altas tasas de enteritis y otras enfermedades diarreicas, así como tifoidea y cólera (Saénz, 1986).

Los principales problemas que causan la incidencia de enfermedades entéricas son la falta de potabilización, el bajo grado de saneamiento ambiental y el uso de aguas servidas en la irrigación sin control. Algunos microorganismos peligrosos forman parte de la flora natural del suelo, del ambiente, así como de la vía fecal o urinaria de humanos y animales, siendo la principal fuente de contaminación en las frutas y hortalizas a través del agua usada en riegos o lavados (Saénz, 1986; López, 2003).

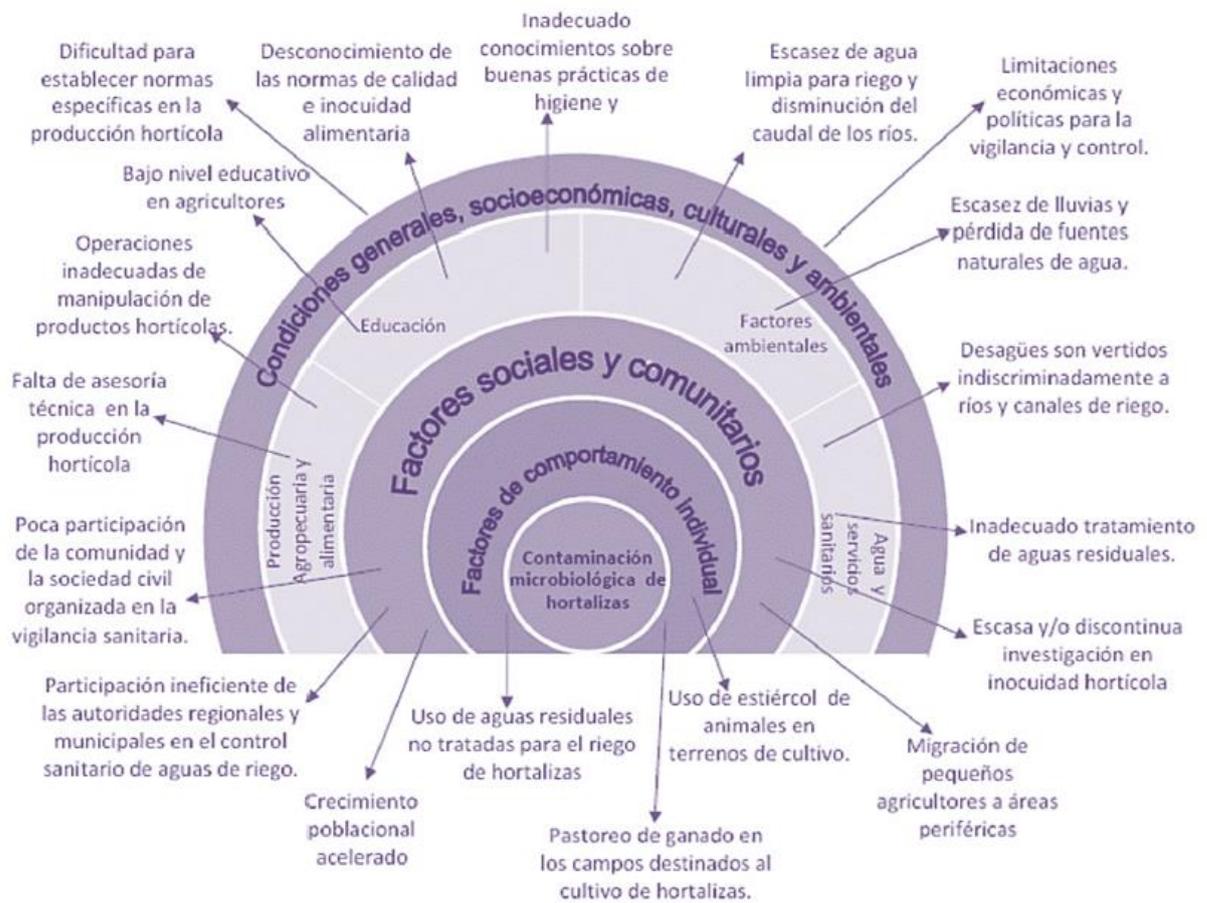


Figura 7. Modelo multifactorial de determinantes asociados a la contaminación microbiológica de hortalizas.

Fuente: Rivera & Rodríguez, 2012.

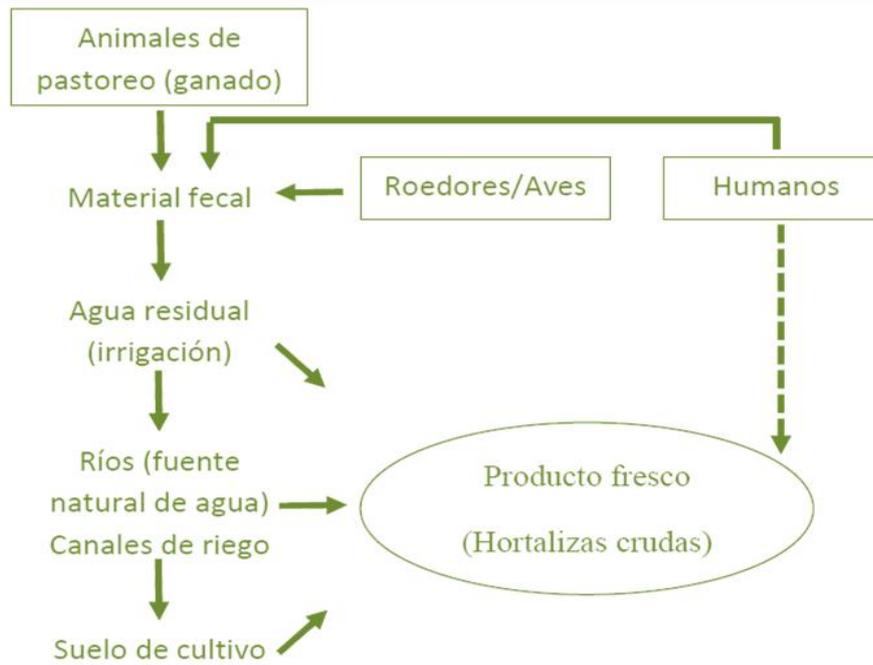


Figura 8. Principales fuentes de contaminación fecal de hortalizas.

Fuente: Beuchat, 1996, citado por Rivera & Rodríguez, 2012.

1.3.6.1. Parámetros microbiológicos del agua, suelo y cultivos agrícolas

El drenaje y los escurrimientos, urbanos y domésticos, por lo general se conducen para descargar en los cuerpos de agua, principalmente en los ríos. Los patógenos asociados con esas descargas se distribuyen en el agua para convertirse en un riesgo para los usuarios de ella. La práctica de riego con aguas servidas escasamente tratadas o sin tratar puede llevar a una contaminación del agua superficial y subterránea si existe una rápida infiltración a través del suelo. Otra fuente de patógenos son los escurrimientos y lixiviados que provienen de los corrales de engorda, de los depósitos de basura y de los rellenos sanitarios con deficiencias de control y administración operativa (Ramírez, 2004).

El grupo de los microorganismos coliformes es un indicador muy empleado para determinar la contaminación microbiana del agua, ya que muchos de ellos habitan en grandes cantidades en el tracto intestinal del hombre y de otros animales. En consecuencia, su presencia en el agua indica contaminación fecal. Los coliformes son bacilos anaerobios facultativos, gramnegativos, no formadores de endosporas, que fermentan la lactosa con producción de gas a las 48 horas en una incubación a 36 °C. El grupo coliformes incluye a *Enterobacter* que es normalmente inocuo, al frecuente organismo intestinal *Escherichia coli* que sólo ocasionalmente es patógeno, y a *Klebsiella pneumoniae*, que es un patógeno menos frecuente que habita el intestino. En general, la presencia en una muestra de agua de coliformes totales o *Escherichia coli*, indica contaminación fecal (Madigan, Martinko, Dunlap y Clark, 2009).

Los coliformes se encuentran por lo común en agua, suelo, plantas, personas y animales (tracto intestinal). La presencia de estas bacterias en el suelo y cultivos es un indicio de que están siendo contaminadas con aguas servidas u otro tipo de desechos en descomposición (Munn, 2004, citado por Ramos, Vidal, Vilaridy y Saavedra, 2008).

Una forma de evaluación de la calidad sanitaria del agua es la utilización de algunos indicadores de contaminación fecal como bacterias coliformes totales y *Escherichia coli*, debido a que son nativos del tracto digestivo de humanos y animales (Di Giovanni et al., 2006, citado por Olivas et al., 2011). Los parámetros microbiológicos que se evaluaron fueron los siguientes:

a. Coliformes totales

La calidad microbiológica y sanitaria de las aguas se determinan mediante el análisis de coliformes totales como indicador, incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35-37 °C. *Escherichia coli* y los coliformes termotolerantes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales. Los coliformes totales producen la enzima β -galactosidasa para fermentar la lactosa. Tradicionalmente, se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006).

Este grupo de bacterias fermentan la lactosa con producción de ácido y gas, aunque algunos pueden ser fermentadores tardíos o no fermentadores. La mayoría de los coliformes pueden encontrarse en la flora normal del tracto digestivo del hombre o animales, por lo cual son expulsados especialmente en las heces, por ejemplo, *Escherichia coli*, su unidad de expresión es el número más probable (NMP) (Camacho et al., 2009, citado por Ramírez, 2017).

b. Coliformes fecales

Los coliformes fecales (termo resistentes) o termotolerantes, son aquellos coliformes propios del tracto intestinal del hombre y los vertebrados de sangre caliente, se definen como

el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa a 44-45 °C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal, en su mayoría están representados por el microorganismo de género *Escherichia Coli* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; su unidad de expresión es NMP (Easton, 1998, citado por Vásquez, 2010).

c. *Escherichia coli*

Escherichia coli es miembro de la familia Enterobacteriaceae. Es una bacteria Gram negativa, anaerobia facultativa que forma parte de la microbiota normal del intestino del ser humano y los animales homeotermos, siendo la más abundante de las bacterias anaerobias facultativas intestinales. Se excreta diariamente con las heces entre 10^8 - 10^9 UFC.g⁻¹ y por sus características, es uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados (Larrea et al., 2009, citado por Larrea, Rojas, Romeu, Rojas y Heydrich, 2013). La vía de infección primaria es la ingestión y puede ocasionar gastroenteritis, diarreas, vómitos intensos y deshidratación. Frecuentemente es mortal sino se trata adecuadamente. Su unidad de expresión es NMP (DIGESA, 2003).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Lugar y fecha

El trabajo de investigación, que tuvo una duración de 10 meses, iniciándose en el mes de enero del año 2017 y concluyendo en el mes de octubre del mismo año, se ejecutó en la zona de las Salinas Bajo, en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, región Lima. El ingreso se puede dar desde el cruce de Chancay (óvalo) o también por una carretera asfaltada desde la Panamericana Norte paralela al Cerro Trinidad hacia el pueblo joven de Peralvillo, siendo el recorrido de 1.3 km hacia los campos de cultivo de las Salinas Bajo. La ubicación geográfica es de $11^{\circ} 35' 28.51''$ de latitud sur y de $77^{\circ} 15' 47.93''$ longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 43 m.s.n.m. Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] (2009) el distrito de Chancay tiene una extensión territorial de 150,11 km², limitando por el norte con el distrito de Huacho, por el sur con el distrito de Aucallama, por el este con el distrito de Huaral y por el oeste con el Océano Pacífico.

Presenta un clima variado por las diferencias de altura, con lloviznas bajas entre abril a diciembre, y sol intenso de enero a marzo con elevada insolación en las pampas. Las temperaturas máximas oscilan entre 25 °C a 26 °C y las mínimas entre 14 °C y 15 °C, que son propias y características de la faja costera con un clima desértico templado húmedo. La ciudad de Chancay comprende el 6,9 por ciento de la superficie total de la provincia de Huaral. El valle de Chancay es irrigado por el río del mismo nombre y su cuenca abarca un total de 3 279 km². Gracias a su ubicación, es uno de los valles más fértiles de la costa peruana.

Según el Censo Agropecuario de 1994, la superficie agrícola en el distrito de Chancay alcanzaba a 4 385,84 hectáreas; de las cuales el 90 por ciento son tierras de labranza (el 91 por ciento son tierras para cultivos transitorios), el 8 por ciento son tierras para cultivos permanentes, y el restante 2 por ciento son cultivos asociados. El 96 por ciento de la superficie agrícola es bajo riego.

La agricultura en la cuenca de Chancay-Huaral comprende muchos cultivos transitorios, los llamados industriales: “algodón” (*Gossypium barbadense*), “maíz amarillo duro” (*Zea mays*), “marigold” (*Tagetes erecta*), cubriendo cerca del cincuenta por ciento del total del área cultivada. Los cultivos que les siguen en importancia son las hortalizas, los cereales y los tubérculos. Entre los cultivos permanentes destacan los frutales, entre ellos “manzano” (*Malus domestica*), “mandarina” (*Citrus reticulata*), “palto” (*Persea americana*), “mango” (*Mangifera indica*) y “naranja” (*Citrus sinensis*) (ANA, 2012).

Según el Censo XI de Población y VI de Vivienda del 2007 el Distrito de Chancay tiene 49 932 habitantes, de los cuales 44 862 pertenecen al área urbana y 5 070 a la rural aproximadamente. La población distrital se ha incrementado entre períodos intercensales, así en el período 1981-1993 la tasa de crecimiento fue 2,2 por ciento y 3,0 por ciento en el periodo 1993-2007. Una expresión de ese comportamiento es el creciente proceso de urbanización experimentado en los últimos años, asociado al desarrollo de actividades industriales (MVCS, 2009).

2.1.2. Población y muestra

2.1.2.1. Población

La población estuvo constituida por los suelos de uso agrícola de las Salinas Bajo que abarca una extensión aproximadamente de 120 ha de las cuales se tomó por objeto de estudio aproximadamente 30 ha,

donde los principales cultivos son irrigados con aguas del canal de regadío que en su recorrido reciben descargas de aguas servidas. Los principales cultivos que se tienen en la zona de estudio son los siguientes: fresa, zanahoria, pepinillo, betarraga, maíz, choclo, camote, papa, cebolla, yuca, tomate, ají, todo tipo de variedad de frijol, entre otros.

2.1.2.2. Muestra

Se realizó un análisis exploratorio de la calidad del agua de riego del canal en las Salinas Bajo, distrito de Chancay, debido a que no se cuenta con ninguna estación de monitoreo en la zona de estudio y se desconoce los contaminantes que contienen esas aguas, en otros términos, la ausencia de información sobre la calidad de estas aguas es nula, así como el efecto sobre el suelo y los cultivos.

La muestra estuvo representada de la siguiente manera:

- Siguiendo la metodología de Zamora et al. (2008) se seleccionó cinco puntos de muestreo de los suelos agrícolas ubicados en la zona final del recorrido del canal de regadío. En cada punto se tomaron dos muestras, el número total de muestras fueron diez: cinco para el análisis físico-químico y de metales pesados y cinco muestras para análisis microbiológico del suelo. Según Ortiz & Ortiz (1990), Carter & Gregorich (2007), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] (2007) y Manoj (2014), el tipo de muestreo fue aleatorio y estratificado, mediante la construcción de calicatas a una profundidad de 60 cm, de los cuales solo se muestreo los 30 cm superficiales que corresponden al horizonte superficial (Ap), en donde se desarrollan la mayor parte de los pelos absorbentes de las raíces y existe una mayor concentración de materia orgánica (ver Apéndice 2 y 5). Además, es fundamental resaltar que en nuestro país son escasos los estudios

de análisis microbiológico en suelos, por ende, se consideró y se arriesgó analizar microbiológicamente los suelos en la zona.

- Según Bonilla et al. (2015), Reutelshöfer & Guzmán (2015), ANA (2016c) se seleccionaron dos puntos de muestreo en el canal de regadío (Muestra inicial y final), en cada punto se tomaron seis muestras simples de agua, el número total de muestras fue de doce: seis para análisis físico-químico y de metales y seis muestras para el análisis microbiológico del agua. El muestreo se realizó en una frecuencia de tres horarios: 8:00, 13:00 y 18:00 horas, debido a la influencia del ritmo de vida de la población que en la mayoría su jornada diaria empieza en la mañana con el desayuno, en la tarde con el almuerzo y por la noche con el retorno a casa para la cena y el descanso, lo cual se refleja en la variación de los caudales durante todo el día. Sin embargo, en la actualidad muchos subestiman la frecuencia de horario para tomar muestras, en la mayoría de los estudios solo se basan en tomar solo una muestra en una hora determinada debido a diversos factores principalmente económicos y de tiempo, por tal motivo este estudio es de suma importancia ya que se consideró una frecuencia de horario en todo el día siendo representativo y único. Cabe resaltar que estas aguas no reciben tratamiento alguno, por ende, se consideró dos puntos de muestreo en las cuales “P1” aguas arriba y “P2” aguas abajo, siendo el agua proveniente del río mezclado con el agua que fluye de los servicios de las viviendas aledañas al canal de riego, que al final son usadas para la irrigación de predios de producción agrícola. Para llevar a cabo el muestreo se tomó recomendaciones de algunas guías y protocolos de monitoreo de agua. Así mismo se tomó indicaciones del Laboratorio de la UNALM (2017).
- Siguiendo la metodología de Neri (2008) se seleccionó tres puntos de muestreo de cultivos agrícolas que se encontraban en periodo de cosecha (lechuga, fresa y betarraga), que fueron irrigadas con las

aguas servidas, se escogieron esos cultivos debido a los siguientes criterios: a) Fase de maduración del cultivo en proceso de cosecha, mientras que los demás cultivos estaban aún en proceso de crecimiento o de laboreo, b) Debido a que las hortalizas de tallo corto están más expuestas a la contaminación biológica en la zona, y c) Conocer la existencia de diferencias en la contaminación microbiana entre los cultivos de plantas de fruto (fresa), de hojas (lechuga) y de raíz (betarraga). De cada punto de muestreo se tomaron dos muestras compuestas, cada una representada por seis submuestras de cultivos por el método zig-zag, haciéndose un total de seis muestras compuestas para el análisis microbiológico (ver apéndice 2). Para llevar a cabo el muestreo se tomó recomendaciones y adaptaciones de la Norma Sanitaria de Alimentos (Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA), así como las indicaciones del Laboratorio de la UNALM (2017).

Los detalles de los puntos de muestreo georreferenciados están en los Apéndices 3, 4 y 5.

2.1.3. Tipo de investigación

El método de investigación fue no experimental, aplicativo y descriptivo porque se trata de resolver problemas de calidad de las aguas, suelos y cultivos mediante previas evaluaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), donde se determinaron el efecto contaminante del riego con aguas servidas (parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos) en la zona de estudio, para conocer la composición química del suelo (C.E., pH, P, K, CaCO₃, M.O.), la presencia de metales pesados (Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cd y Cr), coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, y también la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* en cultivos agrícolas.

2.1.4. Descripción de la investigación en campo

La investigación se llevó a cabo a través de una secuencia de diversas actividades que comprendió la fase preliminar, la fase de campo, la fase de laboratorio y la fase de gabinete, ejecutadas de la siguiente manera (ver Figura 9):

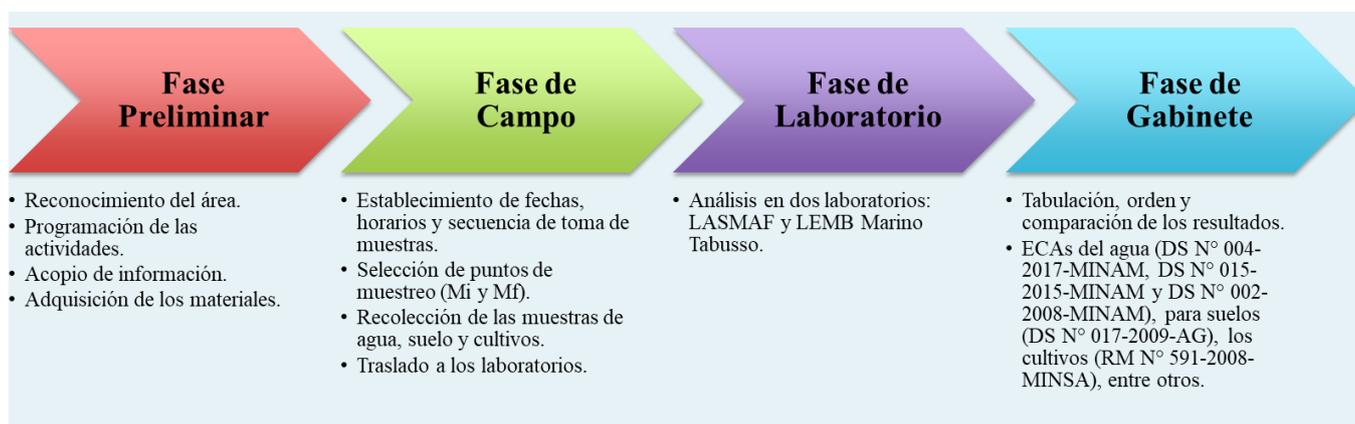


Figura 9. Fases de la Investigación.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.1. Fase preliminar

En esta fase se hizo el reconocimiento del área en estudio mediante un recorrido por la zona con la finalidad de programar las actividades a desarrollarse. Asimismo, en esta fase se acopió la información bibliográfica y se consiguieron los materiales necesarios para realizar la investigación.

