

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS AMBIENTALES

TESIS

PROBABLES EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE
LA CIUDAD DE CAJAMARCA EN EL SISTEMA AGUA-
SUELO-PLANTA DE LOS CASERÍOS DE LA VICTORIA,
YANAMARCA Y LA COLPA

Para optar el Grado Académico de
DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

MSc. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz

Asesor:

Dr. Eduardo Torres Carranza

Cajamarca, Perú

2014

COPYRIGHT © 2014 by
GUILLERMO ALEJANDRO CHÁVEZ SANTA CRUZ
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS AMBIENTALES

TESIS APROBADA:

PROBABLES EFECTOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD
DE CAJAMARCA EN EL SISTEMA AGUA-SUELO-PLANTA DE LOS
CASERÍOS DE LA VICTORIA, YANAMARCA Y LA COLPA

Para optar el Grado Académico de
DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:
MSc. Guillermo Alejandro Chávez Santa Cruz

Comité Científico

Dr. Severino Torrel Pajares
Presidente del Comité

Dr. Berardo Escalante Zumaeta
Primer Miembro Titular

Dr. Juan Seminario Cunya
Jurado

Dr. Eduardo Torres Carranza
Asesor

Dr. Homero Bazán Zurita
Jurado Accesorio

Cajamarca, Perú
Noviembre del 2014

DEDICATORIA

A:

LA MEMORIA:

Mis queridos padres, Sofía y Juan,

A mi esposa, Margarita e hijos.

CONTENIDO

Ítem	Página
AGRADECIMIENTO.....	vii
LISTA DE ABREVIACIONES.....	viii
LISTA DE TABLAS, CUADROS, GRAFICOS Y MAPAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCION.....	
CAPÍTULO I.	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
CAPÍTULO II.	
2.1. MARCO TEORICO.....	4
2.1.1 Fosforo total.....	15
2.2 Parámetros de la calidad del agua.....	17
2.2.1 Parámetros físicos.....	17
2.2.2 Parámetros biológicos.....	20
2.2.3 Metales pesados.....	22
2.2.3.1 El cobre.....	22
2.2.3.2 El hierro.....	23
2.2.3.3 El cromo.....	24

2.2.3.4 El aluminio.....	24
2.2.3.5 El zinc.....	25
2.1.4. No metales.....	26
2.1.4 1. Sulfatos.....	26
2.1.4.2. Nitratos.....	27
2.1.4.3. Nitritos.....	28
2.1.4.4. Definición de términos básicos.....	28

CAPÍTULO III

3.1. HIPOTESIS.....	31
3.2. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	31
3.3. PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACION.....	31
3.4. IDENTIFICACION Y SELECCON DE UNIDADES DE ANALISIS.....	33
3.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	37
3.6. DIEÑO Y TECNICAS DE INVESTIGACION.....	38
3.7. METODOLOGIA EMPLEADA.....	38

CAPÍTULO IV.

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	50
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	76
LISTA DE REFERENCIAS.....	77
ANEXOS.....	87

AGRADECIMIENTOS.

Sin el apoyo de las siguientes personas no se hubiera podido realizar el presente trabajo de investigación.

Agradezco:

Al Dr. Eduardo Torres Carranza, Asesor.

A la Ing. Nancy Gomero Quinto, Directora Ejecutiva de Salud Ambiental DESA – Cajamarca.

A la Dra. Miriam Antonieta Marín Roncal, Directora Ejecutiva de Salud Ambiental DESA – Cajamarca.

Al Ing. Alfonso Salazar Vigo, Responsable de la Unidad de Ecología y Protección Ambiental
DESA – Cajamarca.

Al Sr. Jorge Salazar Cabañas, Responsable del Laboratorio de la DESA – Cajamarca.

Al Sr. Segundo Alamiro Vásquez Quiroz, Inspector Sanitario DESA – Cajamarca.

Al Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya, Vicepresidente Académico de la UNACH. Al Dr. Gilberto Chávez Santa Cruz, docente de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

A la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca como formadora de capacidades humanas.