2.1.4.2. Fase de campo

En esta fase, se establecieron las fechas, horarios y la secuencia de la toma de muestras de agua, suelo y cultivos agrícolas en tiempo de cosecha. En las fechas establecidas se tomaron las muestras respectivas para ser enviadas a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina para los análisis respectivos.

Para determinar la presencia de contaminantes en el agua se realizó el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Para el muestreo de agua se seleccionaron dos puntos (punto inicial y final) del recorrido del canal de regadío, y la recolección de las muestras de agua, consistió en tomar muestras en tres horarios, utilizándose en total 12 botellas de plástico con las muestras que luego se trasladaron a una refrigeradora para su conservación.

La recolección de muestras de suelo consistió en cinco puntos de muestreo en parcelas de la parte baja de la zona donde se desarrollan varios cultivos dentro de ellos el frijol, la fresa, la lechuga, la betarraga, el tomate, entre otros; de las cuales se recolectaron muestras de suelo 1 kg aproximadamente en bolsas debidamente rotuladas.

Luego, se recolectaron las partes comestibles de los siguientes cultivos agrícolas que estaban en cosecha: lechuga (*Lactuca sativa* L.), fresa (*Fragaria Vesca* L.) y betarraga (*Beta vulgaris* L.). Las muestras se colocaron en bolsas de plásticos limpias siendo llevadas inmediatamente a los laboratorios de la UNALM-Lima.

2.1.4.3. Fase de laboratorio

En esta fase, las muestras recolectadas en la fase de campo fueron analizadas en dos laboratorios de la UNALM: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego y Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso, considerándose todas las variables a estudiarse de acuerdo con las metodologías correspondientes mostradas en las Tablas 3, 4 y 5.

Los análisis de muestras del agua se realizaron para conocer qué tipos de contaminantes contienen, para verificar si están dentro de los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua según las normas (Decreto Supremo N° 004-

2017-MINAM, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM y Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM). Los análisis de suelo se realizaron para conocer las características del suelo, con el fin de conocer si están dentro de los valores establecidos por el Decreto Supremo N° 017-2009-AG. Los análisis de cultivos agrícolas se realizaron para conocer la cantidad de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* presentes en las muestras, con la finalidad de conocer si estos microorganismos están dentro de los valores establecidos de acuerdo con la norma sanitaria de inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano (Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA).

2.1.4.4. Fase de gabinete

En esta fase se tabularon y ordenaron los resultados obtenidos en las fases de campo y de laboratorio para hacer luego las comparaciones con las normas establecidas de acuerdo a las variables consideradas en el estudio. Finalmente se redactó el trabajo final de investigación.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y SU MENSURACIÓN

Las variables en estudio durante la investigación fueron con respecto al agua, suelo y cultivos agrícolas, las mismas que están consideradas en las Tablas 3, 4 y 5 de la siguiente manera:

2.2.1. Contaminación del agua

Tabla 3

Variables físicas, químicas, metales pesados y microbiológicos del agua

VARIABLES	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO
a. Físicos:		
- Conductividad Eléctrica	dS.m ⁻¹	Conductímetro
- Turbidez	UNT	Nefelométrico
- Sólidos suspendidos	mg.L ⁻¹	Gravimétrico
b. Químicos		
- pH	unidad de pH	Potenciométrico
- Calcio	meq.L ⁻¹	Espectrofotometría de Absorción Atómica
- Magnesio	meq.L ⁻¹	
- Sodio	meq.L ⁻¹	Volumétrico del nitrato de plata.
- Potasio	meq.L ⁻¹	
- Cloruro	meq.L ⁻¹	
- Sulfato	meq.L ⁻¹	
- Bicarbonato	meq.L ⁻¹	
- Nitratos	meq.L ⁻¹	
- Carbonatos	meq.L ⁻¹	
- Boro	ppm	Colorimétrico
- Dureza total	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	Titulación
- Alcalinidad total	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	Titulación
c. Metales Pesados		
- Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr).	mg.L ⁻¹	Espectrofotometría de absorción atómica
d. Microbiológicos		
- Coliformes totales, Coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	Tubos múltiples

Fuente: Elaboración propia (2017).

2.2.2. Contaminación del suelo

Tabla 4

Variables químicas, metales pesados y microbiológicos del suelo

VARIABLES	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO
a. Químicos		
- Conductividad Eléctrica	dS.m ⁻¹	Extracto relación suelo agua 1:1 Potenciométrico
- pH	unidades de pH	Walkley y Black
- Materia Orgánica	Porcentaje	Olsen Modificado
- Fósforo (P)	ppm	Extracto Acetato de Amonio
- Potasio (K)	ppm	
- Carbonato de Calcio (CaCO ₃)	porcentaje	Gasó-volumétrico
b. Metales Pesados:		
- Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Cromo (Cr)	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
c. Microbiológicos		
- Coliformes totales, Coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>	NMP.g ⁻¹	Tubos Múltiples

Fuente: Elaboración propia (2017).

2.2.3. Contaminación de cultivos agrícolas

Tabla 5

Variables Microbiológicas en Plantas

VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO
- Coliformes totales, Coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>	NMP.g ⁻¹	Tubos múltiples

Fuente: Elaboración propia (2017).

2.3. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos se hizo en base a las categorías establecidas en distintas normas nacionales y de otros autores tanto nacionales como internacionales (DS N° 002-2008-MINAM, DS N° 004-2017-MINAM, DS N° 017-2009-AG, DS N° 015-2015-MINAM, RM N° 591-2008-MINSA, entre otros) para el análisis de agua, suelo y cultivos; mediante las siguientes tablas:

2.3.1. Parámetros físicos, químicos y metales pesados en el agua

La Tabla 6 incluye los parámetros físicos, químicos y los metales pesados con los límites permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Agua.

Tabla 6

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Riego de Vegetales

PARÁMETROS	MINAM – ECAs		**VALORES CONVERTIDOS	
	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos y Metales				
Conductividad	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	2500	dS.m^{-1}	2,5
pH	Unidad de pH	6,5-8,5		
Calcio*	mg.L^{-1}	200	meq.L^{-1}	9,98
Magnesio*	mg.L^{-1}	150	meq.L^{-1}	12,34
Sodio*	mg.L^{-1}	200	meq.L^{-1}	8,70
Cloruros	mg.L^{-1}	500	meq.L^{-1}	14,10
Sulfatos	mg.L^{-1}	1000	meq.L^{-1}	20,82
Bicarbonatos	mg.L^{-1}	518	meq.L^{-1}	8,49
Nitratos*	mg.L^{-1}	10	meq.L^{-1}	0,16
Carbonatos*	mg.L^{-1}	5	meq.L^{-1}	0,17
Boro	mg.L^{-1}	1	ppm	1
Hierro	mg.L^{-1}	5		
Cobre	mg.L^{-1}	0,2		
Zinc	mg.L^{-1}	2		
Manganeso	mg.L^{-1}	0,2		
Plomo	mg.L^{-1}	0,05		
Cadmio	mg.L^{-1}	0,01		
Cromo	mg.L^{-1}	0,1		

Fuente: Ministerio del Ambiente-MINAM-ECA Agua: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM – Riego de vegetales y bebida de animales y *Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM - Categoría 3-D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo., **Elaboración propia.

Solo se convirtieron para comparar los resultados con los ECAs establecidos (ver Apéndice 7).

Los rangos de pH del agua y los efectos que pueden ocasionar en suelos y cultivos agrícolas se describen en la Tabla 7.

Tabla 7

Rangos de pH del agua y efectos esperables

TÉRMINO DESCRIPTIVOS	RANGO DE pH EN AGUA	EFECTOS ESPERABLES
Extremadamente ácido	<4,5	Condiciones muy desfavorables
Muy fuertemente ácido	4,5-5,0	Toxicidad de Al ³⁺ y exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Deficiencia de Ca, K, N, Mg, Mo, P y S. Actividad bacteriana escasa (bacterias coliformes).
Fuertemente ácido	5,1-5,5	
Moderadamente ácido	5,6-6,0	Adecuado para la mayoría de los cultivos
Ligeramente ácido	6,1-6,5	Máxima disponibilidad de nutrientes
Neutro	6,6-7,3	Mínimos efectos tóxicos. Bajo pH 7,0 no hay CaCO ₃ .
Ligeramente alcalino	7,4-7,8	Suelos generalmente en CaCO ₃
Moderadamente alcalino	7,9-8,4	Disminuye la disponibilidad de P. Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Clorosis férrica.
Fuertemente alcalino	8,5-9,0	En suelos no sódicos, puede haber MgCO ₃ . Mayores problemas de clorosis férrica. Toxicidad de B.
Muy fuertemente alcalino	>9,0	Presencia de carbonato de sodio. Suelo sódico. Toxicidad de B y Na. Deficiencias de micronutrientes excepto Mo. Actividad microbiana (bacterias coliformes) escasa. Condiciones muy desfavorables.

Fuentes: Soil Science Society of América, 1987; Porta, López y Roquero, 1999; Brady y Weil, 2002; Schoeneberger et al., 2002, citado por Campillo & Sadzawka, 2015.

2.3.2. Clasificación y peligro de sales-sodio

El Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la UNALM clasifica el peligro de salinización de los suelos según la conductividad eléctrica del agua utilizada para el riego de acuerdo a la Tabla 8.

Tabla 8

Clasificación y peligro de sales

CLASE	UNIDAD (dS.m ⁻¹)
C1-Salinidad baja	0,10-0,25
C2-Salinidad moderada	0,25-0,75
C3-Salinidad media	0,75-2,25
C4-Salinidad alta	2,25-4,00
C5-Salinidad muy alta	4,00-6,00
C6-Salinidad excesiva	>6,00

Fuente: UNALM, 2017.

El laboratorio de salinidad de RIVERSIDE (U.S.) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo por el agua de riego en función de su índice R.A.S. de acuerdo con la Tabla 9.

Tabla 9

Clasificación y peligro de sodio

CLASE	RAS
S1-Baja peligrosidad sódica	0-10
S2-Mediana peligrosidad sódica	10-18
S3-Alta peligrosidad sódica	18-26
S4-Muy alta peligrosidad sódica	>26

Fuente: Blasco y de la Rubia (Lab. de suelos IRYDA, 1973), citado por Cadahía, 2005.

2.3.3. Clasificación y peligro de boro, cloruro y dureza

En la Tabla 10 se muestra la clasificación del agua de riego de acuerdo a su contenido de Boro.

Tabla 10

Clasificación y peligro de boro

BORO	
VALOR ppm	CLASE
<0,3	Buena
0,3-4	Condicionada
>4	No recomendable

Fuente: Departamento de Agricultura del Desierto, 2009, citado por Pocoy, 2015.

Según Balmaseda et al. (2006) citado por Tartabull y Betancourt (2016) Otras especies de cultivos agrícolas a determinadas concentraciones como el cloruro y el boro (Tabla 11) pueden ocasionar toxicidad en las plantas según el siguiente criterio:

Tabla 11

Clasificación y peligro de cloruro

CLORURO	
VALOR meq.l⁻¹	CLASE
<1	Buena
1-5	Condicionada
>5	No recomendable

Fuente: Balmaseda et al., 2006, citado por Tartabull & Betancourt, 2016.

En la Tabla 12 se tiene la clasificación del agua de riego según el grado de dureza.

Tabla 12

Clasificación y peligro de dureza

DUREZA TOTAL	
VALOR mgCaCO₃.l⁻¹	TIPO DE AGUA
0-75	Suave o Blanda
75-150	Moderada
150-300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: Sierra, 2011.

2.3.4. Conductividad eléctrica en el suelo

Según el Laboratorio de la UNALM (2017) ha propuesto la siguiente clasificación para la C.E. determinada en una solución extracto de suelo a 25 °C, cuya relación suelo:agua está en proporción 1:1 (Tabla 13). Un suelo se considera salino a partir de 2 dS.m⁻¹.

Tabla 13

Clasificación de la salinidad en función de la C.E. del suelo

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	
CLASIFICACIÓN	VALOR (dS.m⁻¹)
No Salino	-
Muy ligeramente Salino	<2
Ligeramente Salino	2-4
Moderadamente Salino	4-8
Fuertemente Salino	8-16
Extremadamente Salino	>16

Fuente: UNALM, 2017.

2.3.5. Materia orgánica, calcáreo total, fósforo y potasio en el suelo

Según el Ministerio de Agricultura [MINAGRI] (2009) a través del Decreto Supremo N° 017-2009-AG, indica que la fertilidad del suelo está relacionada al contenido de macronutrientes de M.O., P y K de la capa superficial, como se describe en a Tabla 14.

Tabla 14

Materia orgánica, fósforo y potasio en el suelo

CLASE	MATERIA ORGÁNICA (%)	FÓSFORO (ppm)	POTASIO (ppm)
Bajo	<2	<7	<100
Medio	2-4	7-4	100-240
Alto	>4	>14	>240

Fuente: MINAGRI, 2009.

Según Calla (2012) se presentan en la Tabla 15 los valores de carbonato de calcio en suelos.

Tabla 15

Clasificación de carbonato de calcio (CaCO₃) en los suelos

CLASIFICACIÓN	PORCENTAJE %
No calcáreo	<1
Ligeramente calcáreo	1-2
Moderadamente calcáreo	2-5
Fuertemente calcáreo	>5

Fuente: Calla, 2012

2.3.6. Reacción de suelo

Según SSDS (1993) citado por Jaramillo (2002) indican que el sistema USDA ha propuesto la siguiente clasificación para los valores de pH determinados en una solución extracto de suelo, cuya relación suelo:agua está en proporción 1:1. La reacción de acidez y alcalinidad se medirá en términos de pH de acuerdo a la Tabla 16.

Tabla 16

Clasificación del pH del suelo (USDA)

pH	
CLASIFICACIÓN	VALOR
Ultra ácido	<3.5
Extremadamente ácido	3,5-4,4
Muy fuertemente ácido	4,5-5,0
Fuertemente ácido	5,1-5,5
Moderadamente ácido	5,6-6,0
Ligeramente ácido	6,1-6,5
Neutro	6,6-7,3
Ligeramente alcalino	7,4-7,8
Moderadamente alcalino	7,9-8,4
Fuertemente alcalino	8,5-9,0
Muy fuertemente alcalino	>9,0

Fuente: Soil Survey Division Staff, 1993, citado por Jaramillo, 2002.

2.3.7. Parámetros microbiológicos de aguas y plantas

En la Tabla 17 se presentan los parámetros microbiológicos con los valores permitidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, según Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM y Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Mientras que los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad de las frutas y hortalizas frescas que no reciben ningún tratamiento de desinfección se presentan en la Tabla 18.

Tabla 17

Estándares nacionales de calidad ambiental para el riego de vegetales

PARÁMETROS	UNIDAD	*CULTIVOS TALLO BAJO	RIEGO NO RESTRINGIDO
Biológicos		Valores	
Coliformes termotolerantes	NMP.100ml ⁻¹	1000	1000
Coliformes totales	NMP.100ml ⁻¹	1000	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	100	1000

Fuente: Ministerio del Ambiente- *DS N° 015-2015-MINAM y DS N° 004-2017-MINAM.

Tabla 18

Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos

FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS - SIN NINGÚN TRATAMIENTO					
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Límite por g ⁻¹
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10 ²

Fuente: Ministerio de Salud-Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA.

n: Número de unidades de muestra seleccionadas al azar de un lote, que se analizan para satisfacer los requerimientos de un determinado plan de muestreo.

c: Número máximo permitido de unidades de muestra rechazables en un plan de muestreo de 2 clases o número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Resultados de los análisis físico, químico y microbiológico del agua del canal de regadío de las Salinas Bajo

3.1.1.1. Análisis físico del agua de riego

En la Tabla 19 se muestran los resultados del análisis de la conductividad eléctrica (dS.m^{-1}), sólidos suspendidos (mg.L^{-1}) y turbidez (NTU) correspondiente al agua que se utiliza para la irrigación en las Salinas Bajo. Los muestreos respectivos fueron realizados a las 8:00, 13:00 y 18:00 horas.

Tabla 19

Resultados del análisis físico del agua

PARÁMETROS	HORA DE MUESTREO						ECAs
	08:00		13:00		18:00		
	Mi	Mf	Mi	Mf	Mi	Mf	
C.E. (dS.m^{-1})	0,95	1,22	0,89	0,96	0,90	1,30	2,5
Sólidos Suspendidos (mg.L^{-1})	9,00	90,00	10,00	38,00	6,00	30,00	-
Turbidez (NTU)	2,84	89,90	2,25	44,70	2,45	52,50	-

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

Mi: Muestra tomada al inicio del canal.

Mf: Muestra tomada al final del canal.

3.1.1.2. Análisis químico del agua

Los resultados del análisis químico del agua del canal de regadío de las Salinas Bajo se muestran en la Tabla 20. En estos análisis están considerados el pH, calcio (meq.L⁻¹), magnesio (meq.L⁻¹), sodio (meq.L⁻¹), potasio (meq.L⁻¹), cloruros (meq.L⁻¹), sulfatos (meq.L⁻¹), bicarbonato (meq.L⁻¹), nitratos (meq.L⁻¹), carbonatos (meq.L⁻¹) y boro (mg.L⁻¹) así como también la dureza total (mg.L⁻¹) y alcalinidad total (mg.L⁻¹) de las muestras tomadas en tres horarios 8:00, 13:00 y a las 18:00 horas.

Tabla 20

Resultados del análisis químico del agua

PARÁMETROS	HORA DE MUESTREO						ECAs
	08:00 am		13:00 pm		18:00 pm		
	Mi	Mf	Mi	Mf	Mi	Mf	
pH	8,35	8,33	8,47	8,13	8,54	8,34	6,5 – 8,5
Calcio (meq.L ⁻¹)	7,02	8,00	6,10	5,50	5,95	7,78	9,98*
Magnesio (meq.L ⁻¹)	0,02	0,03	0,14	0,03	0,03	0,08	12,34*
Sodio (meq.L ⁻¹)	2,37	3,91	2,57	3,70	2,83	4,78	8,70*
Potasio (meq.L ⁻¹)	0,06	0,41	0,08	0,28	0,08	0,41	-
Cloruro (meq.L ⁻¹)	2,27	4,11	2,35	1,96	2,35	4,50	14,10
Sulfato (meq.L ⁻¹)	3,39	1,44	3,56	2,84	3,45	2,04	20,82
Bicarbonato (meq.L ⁻¹)	3,23	6,39	2,62	4,81	2,74	6,21	8,49
Nitrato (meq.L ⁻¹)	0,12	0,01	0,12	0,00	0,00	0,00	0,16*
Carbonato (meq.L ⁻¹)	0,36	0,38	0,30	0,00	0,43	0,33	0,17*
SAR	1,26	1,95	1,45	2,22	1,63	2,41	-
Boro (mg.L ⁻¹)	0,23	0,21	0,16	0,25	0,21	0,37	1
Dureza Total (mg.L ⁻¹)	351,99	401,65	312,00	276,24	299,15	392,46	-
Alcalinidad Total (mg.L ⁻¹)	161,49	319,71	131,16	240,60	136,90	310,69	-

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

Mi: Muestra tomada al inicio del canal.

Mf: Muestra tomada al final del canal.

3.1.1.3. Análisis de metales pesados en el agua

La Tabla 21 muestra los resultados del análisis de metales pesados presentes en el agua de regadío de las Salinas Bajo. Los metales analizados fueron hierro (mg.L^{-1}), cobre (mg.L^{-1}), zinc (mg.L^{-1}), manganeso (mg.L^{-1}), plomo (mg.L^{-1}), cadmio (mg.L^{-1}) y cromo (mg.L^{-1}), las muestras para estos análisis también fueron tomadas en tres horarios: 8:00, 13:00 y 18:00 horas.

Tabla 21

Resultados del análisis de metales pesados del agua

PARÁMETROS	HORA DE MUESTREO						ECAs
	08:00 am		13:00 pm		18:00 pm		
	Mi	Mf	Mi	Mf	Mi	Mf	
Hierro (mg.L^{-1})	0,11	0,33	<0,080	0,120	<0,080	0,150	5
Cobre (mg.L^{-1})	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	<0,035	0,2
Zinc (mg.L^{-1})	<0,012	0,040	<0,012	0,020	<0,012	0,050	2
Manganeso (mg.L^{-1})	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	<0,030	0,2
Plomo (mg.L^{-1})	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05
Cadmio (mg.L^{-1})	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Cromo (mg.L^{-1})	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,1

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

Mi: Muestra tomada al inicio del canal.

Mf: Muestra tomada al final del canal.

3.1.1.4. Análisis microbiológico del agua

En la Tabla 22 se presentan los resultados del análisis microbiológico del agua del canal de regadío de las Salinas Bajo, con referencia a la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* expresados en NMP.100 ml^{-1} . Las muestras fueron tomadas a las 8:00, 13:00 y a las 18:00 horas.

Tabla 22

Resultados del análisis microbiológico del agua

PARÁMETROS	HORA DE MUESTREO						ECAs	
	08:00 am		13:00 pm		18:00 pm		*2015	2017
	Mi	Mf	Mi	Mf	Mi	Mf		
Coliformes totales (NMP.100ml ⁻¹)	>16x10 ²	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	-	-
Coliformes fecales (NMP.100ml ⁻¹)	>16x10 ²	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	1000	1000
<i>Escherichia coli</i> (NMP.100ml ⁻¹)	>16x10 ²	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	92x10	>16x10 ²	100	1000

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

Mi: Muestra tomada al inicio del canal.

Mf: Muestra tomada al final del canal.

3.1.2. Resultados del análisis de los suelos agrícolas de las Salinas Bajo

3.1.2.1. Análisis químico del suelo

Los resultados del análisis del suelo que son irrigados con aguas del canal procedentes del río Chancay y que en su trayecto recibe descargas de aguas servidas se refieren a la conductividad eléctrica (dS.m⁻¹), pH (rangos), materia orgánica (g.kg⁻¹), fosforo (mg.kg⁻¹), potasio (mg.kg⁻¹) y carbonato de calcio (%) (Tabla 23).

Tabla 23

Resultados del análisis químico del suelo

MUESTRAS	CE (dS.m ⁻¹)	pH	M.O. (g.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	CaCO ₃ (%)
MS-1	0,93	8,63	16,0	44,08	173,20	2,55
MS-2	0,35	8,83	15,6	42,77	156,20	2,29
MS-3	0,71	8,34	13,7	48,78	121,00	3,26
MS-4	0,49	8,40	15,4	54,51	159,60	2,29
MS-5	0,80	8,07	18,9	57,43	175,20	2,20

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

3.1.2.2. Análisis de metales pesados en el suelo

En la Tabla 24 se presentan los resultados del análisis de los metales pesados considerándose al hierro, manganeso, zinc, cromo, cobre, plomo y cadmio, expresados en mg.kg⁻¹.

Tabla 24

Resultados del análisis de metales pesados en el suelo

Muestra	Fe (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)	Mn (mg.kg ⁻¹)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Cd (mg.kg ⁻¹)	Cr (mg.kg ⁻¹)
MS-1	17,24	2,61	5,97	10,31	<0,3	<0,012	3,95
MS-2	33,28	2,53	6,75	10,72	<0,3	<0,012	4,13
MS-3	31,49	3,69	7,48	12,72	<0,3	<0,012	4,15
MS-4	32,54	3,00	10,87	16,54	<0,3	<0,012	4,32
MS-5	53,80	4,29	13,35	19,02	<0,3	<0,012	4,36
*Suficiente o normal	-	5 - 30	27 - 150	30 - 300	5,0 - 10	0,05 - 0,2	0,1 - 0,5
*Suficiente o tóxica	-	20 - 100	100 - 400	400 - 1000	30 - 300	5 - 30	5 - 30
*Tolerante por algunos cultivos	-	5,0 - 20	50 - 100	300	0,5 - 10	0,05 - 0,5	2,0

Fuente: Laboratorio UNALM (2017) y *Kabata-Pendias y Pendias (2001).

3.1.2.3. Resultados del análisis microbiológico en el suelo

Los resultados del análisis microbiológico en el suelo determinan la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, expresados en NMP.g⁻¹ y se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25

Resultados del análisis microbiológico en el suelo

MUESTRAS	coliformes totales (NMP.g ⁻¹)	coliformes fecales (NMP.g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> (NMP.g ⁻¹)
MS-1	41	23	4
MS-2	24x10	24x10	4
MS-3	23	4	<3
MS-4	46x10	46x10	21
MS-5	4	<3	<3

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

3.1.3. Resultados del análisis microbiológico en el cultivo de la lechuga, fresa y betarraga cultivados en los suelos de las Salinas Bajo

En la Tabla 26 se muestran los resultados del análisis de los cultivos agrícolas en cosecha con referencia a la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, expresados en NMP.g⁻¹.

Tabla 26

Resultados del análisis microbiológico en cultivos agrícolas

CULTIVOS		coliformes totales (NMP.g ⁻¹)	coliformes fecales (NMP.g ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> (NMP.g ⁻¹)
Lechuga	ML-1	41	23	4
	ML-2	41	23	4
Fresa	MF-1	41	23	4
	MF-2	41	23	4
Betarraga	MB-1	41	23	4
	MB-2	41	23	4

Fuente: Laboratorio UNALM (2017).

ML: Muestra de cultivo “Lechuga”.

MF: Muestra de cultivo “Fresa”.

MB: Muestra de cultivo “Betarraga”.

3.2. DISCUSIONES

Las ciudades de Huaral y Chancay no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, existe contaminación de aguas superficiales causadas por las siguientes actividades: industrial, doméstica, agrícola, y por el uso de los canales de riego como desagües. Las disposiciones de los desagües son vertidos de forma directa en los canales de regadío, siendo estos, al final los cuerpos receptores (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2012). Los agricultores utilizan esas aguas no tratadas indebidamente para el riego, mezcladas con aguas de regadío (proveniente del río) poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y nutricional, provocando problemas en la salud, contaminación de los suelos, de las aguas subterráneas y de los ecosistemas acuáticos.

3.2.1. Análisis físico del agua

La conductividad eléctrica del agua en el canal de riego de las Salinas Bajo varía entre 0,89 a 0,95 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en las muestras iniciales y de 0,96 a 1,30 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en las muestras finales, siendo mayor en horas de la mañana (8:00) y en horas de la tarde (18:00), tal como se aprecia en la Tabla 19. Estos valores de acuerdo con la Norma Legal Peruana - DS N° 004-2017-MINAM, están por debajo del nivel máximo establecido que es 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Sin embargo, de acuerdo con la UNALM (2017) la salinidad es entre media y alta debido a que los resultados están en un rango de 0,75 a 2,25 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Los resultados obtenidos al final del canal son muy similares a los de Neri (2008), Navarro y Nieto (2010) y Sarabia et al. (2011). En consecuencia, pueden presentar problemas de salinidad. Cuando el agua usada para la irrigación tiene sales en exceso, incrementa la presión osmótica de la solución del suelo, reduciendo la capacidad de las plantas para absorber agua llegando a ser tóxica para las plantas o inhibiendo la absorción de nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos y disminuyendo el rendimiento (Rodríguez & Lozano, 2014; Tartabull & Betancourt, 2016).

Los sólidos suspendidos en el agua varían entre 6,00 a 10,00 mg.L⁻¹ en las muestras iniciales y de 30,00 a 90,00 mg.L⁻¹ en las muestras finales, con una tendencia de ser mayor en horas de la mañana (8:00) y en la tarde (13:00), tal como se aprecia en la Tabla 19. Este indicador es fundamental debido a que provocan la turbidez en el agua, poniendo en riesgo la vida de algunos organismos fotosintetizadores que son parte de la productividad primaria de estos ecosistemas. Por otro lado, en un estudio de la calidad superficial del Río Chancay (1 km antes de la desembocadura al mar) por la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2013) registraron un valor de 17,2 mg.L⁻¹. En esta investigación se obtuvo una presencia elevada de sólidos suspendidos al final del canal de riego superando a los obtenidos por Bonilla et al. (2015), sin embargo, fue similar con los valores obtenidos al inicio del canal. Los sólidos suspendidos son los principales en provocar la turbidez del agua, su efecto depende del tipo de material en suspensión, lo perjudicial puede producirse al agregar limo a suelos pesados, debido a la disminución de la permeabilidad e infiltración, ya que se forma un sello superficial, o bien cuando el limo proviene de áreas erosionadas, impidiendo así la adecuada germinación de las semillas, actividad fotosintética, crecimiento y presencia de materiales en los cultivos como hortalizas, tal como reporta Leitón (1985).

Con respecto a la turbidez se evidenció que los niveles en el agua variaron entre 2,25 a 2,84 NTU en las muestras iniciales y de 44,70 a 89,90 NTU en las muestras finales, siendo mayor en horas de la mañana (8:00) y en la tarde (18:00), tal como se aprecia en la Tabla 19. Cabe resaltar que al final del canal se registró la carga más alta de sólidos suspendidos y de turbidez que se generan por la presencia de partículas en suspensión de naturaleza inorgánica y orgánica originados por las actividades humanas que generan efluentes cargados de estas partículas (Marín, 2003); indicando que el agua de riego de las Salinas Bajo es de baja calidad para el riego, causados por las descargas directas de aguas servidas que suelen asociarse con alta presencia de agentes patógenos, aumentando su volumen tanto en la mañana como en la tarde; por lo tanto, estos indicadores son útiles para confirmar la calidad del agua.

Se presentan problemas como el anegamiento debido al aumento de caudal, salinización por el efecto de las sales, dureza por el aumento en el contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- , entre otros. La incorporación de sustancias químicas, lixiviados, entre otros, provocan la degradación de la calidad de las aguas. Los sólidos suspendidos provocan elevados niveles de turbidez en el agua que limitan la entrada de la luz solar, alterando la actividad fotosintética, perturbando así al ecosistema acuático. Las sustancias minerales y orgánicas suspendidas en las aguas servidas tales como las arenas, aceites, grasas y sólidos de variada procedencia, interfieren presentando cambios en las características estéticas del agua (aparición física en los canales de irrigación, lagos, humedales, entre otros) con la propagación de malos olores. Otro efecto es la acción tóxica por muchos compuestos minerales y orgánicos que contienen las aguas contaminadas y provoca daños sobre la flora y la fauna y sobre los consumidores que utilizan estas aguas; transmisión de enfermedades debido a la aparición de microorganismos patógenos en el agua y que se convierten en peligro para los animales y las personas; cambio de temperaturas.

3.2.2. Análisis químico del agua

Según la Tabla 20, el pH del agua en el canal de riego varió entre 8,35 a 8,54 en las muestras iniciales y de 8,13 a 8,34 en las muestras finales, con una clara tendencia de ser mayor en los tres horarios reportados al inicio del canal, siendo los valores más altos a las 18:00 horas. Estos valores de acuerdo con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encuentran en su mayoría dentro del rango de 6,5-8,5, solo una de las muestras presentó un valor más alto a lo establecido. Según otra clasificación estas aguas tienen una tendencia hacia la alcalinidad, estando entre moderadamente y fuertemente alcalino (Soil Science Society of América, 1987; Porta, López y Roquero, 1999; Brady y Weil, 2002; Schoeneberger et al., 2002, citado por Campillo & Sadzawka, 2015). La ANA (2013) reportó un valor de 7,0, estando por debajo de los valores encontrados en este estudio, asimismo este valor estuvo dentro del estándar establecido. Estos valores fueron muy altos contrastando con los obtenidos por Navarro y Nieto (2010) y algo similar con los de Bonilla et al. (2015).

Como se puede apreciar en la Tabla 20, el Ca^{2+} presentó niveles entre 5,95 a 7,02 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 5,50 a 8,00 meq.L^{-1} en las muestras finales, con una tendencia de ser mayor en horas de la mañana (8:00) y en la tarde (18:00) al final del canal, mientras que a las 13:00 horas presentó un valor alto al inicio y bajo al final del canal. Estos valores de acuerdo con el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, están por debajo de 9,98 meq.L^{-1} que es el máximo aceptable. Al respecto, la ANA (2013) reportó un valor de 81,53 mg.L^{-1} equivalente a 4,07 meq.L^{-1} , este valor está por debajo de los resultados encontrados en este estudio. El catión Ca^{2+} forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles, asimismo, precipita fácilmente como carbonato de calcio (CaCO_3) aumentando la dureza del agua (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

El Mg^{2+} registró niveles de 0,02 a 0,14 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 0,03 a 0,08 meq.L^{-1} en las muestras finales, con tendencia de ser más alta al final del canal (8:00 y 18:00 horas), mientras que a las 13:00 horas presentó el valor más alto al inicio del canal y bajo al final del canal, tal como se aprecia en la Tabla 20. Estos valores se encuentran muy por debajo del máximo de 12,34 meq.L^{-1} y 10,62 mg.L^{-1} equivalente a 0,87 meq.L^{-1} , respectivamente, según el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y la ANA (2013).

Según la Tabla 20, el Na^+ del agua en el canal de regadío varió entre 2,37 a 2,83 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 3,70 a 4,78 meq.L^{-1} en las muestras finales, siendo más elevadas al final del canal en los tres horarios. Estos resultados se encuentran dentro del valor aceptable de 8,70 meq.L^{-1} con respecto al Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. La ANA (2013) reportó un valor de 22,22 mg.L^{-1} equivalente a 1,83 meq.L^{-1} , este valor estuvo por debajo de los encontrados en este estudio. Una presencia elevada de Na^+ en el agua trae como consecuencias la fitotoxicidad y reducción de la permeabilidad del suelo (Fernández, 2009). El K^+ registró valores entre 0,06 a 0,08 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 0,28 a 0,41 meq.L^{-1} en las muestras finales, con una tendencia a ser mayor al final del canal en los tres horarios, tal como se aprecia en la Tabla 20.

Confrontando los valores obtenidos en este estudio con los reportados por Bonilla et al. (2015) se concluye que existe alguna variación con respecto al Ca^{2+} que presentó mayores concentraciones, el Mg^{2+} menores concentraciones, mientras que con el Na^+ y K^+ tuvieron valores similares. Además, mencionan que el suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y de aire a través de los poros del suelo (Departamento Desarrollo del Medio Rural, 2002, citado por Bonilla et al., 2015).

Como se puede apreciar en la Tabla 20, el Cl^- obtuvo valores entre 2,27 a 2,35 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 1,96 a 4,50 meq.L^{-1} en las muestras finales, con tendencia de ser más alta al final del canal (8:00 y 18:00 horas), mientras que a las 13:00 horas se presentó el valor más alto al inicio y el más bajo al final del canal. Estos resultados se encuentran dentro del valor aceptable de 14,10 meq.L^{-1} con respecto al DS N° 004-2017-MINAM. Asimismo, estos valores fueron muy altos en comparación con lo reportado por Bonilla et al. (2015), mientras que con Navarro y Nieto (2010) fueron bajos. Se puede presentar de forma natural o por contaminantes domésticos sin tratar como desperdicios y desagües (Ramos, Sepúlveda y Villalobos, 2003).

En la Tabla 20 se observa que el contenido de SO_4^{2-} presentó valores entre 3,39 a 3,56 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 1,44 a 2,84 meq.L^{-1} en las muestras finales, siendo mayor al inicio del canal en los tres horarios. Estos resultados se encuentran dentro del valor establecido con 20,82 meq.L^{-1} con respecto al Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los sulfatos siempre contribuyen a la salinidad (Pancorbo, 2011). En un estudio sobre el uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas realizado por Méndez et al. (2006) obtuvieron valores (16,14 a 37,66 mg.L^{-1}) muy elevados de SO_4^{2-} en relación con este estudio. A diferencia de Navarro y Nieto (2010) y Sarabia et al. (2011) que obtuvieron valores bajos de SO_4^{2-} .

El contenido de HCO_3^- varió entre 2,62 a 3,23 meq.L^{-1} en las muestras iniciales y de 4,81 a 6,39 meq.L^{-1} en las muestras finales, con tendencia a ser mayores al

final del canal en los tres horarios, siendo los valores más elevados a las 8:00 y 18:00 horas, tal como se aprecia en la Tabla 20. Estos datos se encuentran dentro del valor máximo establecido de 8,49 meq.L⁻¹ de acuerdo con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estos valores fueron muy similares a los obtenidos por Sarabia et al. (2011), mientras que con Neri (2008) fue mayor registrando 7,20 meq.L⁻¹. Pilatti y Buyatti (1997) reportaron que la presencia de HCO₃⁻ en el agua de riego aumenta el pH tanto de las soluciones nutritivas, como de los suelos.

El contenido de CO₃²⁻ es variable en los dos puntos de muestreo registrando valores entre 0,30 a 0,43 en las muestras iniciales y de 0,00 a 0,38 meq.L⁻¹ en las muestras finales, siendo mayor a las 8:00 y 18:00 horas, solo la muestra al final del canal realizada a las 13:00 horas no registró valor alguno, tal como se aprecia en la Tabla 20, encontrándose aceptable. Las demás muestras excedieron al valor aceptable de 0,17 meq.L⁻¹, tal como recomienda el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, no se pudo contrastar con Sarabia et al. (2011) ni con Neri (2008) ya que no registraron valor. La presencia de HCO₃⁻ y CO₃²⁻ provocan la alcalinidad de las aguas y las aguas bicarbonatadas sódicas son malas para el riego, debido a la fijación de Na⁺ en el terreno (Fernández, 2009). La concentración de Ca²⁺ y Mg²⁺ decrece en relación a la del Na⁺ y con una RAS mayor. Esto provoca la alcalinización y aumento del pH, por lo tanto, cuando el análisis del agua indica un nivel alto de pH, es señal de que los valores de HCO₃⁻ y CO₃²⁻ son altos (Lafuente, 1969, citado por Bonilla et al., 2015).

Según la Tabla 20, el contenido de NO₃⁻ reportó valores entre 0,00 a 0,12 meq.L⁻¹ en las muestras iniciales y de 0,00 a 0,01 meq.L⁻¹ en las muestras finales, con una tendencia de ser mayor a las 8:00 y 13:00 horas. Cabe resaltar que no se detectó concentración a las 13:00 horas al final del canal ni a las 18:00 horas en los dos puntos de muestreo. Estos resultados se encuentran dentro del valor aceptable que es de 0,16 meq.L⁻¹ de acuerdo con el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Estos valores estuvieron muy por debajo de los registrado por Sarabia et al. (2011) y Navarro y Nieto (2010). Las reacciones de los NO₃⁻

pueden causar el agotamiento del oxígeno en el agua y su presencia en las aguas, en conjunto con los fosfatos, provoca la eutrofización (Rigola, 1990).

En otros estudios de Neri (2008), Sarabia et al. (2011) y Bonilla et al. (2015) obtuvieron la clasificación C3-S1 a partir de la C.E. y el R.A.S. En esta investigación no fue la excepción, ya que, se determinaron los factores de salinidad, a través de la conductividad eléctrica y su relación de adsorción de sodio (R.A.S.), con el propósito de clasificar el agua para riego y conocer el efecto que puede causar en suelos y cultivos, se encontró que el R.A.S. registró valores entre 1,26 a 1,63 en las muestras iniciales y de 1,95 a 2,41 en las muestras finales, siendo los valores más elevados siempre al final del canal de regadío en los tres horarios, tal como se aprecia en la Tabla 20. De modo que, se puede observar que las aguas del canal de regadío de las Salinas Bajo están clasificadas en C3-S1. El término C3, indica que el agua de este tipo es entre media y alta salinidad, en consecuencia, no es recomendable para usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente, debido a que el exceso de salinidad destruye la estructura y el espacio poroso del suelo impidiendo un drenaje normal, dificultando el desarrollo del sistema radicular de las plantas. Mientras que la clasificación S1 indica que son aguas bajas en sodio, por lo tanto, pueden usarse para riego en la mayoría de los suelos, presentando poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio (Blasco y de la Rubia, 1973; citado por Cadahía, 2005).

El B registró valores entre 0,16 a 0,23 ppm en las muestras iniciales y de 0,21 a 0,37 ppm en las muestras finales, siendo mayor al inicio a las 8:00 horas, así como al final del canal a las 13:00 y 18:00 horas. Estos resultados se encuentran por debajo de 1 ppm que es el máximo aceptable de acuerdo con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, similar con Sarabia et al. (2011), mientras que Neri (2008) registró valor más elevado con 1,33 ppm.

Como se puede observar en la Tabla 20, la dureza total del agua varió entre 299,15 a 351,99 mg.L⁻¹ en las muestras iniciales y de 276,24 a 401,65 mg.L⁻¹ en las muestras finales, con una tendencia de ser mayor en horas de la mañana (8:00) y en la tarde (18:00) al final del canal, mientras que a las 13:00 horas se

presentó un alto valor al inicio del canal y bajo al final del canal. Estos valores se clasifican como agua muy dura debido a que sobrepasan el valor de $> 300 \text{ mg.L}^{-1}$ (Sierra, 2011). Sin embargo, en un estudio de Sarabia et al. (2011) determinaron que casi un 70% de las muestras que tomaron fueron clasificadas como aguas duras al exceder el valor de 180 mg.L^{-1} de CaCO_3 . El agua dura tiene una elevada concentración de sales, por otro lado, aguas con mucho Ca^{2+} compensan las acciones negativas del Na^+ , por lo que al momento de recuperar suelos sódicos es recomendable emplear aguas duras para compensar el efecto negativo del Na^+ . Las aguas muy duras son poco recomendables en suelos duros y compactos, debido a que no mejoran la permeabilidad del suelo, condiciones que limitan el desarrollo normal de las plantas. El precipitado de CaCO_3 es común en aguas alcalinas y ricas en Ca^{2+} y HCO_3^- . Hay más probabilidad que ocurra problemas de acumulación con aguas de $\text{pH} > 7,5$ y contenido de $\text{HCO}_3^- > 5 \text{ meq.L}^{-1}$ (Ruiz, 2017).