LISTA DE ABREVIATURAS

BCH-1 :	Boca toma canal huacariz.
PO 2:	Pozas de oxidación.
BCRY-1:	Boca toma canal Rumicucho Yanamarca.
BCLC-1:	Boca toma canal la Colpa.
PCV- 4:	Punto canal La Victoria.
CY-5:	Canal Yanamarca.
CLC-2:	Canal La Colpa.
PF-1:	Pozo subterráneo Sr. Francisco
MES-1:	Manantial El Sauce
MI-1:	Manantial Ingapila
NMP:	Número Más Probables
DIGESA:	Dirección General de Salud.
DESA:	Dirección Ejecutiva de Salud.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
ART:	Aguas residuales tratadas.
AR:	Aguas residuales.

Índice Selectivo.

Tablas – Cuadros - Gráficos – Mapas

Tablas.

Tabla 1. Composición típica de agua residual domestica	10
Tabla 2. Composición media de líquido cloacal doméstico	10
Tabla 3. Contaminantes importantes de las aguas residuales	21
Tabla 4. Parámetros biológicos (valores en N.M.P./100ml)	22
Tabla 5. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales	23
Tabla 6. Estaciones de monitoreo de las aguas residuales	41
Tabla 7. Estaciones de monitoreo de suelos y pastos	42

Gráficos.

Gráfico 1. Promedio de las propiedades físicas de las aguas de riego	51
Gráfico 2. Concentraciones de las propiedades Químicas de las aguas de riego	54
Gráfico 3. Concentración de Coliformes Totales en las aguas de riego	64
Gráfico 4. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes en las aguas de riego	66

Gráfico 5. Promedios de P, K, pH y MO en suelos	68
Gráfico 6. Concentraciones de Coliformes Totales sistema planta	71
Gráfico 7. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes en el sistema planta	72 Cuadros.
Cuadro 1. Resultados de los análisis físicos químicos y aguas residuales.....	62
Cuadro 2. Estadística descriptiva para El análisis físico químico	63
Cuadro 3. Lugar de monitoreo de suelos y sus tratamientos	67
Cuadro 4. Resultado de análisis de suelos	70
Cuadro 5. Análisis microbiológicos del Rye Grass	73

Mapas.

Mapa 1. Ubicación del área de influencia del proyecto de investigación	33
Mapa 2. Puntos de monitoreo en La Victoria, Yanamarca y La Colpa	37

Panel	fotográfico
.....	89

ANEXOS

RESUMEN

La investigación se realizó para determinar las probables concentraciones de metales pesados y coliformes, en el sistema agua-suelo-planta del cultivo de Rye Grass, ocasionado por las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca a los cuerpos de agua en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa, se realizaron análisis físicos, (pH,

Conductividad eléctrica, Sólidos totales, Temperatura, Turbidez), químicas (Cobre, Cromo, Aluminio, Zinc, Hierro, Nitratos, Sulfatos, Nitritos), Microbiológicos (Coliformes totales y termotolerantes). En el sistema suelos se realizaron análisis de fosforo, potasio, materia orgánica, aluminio y textura, en el sistema planta se analizaron Coliformes totales y termotolerantes, en sistema cuerpos de agua se realizaron análisis físico químicos y biológicos, parámetros físicos del agua evaluados nos dan resultados ubicados dentro de los límites máximos permisibles establecidos para el país; los resultados químicos del agua nos indica que concentraciones de: Hierro, Cobre y nitritos superan los LMP, con concentraciones de: 2.6 mg/l, en el sistema suelos los resultados obtenidos de P, K, MO se hallaron por encima de los niveles promedios para el valle de Cajamarca, los resultados microbiológicos de las concentraciones de coliformes totales y termotolerantes superaron los LMP en todos los puntos muestreados tanto en los cuerpos de aguas y plantas.

Palabras claves: Aguas residuales, Calidad del agua, Canal Huacariz, Canal Yanamarca- Rumicucho, La Victoria, Canal La Colpa, Rye Grass.

ABSTRACT

The research was carried out to determine the likely concentrations of heavy metals and coliform in water-soil-plant cultivation system Rye Grass, caused by sewage from the city of Cajamarca to the bodies of water in the villages of La Victoria , Yanamarca and La Colpa, physical analyzes were performed (pH, electrical conductivity, total solids, temperature, turbidity), chemical (Copper, Chromium, Aluminium, Zinc, Iron, Nitrates, sulphates, nitrites), microbiological (total coliforms and thermotolerant). The soil analysis system phosphorus, potassium, organic matter, aluminum and texture of the plant system were made thermotolerant and total coliforms were analyzed in bodies of water system physical chemical and biological analyzes were performed, physical parameters of water evaluated results give us located within the limits set for the country; Water chemistry results indicates that concentrations: Iron, Copper and nitrites exceed LMP, with concentrations: 2.6 mg / l in the soil system the results of P, K, MO were found above average levels for the valley of Cajamarca, the microbiological results of the concentrations of total and thermotolerant coliforms exceeded LMP in all sampled points in both water bodies and plants.

Keywords: Wastewater, Water Quality, Huacariz Canal, Canal Yanamarca-Rumicucho, La Victoria, La Colpa Canal Lick, Rye Grass.

1.1 INTRODUCCION

La población localizada en la parte baja de la ciudad de Cajamarca hace uso de aguas residuales, pero no es consciente del grado de contaminación que estas provocan en sus suelos, cuerpos de agua y especies vegetales cultivadas y no cultivadas, especialmente de aquellas empleadas como forraje para la alimentación de ganado vacuno. En entrevistas con los usuarios refieren que, en función a la distancia recorrida, las aguas residuales pierden gradualmente su color oscuro hasta llegar a aclararse, confundándose con agua limpia. Sin embargo, se sabe que la intensidad del color no es un indicador confiable de su calidad (Lenntech 2006). Siendo por lo tanto necesario iniciar investigaciones que evidencien el impacto de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca, en el sistema agua - suelo - planta en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.

En el año 2011, la ciudad de Cajamarca registró una población de 288 000 habitantes la cual viene incrementándose en forma acelerada por la inmigración para laborar en las empresas mineras asentadas en la zona. La OMS (1989), reporta que el consumo promedio diario de agua es de 50 L/persona. Si se multiplica el consumo promedio por persona por la población de Cajamarca, se tendría que diariamente se consumen 14 400 000 L de agua. De este total, el 75 % (10 800 000 L.), es evacuado a las alcantarillas y conducido mediante tuberías hacia las lagunas de oxidación; y luego la contaminación

continua al sistema agua – suelo – planta, de los caseríos de la Victoria, Yanamarca y la Colpa, sin embargo en su recorrido, la mayor cantidad de esta, es utilizada en forma directa para el riego de pastos (rye gas x trébol), sin haber recibido tratamiento alguno. El problema de contaminación hídrica se acentúa aún más si se considera que en la ciudad Cajamarca existen empresas que prestan servicios diversos, situándose dentro de estas, las acopiadoras de leche fresca como Gloria e Incalac, curtiembres, panaderías, mineras, ladrilleras, restaurantes y hoteles, entre otras, las cuales evacuan sus aguas servidas directamente a los ríos.

Algunos de los municipios de los distritos de Cajamarca cuentan con red de recolección de las aguas residuales o servidas, pero en la mayoría de casos estas aguas son descargadas a un cuerpo hídrico receptor, siendo éste una quebrada o río (Mashcón, San Lucas y Chonta), sin ningún tipo de tratamiento, ocasionando la proliferación de enfermedades gastrointestinales infecciosas en la población, especialmente en aquellas personas que viven en las zonas cercanas al punto de descarga o las que, aguas abajo utilizan dicho líquido para el quehacer diario, riego de cultivos y más grave aun cuando, sin ser tratada, es ingerida por personas. Además, estas aguas residuales provocan el deterioro del medio acuático, afectando la flora y fauna original del cuerpo hídrico receptor (Campos 2011).