Según la Tabla 20, la Alcalinidad total registró valores entre 131,16 a 161,49 mg.L^{-1} en las muestras iniciales y de 240,60 a 319,71 mg.L^{-1} en las muestras finales, con una tendencia de ser mayor al final del canal en los tres horarios (8:00, 13:00 y 18:00 horas), contrastando con la investigación de Bonilla et al. (2015) se tienen algo de similitud con los encontrados en las muestras finales en este estudio. Según López (2016) las aguas con alta alcalinidad produce un elevado pH del sustrato, y a su vez hace poco disponibles a ciertos nutrientes, uno de los más afectados es el hierro cuyo exceso afecta seriamente a las plantas que presentan síntomas de clorosis intervenal de las hojas jóvenes, volviéndose de color amarillento o blanquesino, asimismo el zinc y el manganeso también se ven afectados. El efecto de estas condiciones hace que las plantas cultivadas tenga una baja productividad. Para disminuir la alcalinidad se debe acidificar correctamente el agua para riego, los ácidos más comunes son el sulfúrico (H_2SO_4), fosfórico (H_3PO_4), nítrico (HNO_3), y cítrico ($\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$).

3.2.3. Análisis de metales pesados en el agua

En la Tabla 21 se puede observar la distribución de los metales pesados, a continuación, se presenta el orden de los metales pesados encontrados:

- Los metales pesados encontrados a las 8:00 am estuvieron en el siguiente orden decreciente: Muestra inicial (Fe>Cr>Cu>Mn>Zn>Cd>Pb) y Muestra final (Fe>Cr>Zn>Cu>Mn>Cd>Pb).
- Los metales pesados encontrados a las 13:00 pm estuvieron en el siguiente orden decreciente: Fe>Cr>Cu>Mn>Zn>Cd>Pb.
- Los metales pesados encontrados a las 18:00 pm estuvieron en el siguiente orden decreciente: Muestra inicial (Fe>Cr>Cu>Mn>Zn>Cd>Pb) y Muestra final (Fe>Zn>Cr>Cu>Mn>Cd>Pb).

Las concentraciones de Fe varían entre $<0,080$ a $0,11 \text{ mg.L}^{-1}$ en las muestras iniciales y de $0,120$ a $0,330 \text{ mg.L}^{-1}$ en las muestras finales, con una clara tendencia de ser mayor en los tres horarios al final del canal. Este comportamiento puede ser de forma natural o por actividad antropogénica debido a que se recibe descargas de aguas residuales al final del canal, llegando a provocar la disolución del Fe (Martínez, 2002; DIGESA, 2003). Estos valores de acuerdo con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encuentran por debajo del nivel establecido que es 5 mg.L^{-1} ; por lo tanto, dichas concentraciones no se consideran como riesgo y/o condicionante para ser usadas en el riego agrícola. Contrastando con el estudio de Neri (2008), quién encontró concentraciones desde $0,17$ a $1,30 \text{ mg.L}^{-1}$; valores similares y a la vez mayores a los encontrados en esta investigación, la elevada concentración se debió a la disolución del Fe en el agua y las descargas de la industria textil hacia las aguas del río Nexapa. A diferencia de Zamora et al. (2008) quienes tomaron muestras de agua previamente tratada donde obtuvieron valores solo con alguna similitud con los encontrados al inicio del canal de riego en esta investigación.

Para el Cu, se presentó concentraciones $<0,035 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo similar en los dos puntos de muestreo y en los tres horarios. Las concentraciones registradas se

encuentran muy por debajo de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ del valor establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, por lo tanto, el contenido de Cu en agua no es considerado como un limitante para ser usada para riego. Neri (2008) reportó una concentración de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo menor a los obtenidos en este estudio; El Cu tiene varios usos, en una de tantas se tiene el sulfato de cobre que es uno de los compuestos utilizados como pesticidas, las sales de cobre poseen efectos fungicidas y algicidas (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016). Su origen se debe a diversas fuentes en el ambiente como mineras, efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, escurrimiento superficial y contaminación del agua subterránea a partir del uso de pesticidas en la agricultura y precipitación atmosférica de fuentes de la industria (CETESB, 2009).

El Zn registró concentraciones $<0,012 \text{ mg.L}^{-1}$ en muestras iniciales y $0,020$ a $0,050 \text{ mg.L}^{-1}$ en muestras finales, con tendencia de ser mayor al final del canal en los tres horarios. Estos resultados se encuentran por debajo del valor de 2 mg.L^{-1} según lo establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, por lo tanto, las concentraciones de Zn encontrados en este estudio no son consideradas como un limitante para hacer uso del agua para riego. Neri (2008) reportó concentraciones de Zn desde $0,05$ a $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo algo similar a los obtenidos en este estudio. Es un elemento esencial en límites aceptables. La existencia de niveles elevados de Zn se debe a efluentes domésticos e industriales, actividades mineras, geológicas, entre otras (IZA, 2010).

El Mn registró concentraciones $<0,030 \text{ mg.L}^{-1}$, esto se repite para los dos puntos de muestreo en los tres horarios. Dichas concentraciones se encuentran por debajo del valor establecido por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM que es $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Neri (2008) reportó concentraciones de Mn desde $0,14$ a $0,51 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo muy elevado a los obtenidos en este estudio, además señala que la variación se deba a factores ambientales como la temperatura y el pH, así como a factores naturales propias del agua, ya que el Mn es usado como catalizador en la industria textil en México. La mayor fuente antropogénica de Mn en el ambiente incluye las descargas de aguas residuales municipales, lodos,

minería, la quema de combustibles fósiles, entre otros (Howe, Malcolm y Dobson, 2004).

El Pb registró concentraciones de $<0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, esto se repite para los dos puntos de muestreo, así como en los tres horarios. Dichas concentraciones se encuentran muy por debajo del valor de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ según lo establecido por DS N° 004-2017-MINAM. Neri (2008) reportó concentraciones de Pb desde $0,02$ a $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo mayor a los obtenidos en este estudio, además Neri indica que debido a que el Pb es muy usado en la industria de acumuladores, textil, elementos de construcción, entre otros, siendo vertidos en el río. El contenido de Pb en agua en efecto puede llegar a ser peligroso a largo plazo debido a su capacidad de trascolarse del agua a los suelos y plantas e incorporarlos a la cadena trófica (Carrillo et al., 1992, Méndez et al., 2000, citado por Neri, 2008).

El Cd presentó concentraciones $<0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, similares en los dos puntos de muestreo y en los tres horarios. Las concentraciones registradas se encuentran muy por debajo del valor establecido por el DS N° 004-2017-MINAM que es $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. Neri (2008) reportó concentraciones de Cd de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$, siendo similar a los obtenidos en esta investigación. Debido a que el Cd es muy parecido al Zn, las plantas absorben el Cd del agua de riego. La diseminación de fertilizantes de fosfato y lodos residuales por vertidos, aumentan el nivel de Cd en el suelo (Baird, 2001).

Y el Cr registró concentraciones $<0,050 \text{ mg.L}^{-1}$, similares en los dos puntos de muestreo y en los horarios reportados (8:00, 13:00 y 18:00 horas). Dichas concentraciones se encuentran en niveles normales de acuerdo con el DS N° 004-2017-MINAM que es $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$.

En otro estudio realizado por Méndez et al. (2003) obtuvieron para el Fe valores desde $0,018$ a $1,815 \text{ mg.L}^{-1}$, el Cu entre $0,020$ a $0,670 \text{ mg.L}^{-1}$, el Zn desde $0,006$ a $0,310 \text{ mg.L}^{-1}$, el Mn desde $0,005$ a $0,525 \text{ mg.L}^{-1}$, el Pb desde $0,012$ a $1,503 \text{ mg.L}^{-1}$, Cd valores desde $0,001$ a $0,103 \text{ mg.L}^{-1}$ y Cr con valores entre $0,018$ a $4,650 \text{ mg.L}^{-1}$. En esta investigación las concentraciones de los metales como Fe,

Cu, Zn, Mn, Pb, Cd, Cr fueron similares en algunos resultados y en otros reportaron niveles más bajos o elevados.

3.2.4. Análisis microbiológico del agua

En forma general la presencia más elevada de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* se registraron en los dos puntos de muestreo con concentraciones que varían entre 92×10 a $>16 \times 10^2$ NMP.100ml⁻¹ en las muestras iniciales y $>16 \times 10^2$ NMP.100ml⁻¹ en las muestras finales, con tendencia de ser mayor en los tres horarios al final del canal, sin embargo, se registró igual concentración en horas de la mañana (8:00) para los dos puntos de muestreo, tal como se aprecia en la Tabla 22. Por lo tanto, sobrepasan considerablemente los niveles establecidos para coliformes totales y fecales de 1000 NMP.100ml⁻¹ y para *Escherichia coli* de 100 NMP.100ml⁻¹ según el DS N° 015-2015-MINAM, sin embargo, la actual norma DS N° 004-2017-MINAM establece que el valor aceptable para *Escherichia coli* sea 1000 NMP.100ml⁻¹, entre la nueva normativa de ECAs existe una gran diferencia del valor establecido para *Escherichia coli*. Los valores elevados probablemente sean ocasionados por las descargas domésticas que recibe el canal de regadío.

En un estudio de Méndez et al. (2006) obtuvieron también una alta carga microbiana con respecto a los coliformes totales y fecales, determinando que las aguas que contienen gran carga microbiana se deben usar para irrigar cultivos que no sean consumidos directamente. Existen normas internacionales de salud que recomiendan que el agua residual para riego de hortalizas debe tener coliformes fecales $<10^3$.100 ml de agua (Blumenthal, Mara, Peasey, Ruiz y Stott, 2000; Rivera et al., 2009).

Se obtuvieron valores similares con los obtenidos por Neri (2008), mientras que Hernández et al. (2014) obtuvo una excesiva carga de coliformes fecales, en otro estudio de Zamora et al. (2008) se concluye que, si bien los tratamientos previos son lo más adecuados para disminuir la carga microbiana, no las eliminan por completo y tampoco nos asegura si son efectivos con la eliminación de parásitos.

En el Perú es deficiente el control sanitario de aguas y alimentos debido a que no se ha adquirido conciencia de la magnitud del problema (falta de normatividad acorde), escasa articulación entre la investigación, necesidades y demandas de la producción agrícola y pecuaria, sumándose las limitaciones económicas y políticas existentes (Rivera & Rodríguez, 2012).

Israel es uno de los países que produce todo tipo de cultivos irrigados con aguas residuales tratadas, el 80 por ciento de los efluentes de este país son reutilizadas exclusivamente para la irrigación. El Perú debe planificar y apostar con mayor énfasis, la investigación y el desarrollo a largo plazo de la integración de las aguas servidas a los recursos hídricos del país, ya que es uno de los países amenazados por la escasez de agua en el futuro (Quipuzco, 2004).

3.2.5. Análisis químico de los suelos

Según el IV Censo Nacional Agropecuario solo para la ciudad de Chancay realizado por el INEI (2012), determinaron que la mayoría de las unidades agropecuarias se encuentran contaminadas, obteniendo que del total de unidades se presentaron 982 que son contaminadas con desagües industriales o domésticos, 427 contaminadas con relaves mineros, 509 contaminadas por otras sustancias y 222 no presentaron contaminación.

La degradación del suelo es consecuencia de diversos factores entre ellas las actividades humanas, debido al crecimiento demográfico, excesivo uso de los recursos naturales. Estas actividades causan el incremento de las aguas servidas con un alto contenido de sales, provocando efectos como la salinización, destrucción de la estructura del suelo y afectando la productividad de los cultivos con la generación de pérdidas económicas, además de la acumulación de metales pesados afectando la flora y fauna. La pérdida de la calidad del suelo viene causando impactos negativos en la salud humana y animales, generando la migración de los agricultores.

La conductividad eléctrica de los suelos varía entre 0,35 a 0,93 dS.m⁻¹, obteniéndose el valor más elevado en la muestra 1 y 5, tal como se aprecia en la Tabla 23. Estos valores de acuerdo con lo determinado por el Laboratorio de la UNALM (2017), clasifica estos suelos como muy ligeramente salinos ya que se encuentran por debajo del nivel establecido de < 2 dS.m⁻¹, la respuesta podría atribuirse a la alta C.E. del agua del canal registrado. Es probable que los niveles de salinidad sean más altos en otros sitios de la zona donde no existe un buen y apropiado drenaje. Según un estudio de Méndez et al. (2003) registraron 4,5 dS.m⁻¹ siendo muy elevado a los reportados en este estudio. Los cultivos agrícolas pueden verse afectados por la salinidad, debido a que afecta al desarrollo radicular disminuyendo el crecimiento de estos, en otros términos, afectando su rendimiento. Asimismo, afecta a la germinación de las semillas, retrasando el crecimiento y presencia de distintas decoloraciones en las hojas (verde – azulada/verde intenso/áreas necróticas), también se puede generar clorosis en el follaje asociado a las sales y al alto contenido de bicarbonatos en el agua de riego (Coeto, 2017).

El pH es variable, registrándose valores que oscilan entre 8,07 a 8,83. Estos resultados son clasificados como moderadamente a fuertemente alcalino en un rango de 7,9 a 9,0 (Soil Survey Division Sstaff, 1993, citado por Jaramillo, 2002), como consecuencia es visible en la zona la deficiencia de zinc y hierro en las hojas de los cultivos. Los suelos alcalinos presentan una gran cantidad significativa de Na⁺. Según Rawson y Gómez (2001) este resultado implica síntomas evidentes de deficiencias de zinc en las hojas más viejas de los cultivos, o de Cu o Fe en las hojas jóvenes y la deficiencia de B en las plantas, estos síntomas son indicadores específicos de suelos alcalinos. Según un estudio de Méndez et al (2003) registraron 7,7 de pH estando muy por debajo de los encontrados en este estudio. Se obtuvieron valores similares con respecto a los estudios de Méndez et al. (2006) y Sarabia et al. (2011) quienes determinaron que los suelos que analizaron tienden o son alcalinos. Quiroga y Bono (2012) mencionan que el pH indica si el suelo es ácido, neutro o alcalino e incluso este afecta de modo significativo la disponibilidad y la asimilación de nutrientes además estima la toxicidad de otros elementos. Mientras que el MINAGRI

(2011) menciona que la mayoría de los cultivos se desarrollan adecuadamente en un suelo con pH entre 5,0 a 7,5, al estar disponibles muchos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se considera que los valores de pH del suelo no son aparentes para algunos cultivos, como por ejemplo la fresa, lechuga, tomate, frijol, entre otros.

El contenido de materia orgánica en los suelos varió de 1,37 a 1,89 por ciento, según MINAGRI (2009) estos resultados se clasifican como niveles bajos de materia orgánica por estar muy por debajo de 2 por ciento. En todos los sitios se observaron contenidos de materia orgánica muy pobres, sin embargo, en la muestra 3 (cultivo fresa) fue el que tuvo el contenido más pobre, probablemente sea por el cambio de cultivos que se han adoptado en la zona, además esto se contrasta con los valores elevados de pH encontrados en los suelos. Este parámetro es un factor fundamental en los suelos sanos, de tal manera que se necesite dosis altas de materia orgánica para garantizar la calidad y cantidad de las cosechas. Según otros estudios como Méndez et al. (2003), Méndez et al. (2006) y Navarro y Nieto (2010) registraron valores muy elevados a los reportados en este estudio. Mientras que Zamora et al. (2008) registró un nivel más bajo. Según Garrido (1993) la materia orgánica favorece la microestructura del suelo y es un elemento fundamental que previene la erosión de los suelos y favorece el desarrollo de la microfauna edáfica.

El contenido de P en los suelos estudiados varió entre 42,77 a 57,43 mg.kg⁻¹, estos resultados según MINAGRI (2009) se encuentran clasificados en concentraciones altas de contenido de P, es decir, presentan valores mayores a 14 mg.kg⁻¹. Dichos niveles pueden deberse a las aguas servidas y al uso de agroquímicos que son mayormente organofosforados, de ahí el alto nivel de contenido de fósforo en los suelos. En estudios de Neri (2008) y Sarabia et al. (2011) obtuvieron valores similares a los obtenidos en esta investigación, mientras que Navarro y Nieto (2010) y Méndez et al. (2006) obtuvieron valores más elevados. Según Quiroga y Bono (2012) este elemento es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, Fernández (2007) menciona que debido a que el P disponible en el suelo

es insuficiente para los vegetales se utilizan fertilizantes fosforados. Niveles excesivos de P que se filtran en los ríos y océanos causan un crecimiento descomunal de algas, las cuales quitan el oxígeno del agua mientras se descomponen. Para que el P llegue a los cuerpos de agua debe estar soluble, adoptando las formas atómicas de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} .

El contenido de K en los suelos varió de 121,00 a 175,20 mg.kg^{-1} , estos suelos están clasificados en concentraciones medias de K, ya que se encuentran dentro del rango establecido de 100 a 240 mg.kg^{-1} (MINAGRI, 2009). Estos valores son muy bajos comparados con los obtenidos por Neri (2008) y Sarabia et al. (2011).

El contenido de CaCO_3 oscila entre 2,20 a 3,26 por ciento, estos resultados se clasifican en concentraciones moderadamente calcáreas con valores entre 2 a 5 por ciento (Calla, 2012), demostrando que los suelos regados con aguas residuales del canal están acumulando CaCO_3 en su estructura y pueden presentar un problema de salinidad, si estas concentraciones se incrementarán con el tiempo, este resultado concuerda con Méndez et al. (2003). La FAO (2018) indica que los suelos calcáreas suelen ser pobres en el contenido de materia orgánica y nitrógeno. Andrades y Martínez (2014) y Palacios et al. (2010) reportan que cuando falta el CaCO_3 en el suelo normalmente el suelo es ácido, aunque también puede darse su falta en tierras básicas. En este último caso se tiene que aportar sulfato cálcico o yeso, de manera que se aumenta los niveles de Ca sin elevar el pH. Así mismo, los suelos ricos en CO_3^{2-} y con pH próximo a 8 suelen contener mucho CaCO_3 , mientras que los suelos con altos contenidos en CO_3^{2-} y con pH superior a 8,5 el carbonato predominante suele ser el sódico. La presencia de carbonatos en el suelo afecta significativamente al desarrollo de las plantas, debido a que cuando está en altos niveles fija al P, especialmente, limitando su absorción. Al contrario, cuando hay escasez propicia la adsorción de muchos elementos menores debido al pH bajo de los suelos. En este caso el Al, Fe y Mn quedan abundantes y se vuelven tóxicos, afectando el normal desarrollo de las raíces, produciendo un menor rendimiento de los cultivos.

3.2.6. Análisis de metales pesados en suelos

En la Tabla 24 se puede observar la distribución de los metales pesados, a continuación, se presenta el orden decreciente de los metales encontrados: Fe>Mn>Zn>Cr>Cu>Pb>Cd.