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

¿Cuál es el probable efecto en el sistema agua - suelo - planta, en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa, por las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar los probables efectos de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca, en el sistema agua – suelo – planta, en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Cuantificar las probables concentraciones de contaminantes de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca en el agua de riego, utilizada en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.
2. Cuantificar las probables concentraciones de contaminante de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca en el suelo (rizosfera), de los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.
3. Cuantificar las probables concentraciones de contaminante de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca en la planta (**Lolium multiflorun L.**), utilizada como forraje en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.

CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO.

El agua es uno de los recursos naturales que forma parte del desarrollo de cualquier país; es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. Su disponibilidad es paulatinamente menor debido a su contaminación por diversos medios, incluyendo a los mantos acuíferos, lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social (Esponda 2001).

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad, cantidad de sales y de la presencia de pesticidas. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y contaminantes que no están presentes de forma natural, además es un componente imprescindible en la vida del planeta, y respecto al hombre, se considera que es el alimento más importante. Tomando en cuenta que, por definición, la calidad es la expresión de un conjunto de características de un bien o servicio para enfrentar la satisfacción de un usuario o consumidor (Orozco 2009).

Las alteraciones en la calidad del agua, pueden ser físicos, químicos y biológicos; según sea el contaminante incorporado APRISABAC (1997), menciona que el contaminante físico está determinando por partículas sólidas o líquidas, que le dan turbiedad y características de color, olor, etc., no aceptables por los consumidores, produciendo sobre todo un malestar y una situación de rechazo, mientras que los contaminantes químicos son minerales de hierro, magnesio, calcio, manganeso, cloruros, carbonatos, nitritos, nitratos, sulfatos, hidróxidos, sea en forma de solución o en suspensión formando sales. El estado natural del agua puede ser afectado por procesos naturales, por ejemplo, los suelos, las rocas, insectos y excremento de animales, la otra forma que se puede cambiar su estado natural, es artificialmente, por participación del hombre, por sustancias que cambian el pH, la salinidad y esto se logra mediante actividades humanas y mineras; otros desechan su

basura a los lechos de los ríos y quebradas. Otra razón es el uso excesivo de fertilizantes, los cuales son arrastrados por las aguas hacia los ríos donde crecen las algas en exceso, evitando la entrada de luz al lago o laguna y provocando la muerte de la fauna acuática. Otra forma de contaminación son la presencia de metales pesados como: el plomo y el cadmio los cuales generan bioacumulación y finalmente los residuos urbanos o aguas servidas que contienen excrementos (La Peña 1999).

Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Rodríguez y Duran 2006). Diariamente se arrojan a los cursos de agua (ríos, lagos, arroyos, etc.), toneladas de desechos orgánicos e inorgánicos que los contaminan, matando toda forma de vida e interrumpiendo la cadena alimentaría que llega hasta el hombre (OMS 1998).

La Organización Mundial de la Salud (1998), sostiene que un agua esta contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilizations a las que se hubiera destinado en su estado natural. Para tal determinación, ha establecido límites máximos que permiten determinar la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo.

Las aguas residuales se definen como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Rodríguez y Durán 2006).

La OMS (2006) y la FAO (2011), fomentan el uso de las aguas residuales (AR) de origen doméstico en la agricultura, pero reconocen los riesgos que generan para la salud y el ambiente (Pescod 1992, Kiziloglu *et al.* 2008, Segal *et al.* 2011, Cirelli *et al.* 2012). Por lo tanto, la reutilización de aguas residuales tratadas (ART) para riego agrícola, se convierte

en una solución técnica para minimizar la degradación del suelo y restaurar el contenido de nutrientes del mismo (Kiziloglu *et al.* 2008).

Adicionalmente, Segal *et al.* (2011) indican que la reutilización de ART para riego de cultivos agrícolas incrementa la susceptibilidad de los cultivos al estrés osmótico y aumenta el potencial de contaminación de aguas subterráneas. Cuando los cultivos son regados con ART, los primeros y los principales cambios, se encuentran en los parámetros de salinidad y de sodicidad del suelo (Marques *et al.* 2009).

Por otro lado, en proyectos de reutilización de AR para riego, las directrices de la OMS son las indicadas para la calidad microbiológica del agua. El objetivo principal del tratamiento de las AR debe ser la eliminación de los organismos patógenos León (1995), OMS (2006), como los relacionados con excretas (bacteria *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp.), helmintos (*Ascaris*, *Ancylostoma*, *Necator*, *Hymenolepis*, *Strongyloides*, *Toxocara*, *Trichuris*, *Taenia* spp.), trematodos, protozoarios, virus, los relacionados con patógenos transmitidos por vectores, irritaciones en la piel y químicos. En lo que respecta a los criterios de calidad físico química de agua para riego, las directrices de la FAO (1999), proponen la salinidad y la alcalinización de los suelos como parámetros.

En ese orden de ideas, la reutilización del ART puede exigir un cambio en las especies vegetales utilizadas para el cultivo, la modificación de las dosis de fertilizantes, la remodelación del sistema de riego, la adopción de precauciones para proteger a los trabajadores agrícolas y la salud de los consumidores (Mujeriego 1990).

Se han desarrollado varias investigaciones en el orden mundial para conocer los potenciales beneficios y los problemas de los proyectos de reutilización de ART, para riego de cultivos agrícolas y para trabajos de investigación aplicada, interesados en aumentar los recursos hídricos de zonas áridas, (Nunes *et al.* 2005, Fasciolo *et al.* 2005, Rutkowski *et al.* 2006, Hassanli *et al.* 2008).

Medeiros *et al.* (2005), encontraron que ART, con filtros de arena, mejoran las características del suelo, como el pH, el porcentaje de materia orgánica (M.O.), el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), pero incrementa los problemas de salinidad, evaluó rendimientos del cultivo de maíz regado con ART y con aguas de riego; no encontró diferencia significativa en rendimientos, pero indica que el riego con AR puede ahorrar el uso de fertilizantes. Kiziloglu *et al.* (2008), evaluaron las mejoras en la fertilidad del suelo sin afectar la calidad del mismo y de las plantas al aplicar riego con ART. Los resultados indican que el riego con ART afecta, significativamente, las propiedades químicas del suelo en los primeros 30 cm de profundidad y el contenido de nutrientes en las plantas después de la cosecha. El experimento no arrojó afectaciones por metales pesados ni excesos de sales. Se concluye, que las AR domésticas sin tratar, se pueden usar con confianza para riego agrícola a corto plazo y con tratamiento primario, en agricultura sustentable, a largo plazo. De igual forma, en Argentina, se comparó el rendimiento de tubérculos regados con AR y con agua subterránea, obteniendo mejor rendimiento con el primer tipo de riego (Lelio 2009).

De otra parte, Marques *et al.* (2009), evaluaron los efectos de la salinidad y la sodicidad del suelo en una plantación de caña de azúcar en condiciones tropicales, regada 16 meses con ART, en Sao Pablo, Brasil. Los resultados indican diferencias significativas en el incremento de porcentaje de sodio intercambiable, dispersión de arcillas, tasa de adsorción de sodio y conductividad eléctrica; sin embargo, se concluye, que el incremento del contenido de sodio en el suelo está más asociado a la frecuencia de riego con ART que a la cantidad de ART aplicada al cultivo. Por lo tanto, se recomienda estudiar los procesos de remediación del suelo para poder implementar la reutilización de ART, como solución técnica (Marques *et al.* 2009)