El contenido de Fe en suelos varió entre 17,24 a 53,80 mg.kg⁻¹, la concentración de Fe es muy baja en esta investigación. Estos valores fueron muy bajos en comparación con lo reportado por Méndez et al. (2003) y Sarabia et al. (2011), mientras que Neri (2008) registró valores desde 5,23 a 9,41 mg.kg⁻¹, estando muy por debajo de los encontrados en este estudio, lo mismo sucedió con Navarro y Nieto (2010). El aumento del pH del suelo tiene relación a la deficiencia de Mn, Fe, Zn, Cu y B (Pilatti & Buyatti, 1997). En un rango de pH alcalino, los niveles de Fe se ven reducidos, por lo tanto, los suelos neutros y calcáreos presentan deficiencia de Fe inorgánico soluble, a la vez la baja concentración de Fe puede no cumplir con los requisitos óptimos de la planta, afectando varios procesos fisiológicos, retrasando el crecimiento y el rendimiento de la planta. El síntoma más común de la deficiencia de Fe es la clorosis intervenal de las hojas jóvenes (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El contenido de Cu en los suelos estudiados varió entre 2,53 a 4,29 mg.kg⁻¹, estando muy por debajo de lo reportado por Méndez et al. (2003), a diferencia de Neri (2008) que registró contenidos desde 0,75 a 1,11 mg.kg⁻¹. Se encuentra en concentraciones normales y no tóxicas según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). El incremento de la concentración de Cu es debido a varias fuentes antrópicas, causando toxicidad en los cultivos. Por otro lado, diversos factores edáficos podrían determinar la biodisponibilidad del Cu y la intensidad del efecto fitotóxico, tales como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo (Ginocchio & Narváez, 2002). Las actividades antropogénicas, así como diversos factores edáficos podrían determinar la biodisponibilidad del Cu, por lo tanto, la intensidad del efecto fitotóxico (Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Ginocchio & Narváez, 2002; León & Sepúlveda, 2012). En la biota edáfica y en las plantas, se pueden dar cambios morfológicos en su bioquímica, actividades

enzimáticas y reproducción (Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Cervantes et al., 1988, citado por Castro, 2013). Los síntomas de toxicidad más comunes son la clorosis inducida por Cu y la malformación de la raíz (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El contenido de Zn registró concentraciones que varían de 5,97 a 13,35 mg.kg⁻¹, estos valores estuvieron muy por debajo de lo reportado por Méndez et al. (2003), a diferencia de Neri (2008) quién encontró contenido de Zn entre 1,69 a 2,77 mg.kg⁻¹, estando por debajo de los encontrados en este estudio. Se encuentra en concentraciones normales y no tóxico según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). Los suelos con pH bajo favorecen la movilidad del Zn, siendo peligroso en suelos agrícolas tratados con fertilizantes, aguas o lodos residuales, pesticidas, entre otros. Puede ser tóxico para las plantas y como consecuencia la aparición de hojas cloróticas e inhibición del crecimiento radicular (Woolhouse, 1983, citado por Sagardoy, 2011). En suelos alcalinos tiene una movilidad limitada debido a que el CaCO₃ reacciona con el Zn, lo que reduce su disponibilidad (Fassbender & Bornemisza, 1987, citado por Gil, Marroquín y Martínez, 2012). La solubilidad y la disponibilidad de Zn se correlacionan negativamente con la saturación de Ca y los compuestos de P en los suelos (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Se pueden mejorar los suelos contaminados con Zn adicionando cal o más M.O. Los complejos orgánicos de Zn provenientes de los lodos de aguas residuales municipales son muy móviles en los suelos, siendo fácilmente disponibles para las plantas. Si los suelos son calcáreos, tienen un pH > 7 y poseen baja concentración de M.O., son signos de deficiencia de Zn en los suelos, tal como reporta Kabata-Pendias & Pendias (2001), en esta investigación no es la excepción ya que presenta las mismas características.

El contenido de Mn registró concentraciones que varían entre 10,31 a 19,02 mg.kg⁻¹, estos valores estuvieron muy por debajo de lo encontrado por Méndez et al. (2003), a diferencia de Navarro y Nieto (2010) así como Neri (2008) quién reportó contenidos desde 5,10 a 7,17 mg.kg⁻¹ valores que están muy por debajo a los encontrados. Se encuentra en concentraciones normales y no tóxico según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). El Mn se lava de los suelos ácidos bien

drenados porque la oxidación y la acidez aumentan su solubilidad, luego el Mn disuelto se desplaza hacia posiciones más húmedas y/o más alcalinas, donde precipita en partículas pequeñas, endurecidas y de color oscuro (Thompson & Troeh, 1988).

El Mn puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas; cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Mn son más comunes (Mitchell, 1971, citado por OMS, 1981). Un exceso de Mn puede producir toxicidad y se asocia con varias propiedades del suelo: a) suelos fuertemente ácidos (niveles de pH < 5,5), b) condición anaeróbica y mala aireación (suelos inundados, anegados o compactos), c) suelos fuertemente calizados (niveles elevados de pH hasta aprox. 8) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La concentración de Mn en las plantas muestra una relación negativa con el aumento del pH del suelo y una relación positiva con la M.O. del suelo. Los síntomas de deficiencia de Mn aparecen primero en hojas más jóvenes como clorosis intervenal. En etapas posteriores, aparecen manchas necróticas en las hojas y pardeamiento de las raíces. El crecimiento de las plantas con deficiencias de Mn es retardado, la turgencia se reduce y las hojas afectadas se rompen. La deficiencia de Mn es relativamente común en ciertos cultivos que crecen en suelos neutros y calcáreos. La toxicidad de Mn ocurre a niveles de pH más altos en suelos mal drenados (mal aireados) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El contenido de Pb registró concentraciones menores de $0,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ similar en los cinco puntos de muestreo, siendo valores mínimos comparado con lo encontrado por Méndez et al. (2003) y Zamora et al. (2008), mientras que Neri (2008) tuvo como promedio $0,21 \text{ mg.kg}^{-1}$, siendo menor a lo encontrado en este estudio. Se encuentra en concentraciones normales y no tóxico según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). Se encuentra en el suelo principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación Pb^{4+} . No realiza un papel esencial en las plantas, la absorción, en caso de presentarse, es de un modo pasivo, la tasa de absorción se reduce al aumentar el pH y por bajas temperaturas (Bautista, 1999). Las fuentes más frecuentes de contaminación por Pb son el

tráfico, los lodos residuales, la combustión de carbón, la incineración de residuos, entre otros (Sierra, 2005). La solubilidad de Pb puede reducirse mediante el encalado. Un pH alto del suelo puede precipitar Pb como hidróxido, fosfato o carbonato. Los suelos ricos en M.O. son un importante sumidero de Pb (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El Pb en los suelos es peligroso para el hombre y los animales por dos fuentes: la cadena alimenticia y la inhalación de polvo del suelo. Aunque el Pb es un metal ligeramente fitodisponible y, por lo tanto, difícil de fitoextraer, sin embargo, existen plantas como *Thlaspi* sp., Maíz y el girasol que acumulan cantidades mayores de Pb en las raíces (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

La acumulación de Pb en suelos superficiales es de gran importancia ecológica ya que afecta la actividad biológica de los suelos. El Pb es absorbido por los pelos radiculares y se almacena en las paredes celulares, también es absorbido fácilmente por las plantas a través del follaje (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El contenido de Cd registró concentraciones menores de $0,012 \text{ mg.kg}^{-1}$ similar en los cinco puntos de muestreo, este valor estuvo muy por debajo de lo encontrado por Méndez et al. (2003), Zamora et al. (2008), al igual que lo reportado ($0,62$ a $0,78 \text{ mg.kg}^{-1}$) por Neri (2008). Se encuentra en concentraciones normales y no tóxico según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). Es un metal que tiende a acumularse en la superficie del suelo debido a las actividades antropogénicas que han incrementado los niveles de este metal en suelos agrícolas generando preocupación debido a su movilidad y lixiviación en el perfil del suelo y la facilidad con que es absorbido por las plantas (Sierra, 2005; Sánchez, Subero y Rivero, 2011). El Cd es fácilmente adsorbido por la M.O. del suelo llegando a ser peligroso. Los suelos que son ácidos aumentan la disponibilidad de Cd para las plantas ocasionando un daño potencial para los animales que dependen de ellas para sobrevivir debido a que puede acumularse en sus cuerpos, por ejemplo, las vacas pueden tener grandes cantidades de Cd en sus riñones (Neri, 2008). La combinación que existe entre la alta biodisponibilidad de Cd en el suelo y la alta toxicidad que tiene para humanos y

animales, han hecho del Cd un metal que provoca una gran preocupación, considerando los valores de aguas contaminadas con sustancia fecal y orina (aguas negras) que son aplicadas en algunas zonas agrícolas (McBride, 1994, citado por Rangel, 2009).

La adsorción de Cd en las partículas del suelo es mayor en suelos neutros o alcalinos que en ácidos y esto conduce a un aumento de los niveles de Cd en la solución del suelo. Como consecuencia, la absorción de Cd por las plantas disminuye a medida que aumenta el pH del suelo (Alloway et al., 1988; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Se ha observado que la aplicación repetida de los lodos de aguas residuales a los suelos puede alterar la disponibilidad de Cd (acumulación) (OMS, 1992; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Los fertilizantes de fosfato también se conocen como fuentes importantes de Cd, este metal es absorbido de manera efectiva por los sistemas de las raíces y las hojas, y también se encuentra muy acumulado en los organismos del suelo. El pH y los carbonatos del suelo influyen en la fitodisponibilidad de Cd (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

El contenido de Cr en suelos varió entre 3,95 a 4,36 mg.kg⁻¹, estos valores estuvieron muy por debajo de lo reportado en el estudio por Méndez et al. (2003). Sin embargo, los valores hallados no se encuentran en concentraciones normales y puede ser tóxico, así mismo no es tolerante por las plantas según Kabatas-Pendias y Pendias (2001). El Cr⁺³ tiende a estar asociado con fases sólidas, por lo tanto, puede acumularse y persistir en sedimentos y suelos, mientras que su absorción es limitada por los seres vivos (Pereira, 2013), por otro lado, el Cr⁺⁶ es tóxico y puede ser absorbido por la biota (plantas y animales) siendo de gran preocupación ambiental (Bartlett & James, 1988, citado por Pereira, 2013; Kabata-pendias & pendias, 2001). El Cr⁺⁶ es más tóxico que Cr⁺³, el Cr se encuentra de forma natural y por influencia de la fuente antropogénica en sus diversas actividades (Figueroa, 1985; Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Las sustancias orgánicas añadidas como lodo de aguas residuales al suelo causan un aumento significativo de dos formas de Cr asociadas con óxidos hidratados y unidas a la M.O. El Cr agregado a los suelos generalmente se acumula en la capa superior delgada. La mayor concentración de Cr se encontró en raíces de plantas de la familia Brassicaceae, y la más baja en raíces de *Allium* sp. El contenido de Cr en los brotes es más uniforme en todos los cultivos de hortalizas. Los síntomas de toxicidad es el marchitamiento de las partes superiores y lesión de la raíz; también, la clorosis en las hojas jóvenes, las bandas cloróticas en los cereales y las hojas de color marrón rojizo (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

3.2.7. Análisis microbiológico del suelo

La presencia más elevada de coliformes totales en los cinco puntos de muestreo en suelos registró valores entre 4 a 46×10 NMP.g⁻¹; mientras los coliformes fecales registró valores entre < 3 que nos indica ausencia a 46×10 NMP.g⁻¹ y finalmente con *Escherichia coli* se registró valores de < 3 a 21 NMP.g⁻¹ (Tabla 25), los valores medios reportados se debe a que estos suelos están continuamente irrigados por aguas servidas que son responsables de la gran carga microbiana como se presenta en el análisis de agua. Estos valores fueron inferiores en comparación con Hernández et al. (2014). Hasta la actualidad no se tiene una norma en el Perú para los límites permitidos de variables microbiológicas en los suelos. A la vez existen pocos estudios sobre análisis microbiológico exclusivamente de coliformes a excepción de Cuba que analiza los peloides (NMP.gps⁻¹) e incluso tienen una normativa ya establecida sobre los límites máximos aceptables. Es necesario realizar más estudios como estos en el Perú para conocer la incidencia cíclica del efecto de contaminación microbiológica.

3.2.8. Análisis microbiológico de cultivos agrícolas

Los efectos físicos que produce las aguas servidas sobre las plantas son la deficiente penetración de las raíces, la falta de humedad suficiente y compactación de la capa arable, como consecuencia de la pérdida de la estructura del suelo y la descomposición acelerada de la materia orgánica, factores que causan una reducción severa del espacio poroso del suelo donde se están desarrollando las plantas.

Según la Tabla 26, la presencia de coliformes totales se registró para todas las muestras con valores de 41 NMP.g⁻¹; coliformes fecales con 23 NMP.g⁻¹ y de *Escherichia coli* con 4 NMP.g⁻¹, por lo tanto, la totalidad de las muestras presentaron niveles muy por debajo de 10² según lo establecido por la norma Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA. Sin embargo, en un estudio sobre contaminación fecal en hortalizas por Rivera et al. (2009) obtuvieron como resultado que la totalidad de las muestras presentaron bacterias coliformes >10 NMP.g⁻¹, siendo similar en cebolla, culantro, lechuga y perejil, excepto el rabanito, estos valores son muy altos a los encontrados en esta investigación. A la vez resaltaron que la ausencia de *Escherichia coli* no garantiza la ausencia de patógenos, ya que otros microorganismos, como *L. monocytogenes* y *Salmonella* pueden estar presentes, aún en recuentos de cero para coliformes fecales (Rivera et al., 2009).

En otro estudio determinaron la calidad microbiológica de hortalizas (rábano, lechuga y espinaca) producidas en el suelo tratado con diferentes tipos de abonos fertilizantes, obteniendo que la presencia de estos microorganismos en las hortalizas es debido a la integración de abonos en los suelos cultivados, además el uso de estiércol de bovino y porcino puede aumentar los niveles de contaminación por coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* (Machado et al., 2006). Es importante tener en cuenta que el consumo de verduras crudas (tallo corto), está relacionado con brotes de enfermedades como la tifoidea y el cólera (Rivera & Rodríguez, 2012).

En un estudio de Farromeque, León y Ayala (2010) en las que tomaron muestras de cultivos agrícolas en un mercado, señalaron que una de las principales causas es la contaminación cruzada, donde influyen diversos factores desde la siembra en el campo hasta el traslado al mercado. Mientras que en esta investigación solo se tomaron las muestras directamente del campo agrícola. A la vez se concuerda que el problema inicia desde que se utilizan las aguas del río contaminadas para irrigar los cultivos agrícolas o hasta para el lavado de los productos antes de trasladarlos al mercado.

Muñoz, Vilca, Ramos y Lucas (2013) reportaron niveles de contaminación en el 41,7 y 45,0 por ciento de las muestras de lechuga y espinaca con 11 a 100 NMP.g⁻¹ con coliformes, mientras que en la col el 51,7 por ciento de las muestras tuvieron ausencia de coliformes; algunas muestras estuvieron dentro de lo permitido por el MINSA 100 NMP.g⁻¹ y por el ICSMF que recomienda 10 NMP.g⁻¹, mientras que otras sobrepasaron el límite, estos tuvieron algo de similitud con los encontrados en esta investigación.

Existen varias fuentes de contaminación en los productos en especial el agua, debido a ello es necesario contar con una adecuada calidad microbiológica para evitar el ingreso de patógenos durante la irrigación, en las hortalizas se da la contaminación externa principalmente en las raíces, hojas o cáscara. El riego, las actividades de cosecha, manejo postcosecha y el empacado implica el contacto directo con el uso de agua. Los humanos pueden ser portadores de una diversidad de microorganismo patógenos, y el proceso tiene lugar a partir de sus descargas bucofaríngeas y nasales, la materia fecal, la piel sana, la orina o cualquier herida infectada (ojo, oído y piel), así mismo se destaca las actividades de los trabajadores y la manipulación o contacto directo con los productos (Muñoz et al., 2013).

Los animales también son portadores de microorganismos, algunos son transportadores de estos patógenos en sus partes externas, por infecciones y la expulsión a través del material fecal. Y por último los fertilizantes orgánicos, debido a que estos provienen del abono animal (desechos orgánicos, biosólidos

de humanos y animales) (Fernández, 2012). El consumo de hortalizas frescas es un factor primordial en la transmisión y diseminación de microorganismos patógenos, debido algunos factores que las hacen susceptibles de contaminación, la de mayor relevancia es el uso de aguas residuales en la irrigación (Rivera & Rodríguez, 2012).

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

1. La aplicación continua de aguas servidas en la zona está provocando un deterioro físico y químico en el suelo, así como microbiológico al comprobarse que existe una carga microbiana elevada tanto en agua como en suelo, por lo que es importante dar un énfasis en el comportamiento de estos microorganismos. Además, existe la presencia de carga microbiana en los cultivos estudiado, siendo importante informar a los productores y consumidores de la zona sobre las buenas prácticas agrícolas para obtenerse productos libres de contaminantes, además sobre la limpieza y desinfección de los alimentos post-cosecha.

El uso de aguas servidas provoca daños en los cultivos afectando la absorción de nutrientes, provocando que las plantas no desarrollen adecuadamente y tengan bajos rendimientos en la producción que se refleja en pérdidas económicas.

2. Las aguas de canal de regadío de las Salinas Bajo se clasifican como C3-S1 (R.A.S), de salinidad media con tendencia a la alcalinidad, además son excesivamente duras y con la mayoría de los parámetros evaluados dentro de lo establecido en los ECAs respectivos, a excepción de los CO_3^{2-} y HCO_3^- que tienen un nivel alto, observándose una mayor carga contaminante al final del canal de riego.

Las aguas de riego en su recorrido reciben descargas de aguas servidas que contienen metales pesados en bajas concentraciones que no sobrepasaron los valores de los ECAs, resultando ser aptas o no dañinas para riego de vegetales en la categoría III. Sin embargo, algunos metales como el Pb, Cd, Cr y Cu, pueden representar un riesgo a largo plazo, debido a que tienen la capacidad de acumularse en los suelos agrícolas.

3. La presencia de contaminantes microbiológicos como coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* en el agua analizada, excedieron considerablemente los valores máximos permitidos por los ECAs, representando un riesgo para la salud de los usuarios que tienen contacto directo con estas aguas, y también para quienes consumen hortalizas que se producen bajo este régimen. Sin embargo, en los cultivos agrícolas de la lechuga, la fresa y la betarraga, la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* en la totalidad de las muestras, presentaron niveles muy por debajo según lo establecido por el MINSA.

Estos niveles no eximen de un riesgo de que estos agentes microbiológicos pueden ser causa de la propagación de algunas enfermedades entéricas como el cólera, amebiasis, hepatitis, fiebre tifoidea, shigelosis, entre otros.

4. Los suelos son salinos, moderadamente a fuertemente básico, bajos de materia orgánica, alto en P y medio en K, respectivamente, y con alto contenido de CaCO_3 . La concentración de metales pesados fue variable, pero se debe resaltar que en el país aún no se cuenta con una norma específica sobre los valores aceptables en la actividad agrícola; sin embargo, se debe tomar en cuenta ya que algunos de ellos son bioacumuladores con el tiempo. La presencia de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* fueron encontrados en niveles medios.
5. El contenido de cromo en los suelos resultó ser moderadamente tóxico y no tolerante para las plantas. Esto puede provocar daños al medio ambiente y a la salud de las personas con el tiempo. La presencia se debe a la influencia de las actividades antropogénicas, resaltando el uso de aguas servidas que, posiblemente, están causando un aumento significativo de las dos formas de cromo. El cromo puede ser el causante del marchitamiento de la parte aérea y de las lesiones de la raíz; así como, la clorosis en las hojas de las plantas cultivadas.
6. Las aguas servidas a pesar de sus características negativas y de riesgos, deben verse como un recurso que debe ser usado teniendo en cuenta las normas para proteger al medio ambiente y la salud de las personas. En esta investigación se resalta la importancia de realizar estudios físico-químicos, contenido de metales pesados y microbiológicos para

comprender los principales riesgos que se producen al usar aguas contaminadas. Debe tomarse en cuenta el aspecto negativo del uso de estas aguas para la planificación de nuevas normas legales para el control de la contaminación y que muestren coherencia, diseños de tratamientos de agua, entre otros.

CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

1. La realización de un estudio más completo en la zona, considerándose el estudio de parásitos, otras enfermedades transmitidas por bacterias, y el uso de bioindicadores ambientales que permitan obtener información más completa del medio y sobre todo del efecto-impacto del uso de las aguas servidas aplicadas en épocas secas y de abundancia del agua.
2. Se sugiere la implementación de sistemas de tratamiento de aguas servidas, para que estas aguas previamente tratadas sean utilizadas en la producción agrícola, cultivo de forrajes, riego de jardines y parques de la zona; o ser vertidas a cuerpos de agua (canal de irrigación, humedal o al mar), recomendándose que las autoridades locales y regionales tomen cartas en el asunto.
3. Los cultivos a sembrarse en la zona de las Salinas Bajo deben ser tolerantes a la salinidad y a la alcalinidad debido a que tanto el agua como los suelos tienen niveles altos de sales y de carbonatos. Asimismo se debe mejorar el drenaje de los suelos y hacer enmiendas para corregir el pH que tiene rangos altos. También se debe preferir cultivos de raíces profundas tales como leguminosas, maíz, yuca, entre otros, con un plan exigente de rotación de cultivos.
4. Se recomienda solicitar ante las autoridades del ANA la instalación de una estación de monitoreo de las aguas que están siendo utilizadas en la zona de estudio, para que en las futuras investigaciones se puedan identificar las fuentes puntuales de contaminación y se pueda generar una rotación de cultivos planificada con los agricultores de la zona, para evitar la propagación de enfermedades que afecten la salud de la población. En esta tarea deben participar las universidades, los INIAs y las ONGs con la participación de agricultores y población.