Estudios realizados por Alcon (2010), demuestran que el uso de aguas residuales recuperadas para el regadío aporta beneficios medioambientales de “no-mercado” significativos, que superan a los costos medios de su tratamiento. Adicionalmente, el análisis de la heterogeneidad de la preferencia apunta a que el uso de aguas residuales recuperadas en la agricultura es más aceptable para la población que si se les hiciera tomar

conciencia del pago actual que realizan para el tratamiento del agua. Por tanto, la inclusión de estos beneficios de “no-mercado” en la evaluación integral de las opciones para las políticas del agua conducirá a decisiones mejor informadas y más eficientes sobre gestión de agua. Investigadores de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC), junto con investigadores de las Universidades de Alcalá y de las Palmas de Gran Canaria, del Centro de Nuevas Tecnologías del Agua y de la Fundación IMDEA Agua, estudiaron el uso de aguas residuales tratadas en la producción de cultivos para la obtención de biodiesel. Esta alternativa podría ayudar a que poblaciones pequeñas amorticen parcialmente el costo que genera la depuración de las aguas residuales. Se determinó que la composición de las aguas residuales urbanas es muy variable (Tablas 1 y 2), interviniendo en ella factores específicos de la comunidad que las produce, como es el propio consumo de agua, las aguas industriales que puedan incluirse en el alcantarillado o el régimen alimentario.

Tabla 1. Composición típica de agua residual doméstica

Componente	Concentración, mg/litro
Carbonato	2,4
Bicarbonato	45,0
Cloruro	3,5
Sulfato	5,8
Nitrato	1,1
Fosfato	0,0
Sodio	0,5
Potasio	0,8
Calcio	10,4
Magnesio	9,8
Sílice	5,8
Fluoruro	0,8
Manganeso	0,0
Hierro	0,0
Aluminio	0,1
Boro	0,1
Sólidos disueltos totales	63,8
Alcalinidad total	39,0

Fuente: Universidad Rey Juan Carlos

Tabla 2. Composición media de líquido cloacal doméstico (en gramos por persona y día)

Sólidos	Total	Mineral	Orgánico
Totales	250	105	145
Disueltos	160	80	80
Suspendidos	90	25	65
Sedimentables	54	15	39
No sedimentables	36	10	26

Fuente: Universidad Rey Juan Carlos.

Müller (2010), experto de la Oficina Federal de la Energía de Alemania (OFEN) y responsable del programa Suisse Energie sostiene que una casa puede ser calentada recuperando el calor de las aguas usadas a través de una tecnología disponible, desde hace 20 años. Esta innovadora forma de calefacción se utilizará en la ciudad olímpica de Vancouver, Canadá. El principio es simple: tomar el calor de las aguas de la canalización que se encuentran a una temperatura que oscila entre los 12°C y los 20°C, y utilizarlo para hacer girar las bombas de calentamiento. Con ellas, el agua residual puede alcanzar entre los 65°C y los 70°C.

Los procesos utilizados para el tratamiento de aguas residuales, principalmente son físicos, químicos y biológicos. Dentro de estos últimos, los humedales artificiales (HA) son utilizados para aguas residuales de tipo doméstico, aunque también han funcionado para aguas de origen industrial, (Fenoglio 2000). Su utilización fue desarrollada en Europa hace aproximadamente veinte años, donde siguen operando con éxito (Cooper 1999). Los HA se definen como sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento (Gerba *et al.* 1999).

Entre las ventajas de este sistema se encuentra el bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales, así como la

generación de un paisaje agradable. Los HA correctamente diseñados y construidos, pueden depurar las aguas municipales, industriales y las de lluvia, y son especialmente eficaces en la eliminación de contaminantes del agua, como son sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales. Son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente (Miranda 2000).

Los componentes de un HA son las plantas, el sustrato y la población microbiana. Las plantas pueden ser de diferentes especies y hábitos de enraizamiento y entre sus principales funciones se encuentra la absorción de nutrimentos, la relación simbiótica que se establece con los microorganismos, el suministro de oxígeno y la filtración de partículas (Brix *et al.* 2003). El sustrato es el soporte para las plantas y un medio de fijación para los microorganismos en el sistema y funciona como conductor hidráulico. (Faulkner y Richardson 1989).