5. Se hace necesaria la creación de un reglamento donde se establezca los límites hasta dónde es posible hacer uso de las aguas servidas y señalando claramente los parámetros microbiológicos permisibles para su uso en suelos de uso agrícola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, F. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=uWlrkIx-r3oC&dq=potencial+de+hidrogeno+en+el+agua&source=gbs_navlinks_s
- Acosta, R. S. (2008). *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos*. Argentina: Brujas. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=g7YIShB-SXsC&printsec=frontcover&dq=Saneamiento&hl=qu&sa=X&ved=0ahUKEwiy_-2UjvfdAhULyVMKHZl4AwcQ6AEIzAA#v=onepage&q=Saneamiento&f=false
- Albert, L. (1997). Introducción a la toxicología ambiental. *Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (ECO)*, 227-246. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a14.pdf>
- Andrades, M., & Martínez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. *Servicio de Publicaciones de la Universidad de la Rioja* (3), 29. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Andrés, D. M. (2016). *Ciencias aplicadas a la actividad profesional - 4º ESO*. Madrid, España: Editex. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=yA7-CwAAQBAJ&dq=Ciencias+aplicadas+a+la+actividad+profesional+4%C2%BA+E SO&source=gbs_navlinks_s
- Angiolani, A. (1960). *Introducción a la química industrial: Fundamentos Químicos y Tecnológicos*. Santiago, Chile: Andrés Bello. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=7QPvXIWH0XUC&source=gbs_navlinks_s
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España: Díaz de Santos, S. A.
- Arana, E. (2004). Utilización de aguas residuales tratadas como alternativa de riego de parques y jardines en el distrito de Jesús Maria. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*, 127. Recuperado de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/handle/10757/561334>
- Arellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería ambiental* (primera ed.). México: Alfaomega. Asociación Regional de Exportadores de Lambayeque [AREX]. (de 2012). *Perfil comercial de la Beterraga*. Recuperado de Sierra Exportadora: http://www.sierraexportadora.gob.pe/perfil_comercial/PERFIL%20COMERCIAL%20BETERRAGA.pdf
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2012a). *Diagnóstico de la calidad de aguas en la cuenca Chancay-Huaral. Documento de Percepción de los Grupos Técnicos de Trabajo*. Huaral. Recuperado de http://www.ana.gob.pe:8094/media/16064/01.03%202807-inf-diagnostico-percepcion-chancay-huaral_ap2-ed2.pdf

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2012b). *Informe técnico del tercer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Chancay - Huaral*. Huaral, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2013). *Informe técnico de monitoreo de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Chancay - Huaral*. Huaral.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016a). *Estrategia nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos*. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima, Perú. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recurso_hidricos_superficiales.pdf
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016b). *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. Lima: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016c). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA)*. Lima, Perú: MINAGRI, ANA.
- Ávila, P. (2003). *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional*. Michoacán, México: El Colegio de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente, SEMARNAT/Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=kwzNB6LLLMC&printsec=frontcover&dq=Agua,+medio+ambiente&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiyv5HlyurdAhVR11MKHStpBpcQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Agua%2C%20medio%20ambiente&f=false>
- Baird, C. (2001). *Química ambiental*. Barcelona, España: Reverté. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=bgUaHUqGPYIC&dq=cadmio+en+el+agua&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Barber, S. (1995). *Soil nutrient bioavailability: A Mechanistic Approach* (segunda ed.). New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=UKXj6Xpc2PIC&source=gbs_navlinks_s
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados* (Universidad Autónoma de Yucatán ed.). Mérida, Yucatán, México. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=yE2Jq3z7ex4C&dq=plomo+en+el+suelo&source=gbs_navlinks_s
- Beita, W. (2008). Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica.
- Blumenthal, U., Mara, D., Peasey, A., Ruiz, G., & Stott, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for Revising WHO Guidelines . *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1104-1116.

- Bonilla, M., Ayala, A., González, S., Santamaría, J., & Silva, S. (2015). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 "Valsequillo" para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 29.
- Borges, L., Escamilla, A., Soria, M., & Casanova, V. (2005). Potasio en suelos de Yucatán. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 437-445. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311146002.pdf>
- British Columbia. (2007). Sodium in groundwater. *Regional District of Nanaimo*, 2. Recuperado de <http://www.rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID2284atID3807.pdf>
- Cadahía, C. (2005). *Fertirrigación - cultivos hortícolas, frutales y ornamentales* (Tercera ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=wRpfAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Calla, J. (2012). Guía Técnica: Análisis de suelos y fertilización en el cultivo de quinua Orgánica. *UNALM – AGROBANCO*, 23. Recuperado de <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-a-quinua.pdf>
- Campillo, R., & Sadzawka, A. (2015). La acidificación de los suelos, origen y mecanismos involucrados. *Centro Regional de Investigación - INIA*, 44-60. Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf>
- Campos, I. (2000). *Saneamiento ambiental* (Primera ed.). Costa Rica: EUNED, Editorial Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=lsgrGBGlGeMC&source=gbs_navlinks_s
- Capote, T. J., Matute, S. B., & Rojas, J. R. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel"*, 46, 1-8. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/pdf/inhrr/v46n1-2/art03.pdf>
- Carson, R. (1962). *Primavera silenciosa*. Boston, Estados Unidos: Houghton Mifflin Harcourt. Recuperado de https://books.google.com.pe/books/about/Primavera_silenciosa.html?id=kBEkmrhqXAsC&redir_esc=y
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2007). *Soil Sampling and methods of analysis*. Canadá: Taylor & Francis Group. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=ZTJsbXsikagC&pg=PA19&dq=Soil+Sampling&hl=qu&sa=X&ved=0ahUKEWjlpcaevaXeAhXLx1kKHYGZB4AQ6AEIJDAA#v=onepage&q=Soil%20Sampling&f=false>
- Casas, R. (2011). *El Suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. España: Paraninfo. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=h8_qVzIoJ00C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

- Castellón, J., Bernal, R., & Hernández, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Revista Académica Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- Castro, J. (2013). *Capsicum annum* L. como fitorremediador de suelos contaminados por metales pesados. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 68. Recuperado de https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castro_gomez.pdf
- Coeto, J. (2017). La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. *Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura*, 1-5.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB]. (2009). Qualidade das águas interiores no estado de são paulo. significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. *Governo do Estado de São Paulo*, 43.
- Constitución Política del Perú. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú. 29 de diciembre de 1993. pp. 5.
- Contreras, A., & Molero, M. (2011). *Ciencia y tecnología del medioambiente*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=xtvNPP8X6KAC&dq=Ciencia+y+Tecnolog%C3%ADa+del+Medioambiente&source=gbs_navlinks_s
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo de 2010.
- Decreto Supremo N° 006-2017-AG. Modificación del reglamento de la Ley de recursos hídricos. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 22 de junio de 2017.
- Decreto Supremo N° 023-2005-SA. Reglamento de organización y funciones del MINSAs. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 2005.
- Díaz, R., & Escárcega, S. (2009). *Desarrollo sustentable: Una Oportunidad Para la Vida*. México, D.F.: The McGraw-Hill.
- Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA]. (2003). Recuperado de http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/Proy_RM615-2003.pdf
- El Said, D. (2012). Detection of parasites in commonly consumed. *Alexandria Journal of Medicine*, 48(4), 345-352. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090506812000504>
- Farromeque, M., León, B., & Ayala, L. (2011). Coliformes fecales y *E. coli* en fresa, melón, lechuga y rabanito que se expenden en el mercado centenario. Huacho. 2010. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 1(1).
- Fernández, E. (2009). *La calidad de las aguas en función de su uso* (Segunda ed.). Madrid, España: Grafinat. Recuperado de

https://books.google.com.pe/books?id=NxyXBAAAQBAJ&source=gbs_navlinks_s

Fernández, E. (2009). *Los hidrogramas y otros sistemas de representación del quimismo de las aguas* (Segunda ed.). Madrid, España: Grafinat. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=zviWBAAAQBAJ&source=gbs_navlinks_s

Fernández, E. (2012). Riesgos microbianos en la producción de frutas y hortalizas en áreas urbanas y periurbanas. *Universidad Autónoma de Querétaro*, 1-30.

Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, *XLI*(2), 51-57. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114970009>

Figueroa, A. (1985). Curso básico de toxicología ambiental. ECO; tab. . *ECO; Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos*, 231-243. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016750/016750-cromo.pdf>

García, M. (2000). Evaluación sanitaria de plomo en aguas en Cuba. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *38*(3), 179-183. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032000000300004

Garrido, S. (1993). Interpretación de análisis de suelo. (5), 40. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Gil, A., Marroquín, M., & Martínez, L. (2012). Efecto del zinc sobre la inducción de ramas productivas en Gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *6*(2), 152-160. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n2/v6n2a04.pdf>

Ginocchio, R., & Narváez, J. (2002). Importancia de la forma química y de la matriz del sustrato en la toxicidad por cobre en *Noticastrum sericeum* (Less.) Less. ex Phil. *Revista Chilena de Historia Natural*, *75*(3), 603-612. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000300011>

González, M., & Chiroles, S. (2011). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual. *Cubana de Salud Pública*, *37*(1), 61-73. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21417788007>

Gray, A. (2018). *Estos son los mayores riesgos que enfrenta el mundo*. Recuperado de Foro Económico Mundial: <https://www.weforum.org/es/agenda/2018/01/estos-son-los-mayores-riesgos-que-enfrenta-el-mundo>

Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=rfx9YVVVKQnsC&dq=GUROVICH+1985&source=gbs_navlinks_s

Harris, D. (2007). *Análisis químico cuantitativo* (Tercera ed.). Barcelona, España: Reverté. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=H->

_8vZYdL70C&dq=An%C3%A1lisis+Qu%C3%ADmico+Cuantitativo&source=gb_s_navlinks_s

- Hernández, E., Quiñones, E., Cristóbal, D., & Rubiños, J. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo, Hidalgo, México. *Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), 89-100. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62930437008>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Tercera ed.). México D.F.: McGraw-Hill - Interamericana Editores, S.A.
- Howe, P., Malcolm, H., & Dobson, S. (2004). Manganese and its compounds: environmental aspects. *World Health Organization*(63), 63. Recuperado de <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42992/1/9241530634.pdf>
- Ibáñez, J., Hernández, M., Doria, M. d., Fregoso, A., & Mohan, M. (2013). *Química ambiental*. México, D. F.: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <http://www.ebooks7-24.com/?il=390>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2007). *Muestreo y caracterización de un sitio*. México. Recuperado de <https://www.inecc.gob.mx/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012). *IV Censo nacional agropecuario 2012*. Lima, Perú. Recuperado de <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2017). *Perú: Anuario de estadísticas ambientales*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Lima, Perú.
- International Plant Nutrition Institute [IPNI]. (1991). Formas y estados de potasio en el suelo. *informaciones agronómicas de hispanoamérica* (4), 3-6. Recuperado de <http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/issue/IA-LAHP-1991-3>
- International Programme on Chemical Safety [IPCS]. (1981). *Manganese*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc017.htm#SectionNumber:4.2>
- International Zinc Association [IZA]. (2010). Zinc, elemento esencial para el desarrollo sostenible. *Zinc, Essential for Life*, 24. Recuperado de <http://www.galvaunion.com/pdf/zinc-materiau-durable-es.pdf>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jarsun, R. (2008). Manual de uso e interpretación de aguas. *Gobierno de Córdoba, Secretaría de Ambiente*, 44. Recuperado de

<http://www.secretariadeambiente.cba.gov.ar/PDF/MANUAL%20DE%20USO%20E%20INTERPRETACION%20DE%20AGUAS.pdf>

- Jiménez, B. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limusa. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokIC&source=gbs_navlinks_s
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181229302004>
- Leitón, J. (1985). *Riego y drenaje*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=_yuPFwKJ6ywC&dq=Riego&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Ley de Recursos Hídricos N° 26811. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de marzo del 2009.
- Ley General del Ambiente N° 26811. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 03 de octubre de 2005.
- Ley General de Salud N° 26842. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 20 de julio de 1997.
- Ley Orgánica de Gobiernos Regionales N° 27867. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 08 de noviembre del 2002.
- Ley Orgánica de Municipalidades - N° 27972. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 27 de mayo del 2003.
- León, J., & Sepúlveda, G. (2012). El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. *Interciencia*, 37(11), 805-811. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/339/33925550003/>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Risk of heavy metals in human and animal health. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- López, A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, 14. Recuperado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s07.htm>
- López, A. (2016). La alcalinidad del agua y su efecto en los sustratos. *Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura*, 1-3.

- Machado, D.; Maia, C.; Carvalho, I.; Da Silva, F.; Dantas, M.; André, P.; Serafini, A. (2006). Microbiological quality of organic vegetables produced in soil treated with different types of manure and mineral fertilizer. *Brazilian Journal of Microbiology*, 538-544.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P. V., & Clark, D. P. (2009). *Brock. biología de los microorganismos*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverté.
- Manoj, K. S. (2014). *Soil physics: an introduction*. New York: CRC Press. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=UnBAQAAQBAJ&dq=soil+physics+an&source=gbs_navlinks_s
- Marín, A. (2011). Estudio de adsorción de boro con amberlite IRA 743. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 95. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12077>
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Madrid, España: Díaz de Santos. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=k8bIixwJzYUC&source=gbs_navlinks_s
- Martínez, L. (2002). Estudio de contaminación del río la Laja, Jalisco 1996-1998. *Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 107. Recuperado de http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5322/Martinez_Rodriguez_Luis_Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Méndez, F., Gisbert, J., García, J., & Marqués, Á. (2003). Relación estadística entre metales pesados y propiedades de suelos de cultivo regados con aguas residuales no depuradas. *Interciencia*, 28(5), 281-286. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33908007>
- Méndez, M., Ricardo, M., Pérez, J., Hernández, G., & Campos, O. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(3), 17-21. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215304>
- Méndez, P., & Marchán, J. (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las eps del Perú y propuestas de solución. Lima, Perú: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- Ministerio de Agricultura [MINAG]. (2011). Cadena agroproductiva de papa: manejo y fertilidad de suelos. *Dirección General de Competitividad Agraria*, 48. Recuperado de <http://www.ambientalex.info/guias/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- Ministerio de Agricultura [MINAGRI]. (2009). Aprueban reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor - Decreto Supremo N° 017-2009-AG. Lima, Perú: SENACE: Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles.

- Ministerio de Salud [MINSA]. (2008). Aprueban norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano - Resolución Ministerial N° 591-2008-MINSA. Lima, Perú: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2009). *Plan de desarrollo urbano del distrito de Chancay*. Chancay. Recuperado de [file:///C:/X%20CICLO%20AL%20FIN/Tesis%20de%20Grado/TESIS%20ORDEN ADO/fuente+citas/chancay/PDU-CHANCAJ.pdf](file:///C:/X%20CICLO%20AL%20FIN/Tesis%20de%20Grado/TESIS%20ORDEN%20ADO/fuente+citas/chancay/PDU-CHANCAJ.pdf)
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2008). Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua - Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Lima, Perú: El Peruano.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental para agua - Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. Lima, Perú: El Peruano.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2012). *Dirección general de calidad ambiental* . Recuperado de <http://cdam.minam.gob.pe/novedades/glosarioterminosambientales.pdf>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Modifican los estándares nacionales de calidad ambiental para agua - Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Lima, Perú: El Peruano.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2017). *Aprueban estándares de calidad ambiental (eca) para agua y establecen disposiciones complementarias*. Lima, Perú: El Peruano.
- Molina, J., & Eslava, C. (2015). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Recuperado de <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/bacteriologia/escherichia-coli.html>
- Muñoz, S., Vilca, M., Ramos, D., & Lucas, J. (2013). Frecuencia de enterobacterias en verduras frescas de consumo crudo expandidas en cuatro mercados de Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 24(3), 300-306.
- National Environmental Services Center [NESC]. (2010). Retiro del hierro y manganeso. *West Virginia University*, 1-4.
- Navarro, E., & Nieto, R. (2010). Uso de agua residual en la producción de tomate hidropónico en invernadero. 105. Recuperado de <http://www.chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISDCH2010062505123414.pdf>
- Navarro, G. (2003). *Química Agrícola* (Segunda ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=HufLwjgirtwC&source=gbs_navlinks_s

- Neri, E. (2008). Efectos ambientales en la agricultura por el uso de aguas residuales del canal Chilhuacán, Atlixco, Pue. 199. Recuperado de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1196>
- Nikanorov, A., & Brazhnikova, L. (2009). Water chemical composition of rivers, lakes and wetlands. *Types and Properties of Water*, 2, 42-80. Recuperado de <http://www.eolss.net/sample-chapters/c07/e2-03-04-02.pdf>
- Olivas, E., Flores, J., Serrano, M., Soto, E., Iglesias, J., Salazar, E., & Fortis, M. (2011). indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río Bravo . *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449-457. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57322342011.pdf>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta ed.). (R. Vargas, Trad.) Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *El manejo de suelos calcáreos*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-calcareos/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2018). *Informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, Francia: UNESCO.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (1981). *Criterios de salud ambiental 17: manganeso*. Ginebra: Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS). Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc017.htm#SectionNumber:3.1>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (1986). Impacto en la salud de la deposición ácida. *Science of the Total Environment*(52), 157-187. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004896978690118X>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (1992). *Criterios de salud ambiental*. Ginebra: Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS). Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc134.htm>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (1998). *Criterios de salud ambiental 200: Cobre*. Ginebra: Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS). Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc200.htm#SectionNumber:3.1>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2001). *Criterios de salud ambiental 221: Zinc*. Ginebra: Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS). Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc221.htm>

- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Tercera ed., Vol. 1). Génova, Suiza. Recuperado de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2012). *Cinco claves para cultivar frutas y hortalizas más seguras: Promover la salud mediante la disminución de la contaminación microbiana*. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/75960/1/9789243504001_spa.pdf
- Organización Mundial de la Salud [OMS] y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2017). *Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: Informe de actualización de 2017 y línea base de los ODS*. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de Salud [OMS]. (1995). *Criterios de Salud Ambiental 165: Plomo Inorgánico*. Ginebra: Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS). Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm>
- Ortiz, V. B., & A., O. C. (1990). *Edafología* (séptima ed.). Chapingo, México.: Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos.
- Pacheco, J., & Cabrera, A. (2003). Fuentes Principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 7(2), 47-54. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46770204.pdf>
- Palacios, A., Rodríguez, M. D., & Barajas, G. (2010). Tratamiento electrostático (eps) del agua para riego. *SynthesiS*, 3-8. Recuperado de http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2011/06/01/tratamiento_electrostatico_esp_del_agua_para_riego.pdf
- Pancorbo, F. (2011). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación*. Barcelona, España: Marcombo. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ULYPNbQISx0C&source=gbs_navlinks_s
- Pereira, M. (2013). Toxicidad del cromo trivalente sobre el alga verde *dictyosphaerium chlorelloides* y su adaptación a ambientes acuáticos altamente contaminados con este estado de oxidación del metal pesado. *Universidad Complutense de Madrid*, 153. Recuperado de <http://eprints.ucm.es/17865/1/T34128.pdf>
- Pérez, J. (2011). Manual para determinar la calidad del agua para riego agrícola. *Universidad Veracruzana*, 41. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/170506473/josemanuelperezleon-desbloqueado>
- Perú Ecológico. (2012). Recuperado de http://www.peruecologico.com.pe/glosario_c.htm
- Pilatti, R., & M, B. (1997). El agua de riego bicarbonatada y su efecto sobre el cultivo de pimiento. *FAVE*, 28-34.
- Pinzón, H. (2012). *Manual para el cultivo de hortalizas*. (H. Pinzón, Editor) Recuperado de Scribd: <https://www.scribd.com/read/289463364/Manual-para-el-Cultivo-de-Hortalizas-Aspectos-de-caracter-general>

- Pocoy, Y. (2015). Calidad del agua para riego en el centro de investigación y producción agrícola (CIPA), Cañasbamba - 2015. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, 96. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1194/T%20261%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi Prensa.
- Quipuzco, L. (2004). Valoración de las aguas residuales en Israel como un recurso agrícola: Consideraciones a tomar en cuenta para la gestión del agua en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(13), 64-72.
- Quiroga, A., & Bono, A. (2012). Manual de fertilidad y evaluación de suelos. 162. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Ramírez, E. (2004). Evaluación de la contaminación fecal en ríos urbanos mediante la determinación de urobilinas . *Universidad Autónoma de Nuevo León*, 140. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/5076/1/1020146697.PDF>
- Ramírez, K. (2017). Determinación de mesófilos aerobios, coliformes totales y fecales en el cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.), producido en tres municipios del Estado de México. *Universidad Autónoma del Estado de México*, 50. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/65584/KATIA%20ANAHI%20RAMIREZ%20CRUZ.pdf?sequence=3>
- Ramos, L., Vidal, L., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87-98. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028004007>
- Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente - muestreo y análisis* (Primera ed.). (S. d. Plaza y Valdés, Ed.) Mexicali, México: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=b8l-xhcHPEYC&dq=El+agua+en+el+medio+ambiente+%E2%80%93Muestreo+y+an%C3%A1lisis&source=gbs_navlinks_s
- Rangel, M. (2009). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la laguna de Yuriria, Guanajuato y su impacto en la región. *Universidad Autónoma Chapingo*, 91. Recuperado de <http://suelos.chapingo.mx/tesis/tesis/249.pdf>
- Rawson, H., & Gómez, H. (2001). Trigo regado. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 1-93.
- Real Academia Española [RAE]. (1993). *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=KgcUAn5>

- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. (2015). Guía para la toma de muestras de agua residual. *Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (SENASBA), Cooperación Alemana y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*, 40.
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España: Marcombo. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=fQcXUq9WFC8C&dq=Tratamiento+de+Aguas+Industriales:+Aguas+de+Proceso+y+Residuales&source=gbs_navlinks_s
- Rincón, Z. (2009). Riesgo de contaminar el agua del lago de Pátzcuaro con plomo por resuspensión de sedimentos. *Universidad Nacional Autónoma de México*, 76. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2739/rinconvillegas.pdf?sequence=1>
- Rivera, M., & Rodríguez, C. (2012). Patógenos microbianos en hortalizas: una visión del problema y su investigación en Perú. *Universidad Nacional de Cajamarca*, 125-154.
- Rivera, M., Rodríguez, C., & López, J. (2009). Contaminación fecal en hortalizas que se expendan en mercados de la ciudad de Cajamarca, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 45-48. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100009
- Rodríguez, C., & Lozano, S. (2014). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas (UF0001)*. España: Elearning, S.L. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=bFpWDwAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col* (Primera ed.). Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=ZEjgIKZTF2UC&source=gbs_navlinks_s
- Ruiz, S. (2017). La dureza del agua y su importancia en el riego por goteo. *Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura*, 1-5.
- Saénz, R. (1986). *Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud*. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind53/rys/rys.html#intr>
- Sagardoy, R. (2011). Estudio de la homeostasis de Zn y Cd en plantas superiores. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas [CSIC]*, 209. Recuperado de http://www.stressphysiology.com/Sitio_web_Interno_Grupo/PhD_Theses_files/Tesis_Ruth_Sagardoy.pdf
- Sánchez, N., Subero, N., & Rivero, C. (2011). Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos. *Acta Agronómica*, 60(2), 190-197. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/1699/169922373011/>

- Sarabia, I., Cisneros, R., Aceves, J., Durán, H., & Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 103-113. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n2/v27n2a2.pdf>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (Primera ed.). (L. López, Ed.) Medellín, Colombia: Ediciones de la U.
- Sierra, M. (2005). Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincia de Almería. Parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. Granada, España.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732020>
- Tartabull, T., & Betancourt, C. (2016). La Calidad del agua para el riego. Principales Indicadores de Medida y Procesos que la Impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 47-61. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Thompson, L., & Troeh, F. (1988). *Los Suelos y su fertilidad* (Cuarta ed.). Barcelona, España: Reverté. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=AegjDhEIVAQC&dq=manganeso+en+suelo&source=gbs_navlinks_s
- United States Department of Agriculture [USDA]. (2011). Soil quality indicators: Soil electrical conductivity. *Natural Resources Conservation Service*, 2. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelp_rdb1237387
- Van der, W. (2002). Uso de aguas residuales no tratadas en la agricultura: Estrategias para el manejo de los riesgos para la salud. *Instituto Internacional para el Manejo de los Recursos Hídricos (IWMI)*, 9. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep184/vleh/fulltext/acrobat/salud.pdf>
- Vásquez, F. (2010). Evaluación del índice de calidad del agua en el área de influencia del botadero municipal de Tarapoto sector Yacucatina – San Martín – Perú. *Universidad Nacional de San Martín Tarapoto*, 99. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/461/TPEPG-M000062010.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Velázquez, M., Pimentel, J., & Ortega, M. (2011). Estudio de la distribución de boro en fuentes de agua de la cuenca del río Duero, México, Utilizando Análisis Estadístico Multivariado. *Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(1), 19-30. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n1/v27n1a2.pdf>
- Yakabi, K. (2014). Estudio de las propiedades edáficas que determinan la fertilidad del suelo en el sistema de andenería de la comunidad campesina San Pedro de Laraos, Provincia de Huarochirí. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 101.

Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., & Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la Planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*, 20(3), 193-199. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85714153006>

TERMINOLOGÍA

- **Aguas Servidas:** Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tenga que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo (OEFA, 2014).
- **Coliformes fecales:** Grupo bacteriano presentes en los intestinos de los mamíferos y los suelos, que representan una indicación de la contaminación fecal del agua. Son fáciles de identificar y contar en laboratorio por su capacidad de fermentar la lactosa (Perú Ecológico, 2012).
- ***Escherchia coli:*** Es la especie bacteriana más común de la microbiota intestinal se presenta como un comensal del intestino humano pocas horas después del nacimiento pueden producir enfermedades y diarrea (Molina & Eslava, 2015).
- **Contaminación:** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua y suelo), donde puede ocasionar efectos ambientales o sobre la salud (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).
- **Contaminación Ambiental:** Es la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales del mismo, o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público (MINAM, 2012).
- **Oxyaquic Xerofluents:** Son suelos que se encuentran saturados con agua en una o más capas dentro de los 150 cm de la superficie del suelo mineral durante 20 o más días consecutivos o 30 o más días acumulativos en años normales. Algunos de los suelos tienen empobrecimientos redox a una profundidad inferior a 100 cm desde la superficie del suelo mineral. Tienen un nivel freático que es parcial o totalmente el resultado de exceso de agua de riego.

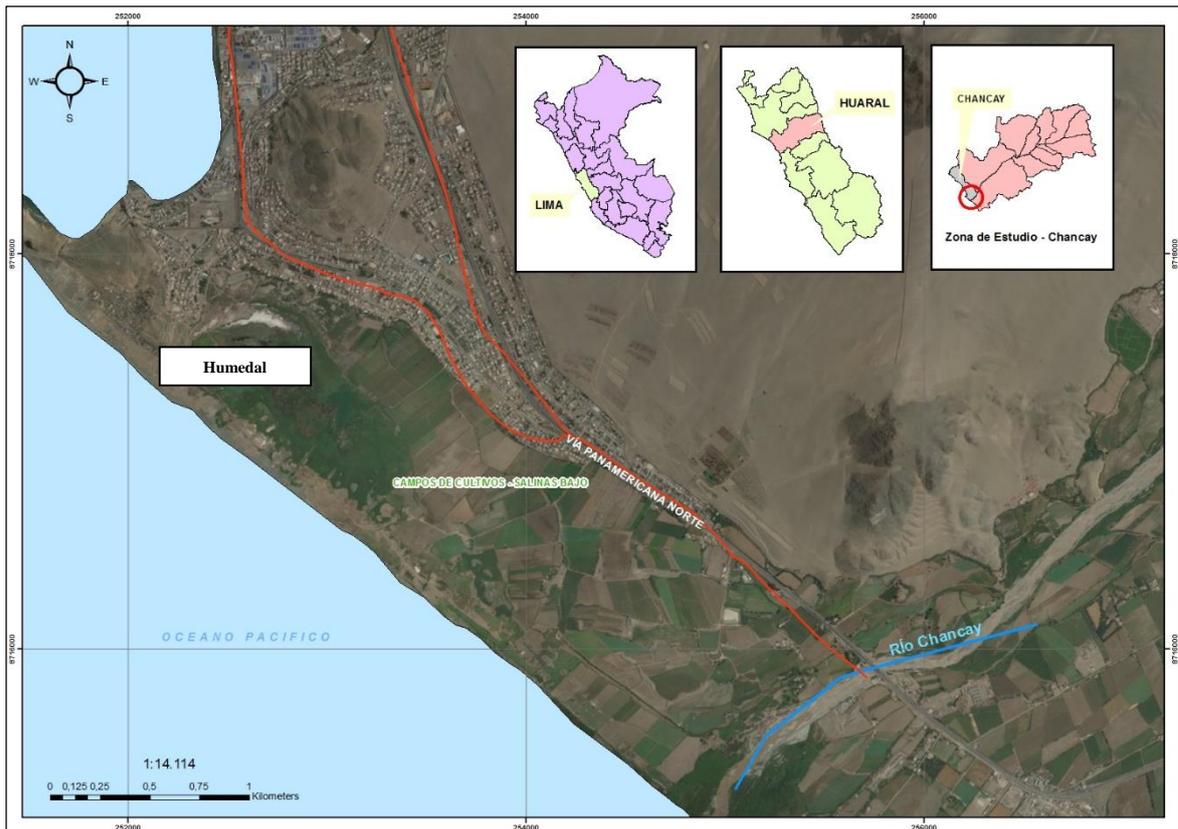
Otros Xerofluents que tienen un horizonte dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral con 15 cm o más de espesor y con 20 por ciento o más de durinoides, o es

quebradizo y tiene una resistencia a la ruptura por humedad (United States Department of Agriculture [USDA], 2006).

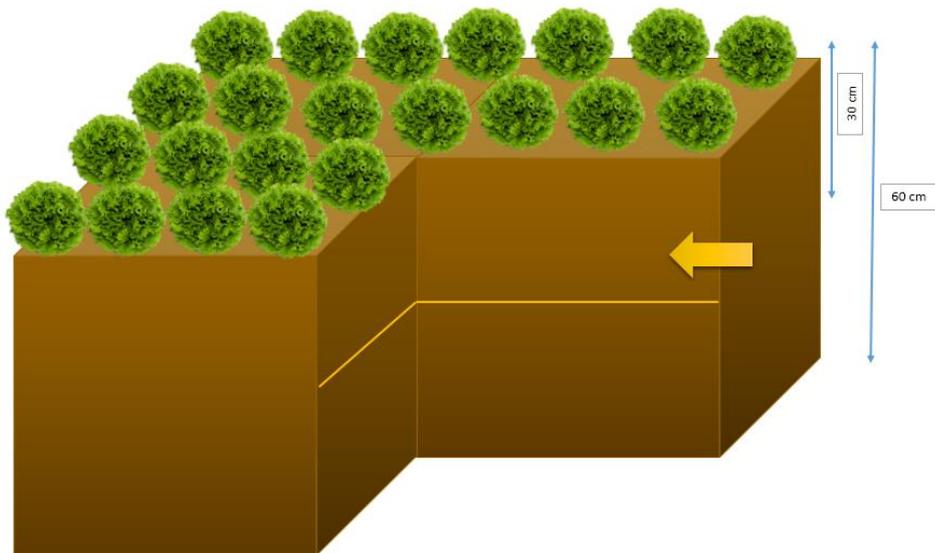
- **Patógenos:** Organismos (virus, bacteria, hongo, protozoo, helminto) capaces de producir enfermedad (RAE, 1993).

APÉNDICES

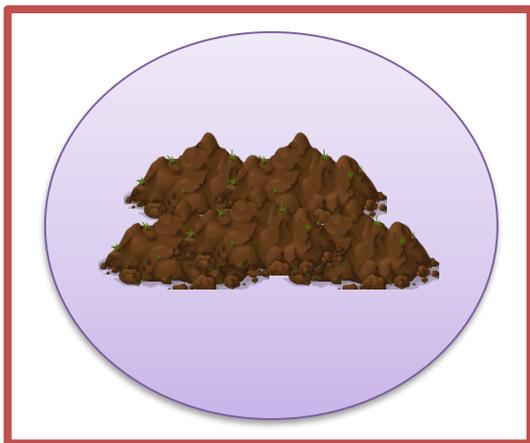
APÉNDICE 1. MAPA SATELITAL DEL ÁREA EN ESTUDIO



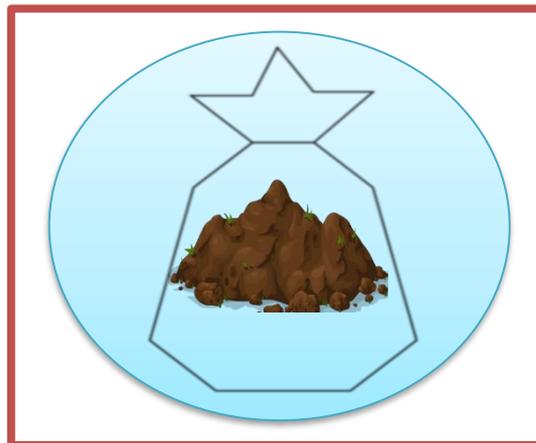
APÉNDICE 2. MÉTODO DE MUESTREO SUELOS



Construcción de calicata (60 cm) para la toma de muestras de suelo (30 cm)

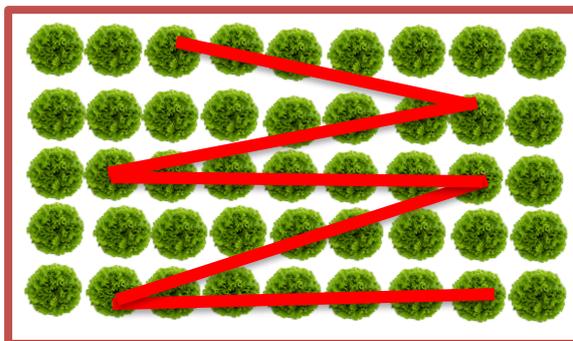
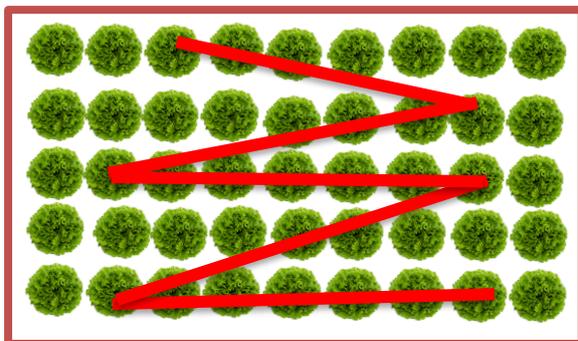


Muestra de suelo mezclada (30 cm)



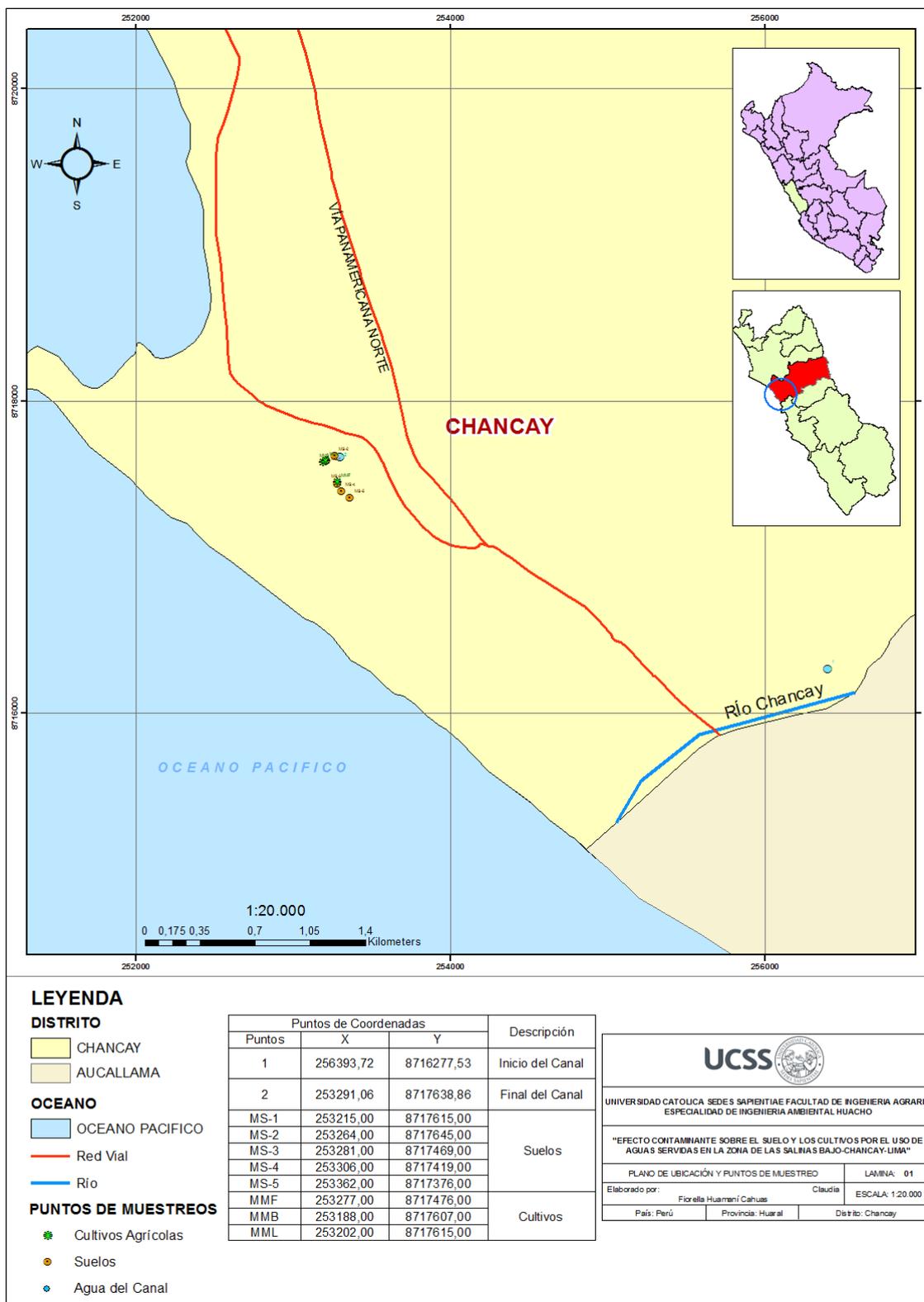
Muestra empaquetada y etiquetada

CULTIVOS

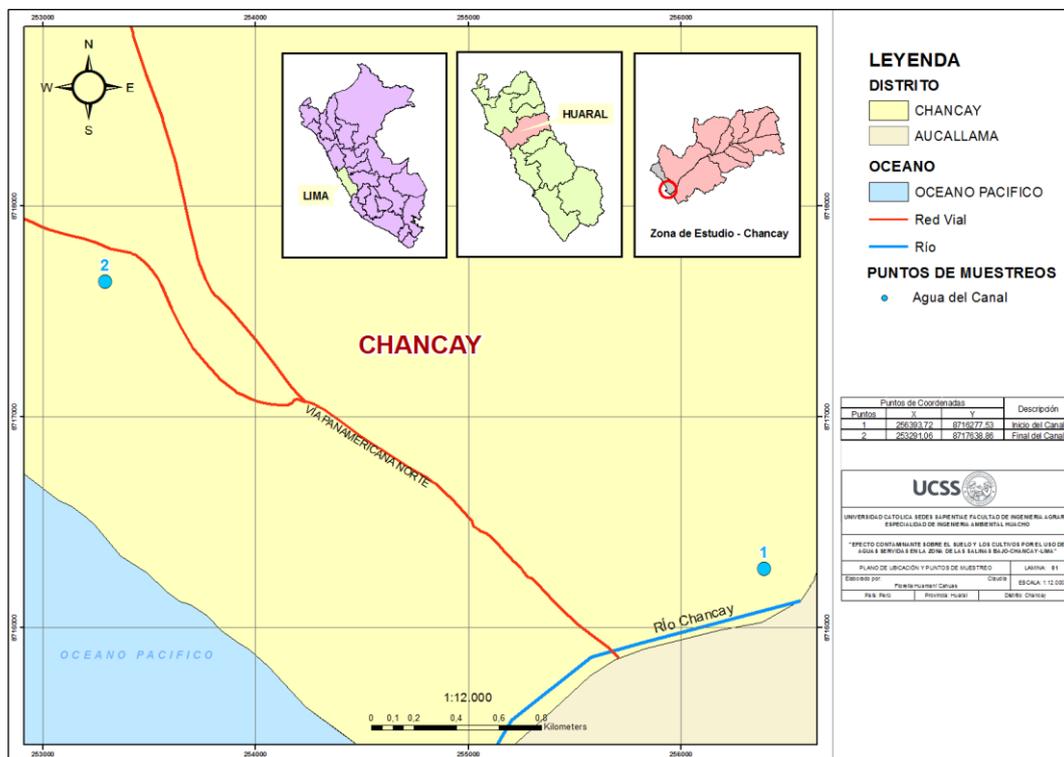


Muestras compuestas de cultivos de lechuga, lo mismo se hizo para la betarraga y las fresas