Romero y Aguilar (2009), indican que el tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida. Para tal efecto, se usan los humedales artificiales, pues representan una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento. Al respecto, Frers (2007) afirma que la importancia de los humedales ha variado con el tiempo. Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. El agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad, asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución, ya sea como detritus o sedimentos, estos a su vez se transforman y transportan a los alrededores del paisaje y consiste en la instalación de humedales artificiales que actúan como filtros naturales. Ubicados entre la planta y los recursos acuáticos (ríos, lagos, lagunas), estos sistemas, además de no necesitar mantenimiento ni consumir energía eléctrica, cuestan menos que la cuarta parte de un sistema de tratamiento

tradicional. Los humedales se construyen utilizando diferentes especies de plantas que abundan en la zona: totoras, repollitos de agua, camalotes o juncos.

En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. En este sentido, Romero y Aguilar (2006) evaluaron el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal, con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial. En el primero se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, Carrizo, (en el segundo, organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel, Totorá y en el tercero las dos especies. Los módulos experimentales fueron instalados a la salida de un tratamiento primario, el cual contiene aguas residuales municipales provenientes de un edificio de investigación. En el agua se analizó la demanda química de oxígeno (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO_3^- , N-NO_2^- y N-NH_4^+) y el fósforo total. También se realizó el conteo de bacterias asociadas al sistema. Los resultados demostraron que el sistema es una opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrimentos, de bajo costo de operación y mantenimiento (Romero y Aguilar 2009).

El nitrógeno influente en el humedal artificial se encuentra como nitrógeno orgánico o amoniacal, con escasas cantidades de nitratos. Los procesos de descomposición y mineralización llevados a cabo por los microorganismos, transforman este nitrógeno a nitritos o nitratos (nitrificación) y finalmente a N_2 (de nitrificación). Las proporciones de estos procesos dependen en gran medida de la concentración de oxígeno en el sistema, (Lara - Borrego 1999).

Los procesos de remoción de nitrógeno en humedales artificiales incluyen diferentes mecanismos como: su utilización por los organismos del sistema (plantas y microorganismos), amonificación, nitrificación de nitrificación y adsorción en la matriz del sustrato. Numerosos estudios han demostrado que el mecanismo más importante de remoción es el proceso de nitrificación (Vymazal *et al.* 2002).

Los compuestos nitrogenados constituyen nutrientes clave para el crecimiento de los seres vivos, así que el nitrógeno puede ser eliminado del agua siempre que sea asimilado por microorganismos. Para las plantas, el nitrógeno es un nutriente vital que utilizan en la síntesis de proteínas para su crecimiento, especialmente en forma de nitrato (Cervantes *et al.* 2000).

Trabajos realizados por Díaz (1992), indican que, en la época de estiaje, la concentración de $N-NH_4^+$ antes de la entrada de agua residual al sistema de tratamiento fue de 58.69 mg/L. Al final del tratamiento, se presentó una remoción del 73.85 %, con una concentración de 15.35 mg/L. Para el caso de la temporada de lluvias, la concentración $N-NH_4^+$ fue de 173.26 mg/L y después del sistema de tratamiento se presentó una remoción de 89.70 %. Los resultados evidencian que, en ambas temporadas se obtiene una remoción importante en la concentración de $N-NH_4^+$. Para el caso de los nitritos en la temporada de estiaje, se encontró una concentración de 0.24 mg/L de $N-NO_2^-$ en el agua residual que ingresa al sistema y se incrementa hasta 2.52 mg/L, a la salida del segundo módulo. Por lo tanto, el sistema no removió este tipo de nitrógeno, sino que la nitrificación condujo a la formación de nitritos, probablemente porque en algunas zonas del sistema predominan las condiciones anaerobias. Los resultados de la época de lluvias muestran una tendencia similar: incremento de nitritos en el agua a su paso por los humedales. Por su parte, la concentración inicial de $N-NO_3^-$, durante el muestreo realizado en la temporada de estiaje fue de 5.63 mg/L y disminuye a la salida del sistema a una concentración de 3.07 mg/L (45.46 % de remoción). Para el muestreo realizado en la temporada de lluvias, la concentración inicial fue de 5.8 mg/L, aunque se presentan variaciones importantes a su paso por los tres módulos, lo que ha impedido calcular el porcentaje de remoción total por el sistema. Estas variaciones sugieren un incremento en el proceso de nitrificación, probablemente debido a una mayor oxigenación o por el incremento de este tipo de nitrógeno, causado por el aporte del agua de lluvia al sistema (el humedal se instaló al aire libre y en una zona urbana).