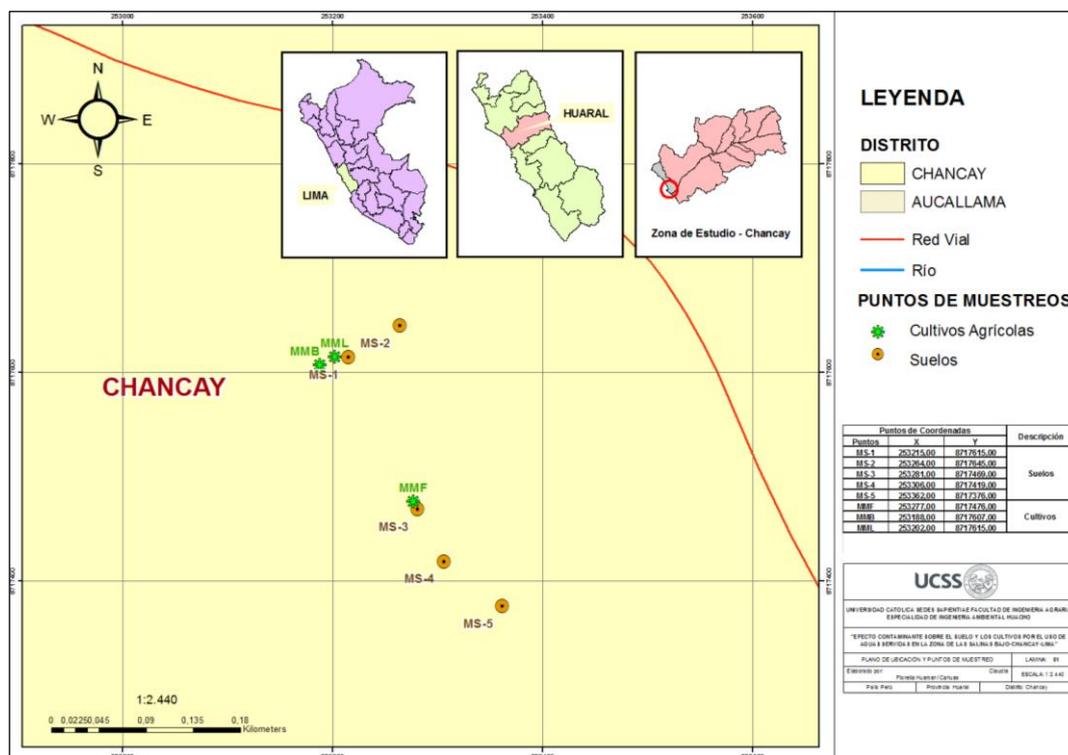
APÉNDICE 3. UBICACIÓN GENERAL DE LA TOMA DE MUESTRAS Y PUNTOS DE COORDENADAS



APÉNDICE 4. UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DEL CANAL



APÉNDICE 5. UBICACIÓN DE TOMA DE MUESTRAS DE SUELO Y CULTIVOS



APÉNDICE 6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007692

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7692	
N° DE CAMPO		MA-FQ- 1i	8:00 am
CE	dS/m	0.95	
pH		8.35	
Calcio	meq/l	7.02	
Magnesio	meq/l	0.02	
Sodio	meq/l	2.37	
Potasio	meq/l	0.06	
SUMA DE CATIONES		9.46	
Cloruro	meq/l	2.27	
Sulfato	meq/l	3.39	
Bicarbonato	meq/l	3.23	
Nitratos	meq/l	0.12	
Carbonatos	meq/l	0.36	
SUMA DE ANIONES		9.37	
SAR		1.26	
CLASIFICACION		C3-S1	
Boro	ppm	0.23	

Dureza total	mgCaCO3/L	351.99
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	161.49
Sólidos suspendidos	mg/L	9.00
Hierro	mg/L	0.11
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	<0.012
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	2.84

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

(Firma)

Ing. Miguel A. Canales Torres
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 007693

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7693
N° DE CAMPO		MA-FQ- 2i 1:00 pm
CE	dS/m	0.89
pH		8.47
Calcio	meq/l	6.10
Magnesio	meq/l	0.14
Sodio	meq/l	2.57
Potasio	meq/l	0.08
SUMA DE CATIONES		8.89
Cloruro	meq/l	2.35
Sulfato	meq/l	3.56
Bicarbonato	meq/l	2.62
Nitratos	meq/l	0.12
Carbonatos	meq/l	0.30
SUMA DE ANIONES		8.95
SAR		1.45
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.16

Dureza total	mgCaCO3/L	312.00
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	131.16
Sólidos suspendidos	mg/L	10.00
Hierro	mg/L	<0.08
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	<0.012
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	2.25

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 007694

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7694
N° DE CAMPO		MA-FQ- 3I 6:00 pm
CE	dS/m	0.90
pH		8.54
Calcio	meq/l	5.95
Magnesio	meq/l	0.03
Sodio	meq/l	2.83
Potasio	meq/l	0.08
SUMA DE CATIONES		8.89
Cloruro	meq/l	2.35
Sulfato	meq/l	3.45
Bicarbonato	meq/l	2.74
Nitratos	meq/l	0.00
Carbonatos	meq/l	0.43
SUMA DE ANIONES		8.96
SAR		1.63
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.21

Dureza total	mgCaCO3/L	299.15
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	136.90
Sólidos suspendidos	mg/L	6.00
Hierro	mg/L	<0.08
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	<0.012
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	2.45

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

[Firma]
Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 007695

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7695
N° DE CAMPO		MA-FQ- 1f 8:00 am
CE	dS/m	1.22
pH		8.33
Calcio	meq/l	8.00
Magnesio	meq/l	0.03
Sodio	meq/l	3.91
Potasio	meq/l	0.41
SUMA DE CATIONES		12.35
Cloruro	meq/l	4.11
Sulfato	meq/l	1.44
Bicarbonato	meq/l	6.39
Nitratos	meq/l	0.01
Carbonatos	meq/l	0.38
SUMA DE ANIONES		12.33
SAR		1.95
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.21
Dureza total	mgCaCO3/L	401.65
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	319.71
Sólidos suspendidos	mg/L	90.00
Hierro	mg/L	0.33
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	0.04
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	89.90

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 007696

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7696
N° DE CAMPO		MA-FQ- 2f 1:00 pm
CE	dS/m	0.96
pH		8.13
Calcio	meq/l	5.50
Magnesio	meq/l	0.03
Sodio	meq/l	3.70
Potasio	meq/l	0.28
SUMA DE CATIONES		9.50
Cloruro	meq/l	1.96
Sulfato	meq/l	2.84
Bicarbonato	meq/l	4.81
Nitratos	meq/l	0.00
Carbonatos	meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES		9.61
SAR		2.22
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.25
Dureza total	mgCaCO3/L	276.24
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	240.60
Sólidos suspendidos	mg/L	38.00
Fierro	mg/L	0.12
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	0.02
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	44.70

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 007697

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : Bach. Claudia Fiorella Huamani Cahuas
PROYECTO : Efecto contaminante sobre el suelo y los cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de Las Salinas Bajo - Chancay- Lima
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay- Las Salinas Bajo
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de enero de 2017

N° LABORATORIO		7697
N° DE CAMPO		MA-FQ- 3f 6:00 pm
CE	dS/m	1.30
pH		8.34
Calcio	meq/l	7.78
Magnesio	meq/l	0.08
Sodio	meq/l	4.78
Potasio	meq/l	0.41
SUMA DE CATIONES		13.04
Cloruro	meq/l	4.50
Sulfato	meq/l	2.04
Bicarbonato	meq/l	6.21
Nitratos	meq/l	0.00
Carbonatos	meq/l	0.33
SUMA DE ANIONES		13.09
SAR		2.41
CLASIFICACION		C3-S1
Boro	ppm	0.37
Dureza total	mgCaCO3/L	392.46
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	310.69
Sólidos suspendidos	mg/L	30.00
Fierro	mg/L	0.15
Cobre	mg/L	<0.035
Zinc	mg/L	0.05
Manganeso	mg/L	<0.03
Plomo	mg/L	<0.001
Cadmio	mg/L	<0.005
Cromo	mg/L	<0.05
Turbidez	NTU	52.50

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO





Nº 11971

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fa@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BACH. CLAUDIA FIORELLA HUAMANI CAHUAS
 PROYECTO : " Efecto contaminante sobre el suelo y cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de las Salinas Bajo-Chancay - Lima"
 PROCEDENCIA : Distrito de Chancay - Las Salinas Bajo
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2017

Número de muestra Lab.	Campo		CE dS / m Relación 1:1	pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
11971	MS-1	9.15m	0.93	8.63	1.60	44.08	173.20	2.55	17.24	2.61	5.97	10.31	<0.3	<0.012	3.95



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 11972

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BACH. CLAUDIA FIORELLA HUAMANI CAHUAS
PROYECTO : " Efecto contaminante sobre el suelo y cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de las Salinas Bajo-Chancay - Lima"
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay - Las Salinas Bajo
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2017

Número de muestra		CE ds / m Relación 1:1	pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Lab.	Campo													
11972	M5-2 9:30am	0.35	8.83	1.56	42.77	156.20	2.29	33.28	2.53	6.75	10.72	<0.3	<0.012	4.13



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Miguel A. Canteles Torres
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº - 11973

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BACH. CLAUDIA FIORELLA HUAMANI CAHUAS
PROYECTO : " Efecto contaminante sobre el suelo y cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de las Salinas Bajo-Chancay - Lima"
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay - Las Salinas Bajo
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2017

Número de muestra		CE ds / m Relación 1:1	pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Lab.	Campo													
11973	MS-3 9:40am	0.71	8.34	1.37	48.78	121.00	3.26	31.49	3.69	7.48	12.72	<0.3	<0.012	4.15



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 11974

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BACH. CLAUDIA FIORELLA HUAMANI CAHUAS
PROYECTO : " Efecto contaminante sobre el suelo y cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de las Salinas Bajo-Chancay - Lima"
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay - Las Salinas Bajo
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Montenegro Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2017

Número de muestra		CE ds / m Relación 1:1	pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
Lab.	Campo													
11974	MS-4 9:50am	0.49	8.40	1.54	54.51	159.60	2.29	32.54	3.00	10.87	16.54	<0.3	<0.012	4.32



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Miguel A. Canales Torres

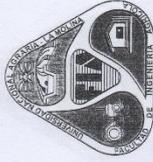
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº - 11975

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : BACH. CLAUDIA FIORELLA HUAMANI CAHUAS
PROYECTO : " Efecto contaminante sobre el suelo y cultivos por el uso de aguas servidas en la zona de las Salinas Bajo-Chancay - Lima"
PROCEDENCIA : Distrito de Chancay - Las Salinas Bajo
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de enero de 2017

Número de muestra Lab.	Número de muestra		CE ds / m Relación 1:1	pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	Pb ppm	Cd ppm	Cr ppm
	Campo	Lab.													
11975	MS-5	10:10am	0.80	8.07	1.89	57.43	175.20	2.20	53.80	4.29	13.95	19.02	<0.3	<0.012	4.36



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Miguel A. Cardales Torres
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701020- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO

1701020) M11

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701020	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

¹SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511)7995788 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701021- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO
1701021) M2I

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701021	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
1Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10 ²
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10 ²
1Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

1SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZURIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

(511)7995786 o 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701022- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO
1701022) M3I

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701022	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10 ²
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10 ²
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	92 x 10	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

¹SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmnt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☎ (511)7995766 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2605 - E-mail: lmnt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701023- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO
1701023) M1F

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701023	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
1Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
1Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
1Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

1SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

(511)7995786 o 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 436 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701024- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO
1701024) M2F

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701024	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10 ²
¹Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	> 16 x 10 ²	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

¹SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511)7995766 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701025- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA DE RIEGO
1701025) M3F

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701025	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
¹Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	> 16 x 10²	10 x 10²
¹Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	> 16 x 10²	10 x 10²
¹Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	> 16 x 10²	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales. Sub-categoría D1: Vegetales de tallo bajo y alto.

Métodos:

¹SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511)7995788 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701015- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SUELO

1701015) MSM - 1

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701015
¹Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
¹Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
¹Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lm1@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lm1@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701016- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SUELO

1701016) MSM - 2

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701016
¹Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	24 x 10
¹Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	24 x 10
¹Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1986) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmj@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmj@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701017- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SUELO
1701017) MSM - 3

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701017
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	23
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	4
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 3

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1986) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701018- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SUELO
1701018) MSM - 4

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701018
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	46 x 10
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	46 x 10
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	21

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DAVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701019- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : SUELO
1701019) MSM - 5

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701019
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	4
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	< 3
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 3

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1963. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274
E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



INFORME DE ENSAYO N° 1701026- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA
1701026) MMF - 1

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701026
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acriba.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☎ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701027- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA

1701027) MMF - 2

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701027
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701028-LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA
1701028) MMB - 1

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701028
1Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
1Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
1Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274
E-mail: imt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: imt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701029- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA
1701029) MMB - 2

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701029
¹ Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
¹ Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

¹International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) ReImp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701030-LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA
1701030) MML - 1

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701030
1Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
1Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
1Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

1International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1986) Reimp. 2000. Editorial Aorbia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274
E-mail: lm@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lm@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Perú
Teléfono: 6147800 anexo 274



INFORME DE ENSAYO N° 1701031- LMT

SOLICITANTE : CLAUDIA FIORELLA HUANANI CAHUAS

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : CULTIVO AGRICOLA
1701031) MML - 2

PROCEDENCIA : Chancay – Salinas Bajo
TIPO DE ENVASE : Bolsa de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 06 und. x 200 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2017 - 01 - 09
FECHA DE RECEPCIÓN : 2017 - 01 - 10
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 10
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2017 - 01 - 20

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1701031
*Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	41
*Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	23
*Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	4

NOTA: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

Métodos:

*International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1986) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.

La Molina, 25 de enero de 2017

DRA. DORIS ZUÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 6147800 anexo 274

E-mail: lm1@lamolina.edu.pe

LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGIA "MARINO TABUSSO"

☐ (511) 614-7800 anexo 274 - E-mail: lm1@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

APÉNDICE 7. CONDICIONES DE SUELOS

Clasificación en condiciones de clima medias, con riegos permanentes y para cultivos de tolerancia media a las sales; en cuanto a las condiciones del suelo, ellas han sido tenidas en cuenta en las recomendaciones para el uso de cada clase, y según (Palacios & Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera & Martínez, 1996; Marín, 2002; Porta, 2010, citado por Pérez, 2011) son las siguientes:

- a. Clase C1:** Agua de baja salinidad, son buenas para riego y pueden usarse para la mayor parte de los cultivos, en casi todos los suelos. Con las prácticas habituales de riego, la salinidad del suelo tiende a niveles muy bajos salvo en suelos muy poco permeables, con los cuales se requerirá intercalar riegos de lavado. Sólo peligro de salinización de suelos muy impermeables de difícil drenaje interno.
- b. Clase C2:** Agua de salinidad moderada, puede usarse en casi todos los cultivos con suelos de buena permeabilidad. En caso de permeabilidad deficiente del suelo, es necesario elegir el cultivo, evitando aquellos muy sensibles a las sales. Se requiere riegos de lavado ocasionales. Es de calidad buena para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal y representan peligro para plantas muy sensibles y suelos impermeables.
- c. Clase C3:** Agua de salinidad media, debe usarse en suelos de permeabilidad moderada a buena, y, aun así, efectuar riegos de lavado para evitar que se acumulen las sales en cantidades nocivas para las plantas. Deben seleccionarse cultivos con tolerancia a la salinidad. El suelo debe tener buena permeabilidad.
- d. Clase C4:** Agua de salinidad alta, sólo debe usarse en casos de suelos de buena permeabilidad, para que los riegos de lavado produzcan una lixiviación suficiente para impedir que las sales se acumulen en cantidad peligrosas. Deben también seleccionarse los cultivos adecuados o estas condiciones. Son necesarios los lavados especiales para remover las sales.
- e. Clase C5:** Agua de salinidad muy alta, inapropiada para el riego; sólo puede usarse en suelos muy permeables, con manejos técnicos muy cuidadosos y donde se puedan aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales. Sólo para plantas muy tolerantes.

f. Clase C6: Agua extremadamente salina, no apta para el riego. Los riegos de lavado son necesarios en la medida que las lluvias no sean suficientemente frecuentes e intensas para provocar la lixiviación de las sales acumuladas, transportándolas a profundidades mayores a la zona de raíces. Deben tomarse precauciones para su uso y pueden usarse suelos muy permeables y/o mezclados con agua de buena calidad.

Clasificación y peligrosidad del sodio, y según (Palacios & Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera & Martínez, 1996; Marín, 2002; Porta, 2010, citado por Pérez, 2011) especifican cada una de las clases y mencionan las siguientes:

- a. Clase S1:** Bajo peligro de sodificación, pueden usarse en casi todos los suelos sin riesgo de que el nivel del sodio de intercambio se eleve demasiado.
- b. Clase S2:** Peligro de sodificación mediano, estas aguas pueden usarse en suelos de textura gruesa entre arenosa y franca u orgánica con buena permeabilidad. Peligroso en suelos de textura fina, arcillosa o con drenaje deficiente, puede elevarse el sodio de intercambio, este efecto se ve atenuado en suelos con yeso.
- c. Clase S3:** Alto peligro de sodificación, son capaces de originar sodificación en casi todos los tipos de suelo, por lo que se requiere manejos técnicos específicos para mejorar el drenaje y lixiviado y a su vez tomar medidas correctivas como incorporación de yeso. Peligroso en suelos sin yeso, requieren adición de materia orgánica y eventuales enmiendas químicas, tales como yeso o azufre.
- d. Clase S4:** Muy alto peligro de sodificación, son aguas inadecuadas para el riego, salvo condiciones de muy baja salinidad, donde la solución de calcio del suelo o el uso del yeso u otras enmiendas pueden hacer factibles el uso de esta agua. El calcio proveniente de los carbonatos de calcio del suelo o del yeso puede disminuir el peligro de sodificación. El peligro de sodificación de suelo es agravado y acelerado por la presencia de carbonato o bicarbonato de sodio.

Según el Ministerio de Agricultura [MINAGRI] (2009) a través del Decreto Supremo N° 017-2009-AG indica que la fertilidad del suelo está relacionada al contenido de macronutrientes: materia orgánica, fósforo y potasio de la capa superficial del suelo, hasta 30 cm de espesor. Su valor alto, medio o bajo se determina aplicándose la ley del mínimo, ello quiere decir que es definida por el parámetro que presenta el menor valor; descripción de tipos de fertilidad:

CLASIFICACIÓN DE FERTILIDAD		DESCRIPCIÓN
a.	Fertilidad Alta:	Todos los contenidos de Materia Orgánica, nitrógeno, fósforo y/o potasio son altos.
b.	Fertilidad Media:	Cuando alguno de los contenidos de Materia Orgánica, fósforo y/o potasio es medio, los demás son altos.
c.	Fertilidad Baja:	Cuando por lo menos uno de los contenidos de Materia Orgánica, fósforo y/o potasio es bajo.

Fuente: Decreto Supremo N° 017-2009-AG

APÉNDICE 8. CONVERSIONES

<u>PARÁMETROS</u>	<u>CONVERSIÓN</u>
Conductividad: 2500 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	$2,5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1} = \frac{2500 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} * 1 \text{ dS} \cdot \text{cm}^{-1}}{1000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}}$
Calcio: 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$9,98 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{20,04 \text{ mg}}$
Magnesio: 150 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$12,34 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{12,16 \text{ mg}}$
Sodio: 200 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$8,70 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{22,997 \text{ mg}}$
Cloruros: 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$14,10 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{35,457 \text{ mg}}$
Sulfatos: 1000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$20,82 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{48,03 \text{ mg}}$
Bicarbonatos: 518 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$8,49 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{518 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{61,018 \text{ mg}}$
Nitratos: 10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$0,16 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{62,008 \text{ mg}}$
Carbonatos: 5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$0,17 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{30,008 \text{ mg}}$
Boro: 1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \rightarrow$ “x” $\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$	$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

APÉNDICE 9. FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Salida de aguas servidas por un tubo proveniente de un hogar



Fotografía 2: Efluente directo hacia el canal de riego



Fotografía 3: Mezcla final de los efluentes de los hogares con el agua proveniente del río Chancay



Fotografía 4: Toma de muestra de agua al inicio del canal de regadío



Fotografía 5: Llenado de muestra de agua inicial en la botella



Fotografía 6: Toma de muestra de agua al final del canal de regadío



Fotografía 7: Llenado de muestra de agua final en la botella



Fotografía 8: Toma de muestra de suelo en parcela de cultivo de lechuga y betarraga



Fotografía 9: Toma de muestra de suelo en parcela de cultivo de tomate



Fotografía 10: Toma de muestra de suelo en parcela con cultivo de frijol castilla



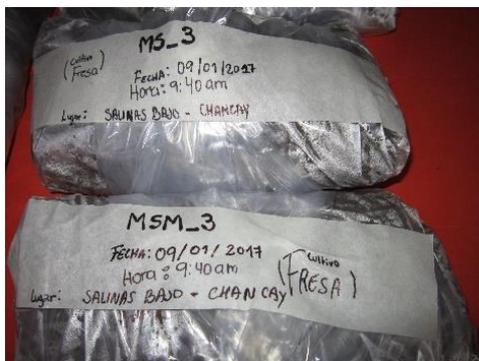
Fotografía 11: Toma de muestra de suelo en parcela con cultivo de fresas



Fotografía 12: Botellas con muestras de agua rotuladas



Fotografía 13: Muestras de agua dentro de la conservadora, refrigeradas y posteriormente ser trasladadas al laboratorio



Fotografía 14: Muestras de Suelo rotuladas



Fotografía 15: Muestras de suelo selladas para posteriormente ser trasladadas al laboratorio



Fotografía 16: Muestras de lechuga, betarraga y fresas empaquetadas para ser trasladadas al laboratorio.