De acuerdo con los resultados obtenidos por Díaz (1992), en el agua residual cruda por su origen sanitario, el nitrógeno se presentó mayormente como $N-NH_4^+$, probablemente

procedente de la urea humana y de compuestos orgánicos nitrogenados. Las condiciones que prevalecen en el sistema, favorecen los procesos de nitrificación, dando como resultado la formación de nitratos y nitritos por la actividad de bacterias nitrificantes (*Nitrosomas* y *Nitrobacter*). Los resultados sugieren, además, que existen zonas anaerobias al interior del humedal, que conducen a la formación de nitritos. La remoción de $N-NH_4^+$ del sistema es alta, probablemente debido al aprovechamiento por las plantas y microorganismos o por el proceso de nitrificación (incluyendo la formación de nitritos).

En algunos casos se han obtenido importantes disminuciones de la concentración de especies de nitrógeno, asociadas a un aporte de oxígeno por las raíces de las plantas en sistemas de poca profundidad (0.3 m) (Lara-Borrego 1999).

2.1.1 Fósforo total

El fósforo en aguas residuales se encuentra principalmente como fosfatos y en formas orgánicas. La contaminación de agua por este elemento tiene su fuente principal en el uso de productos de limpieza con compuestos fosforados como principios activos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser un nutriente limitante de la productividad primaria. En concentraciones elevadas por la incorporación de aguas residuales o tratadas, estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutroficación (Díaz 1992).

El fósforo puede ser absorbido por las plantas en diferentes formas iónicas, el cual se integrará al metabolismo principalmente en el proceso de fotosíntesis, razón por la cual disminuye su concentración en el agua a su paso por los humedales. Además, puede ser aprovechado por los microorganismos o fijado en el sustrato. Sin embargo, la cantidad de fósforo en el efluente es prácticamente el mismo que en el influente. En consecuencia, la cantidad de fósforo asimilado o fijado en el sustrato es pequeña en relación a la aportada por el agua residual. Estos resultados sugieren que los humedales, bajo las condiciones experimentales de este trabajo, no constituyeron un método efectivo para la eliminación de fósforo. De acuerdo con Korkusuz *et al.* (2004) esta situación podría mejorar si se utilizara grava rica en hierro y aluminio o tratamientos alternativos de eliminación de fósforo.

Investigaciones por Díaz (1992), con respecto al muestreo realizado en la época de estiaje, indican que la concentración de fósforo total en la muestra que ingresó al sistema fue de 0.9 mg/L de la cual se remueve 3.13 % en el primer humedal (0.87 mg/L). En el caso del segundo humedal, la concentración del fósforo total aumenta a 0.9 mg/L. Al final del sistema, se presenta una remoción total de 21.87 % (0.7 mg/L). En la época de lluvias, la concentración del fósforo total presentó una concentración de 1.96 mg/L antes de su entrada al sistema y se removió 40.35 % al final del tratamiento. Los resultados demuestran valores mayores en la época de lluvias y con mayor variabilidad a su paso por los diferentes módulos del sistema.

La remoción del fósforo en los humedales artificiales es eficiente en un período corto hasta que el medio se satura. Sin embargo, a largo plazo los procesos son más limitados y se reducen a la asimilación por parte de las plantas y la biomasa (Karpiscak y Foster 2000).

2.2. Parámetros de la calidad del agua

2.1.1. Parámetros físicos

a. pH: Su medida refleja las variaciones de la calidad de la fuente de agua. En los cultivos, el pH del agua en contacto con las raíces puede afectar el crecimiento vegetal de dos formas principalmente:

El pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes, para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas, el pH puede afectar al proceso fisiológico de absorción de los nutrientes por parte de las raíces; todas las especies vegetales presentan unos rasgos característicos de pH en los que su absorción es idónea. Fuera de este rango la absorción radicular se ve dificultada y si la desviación en los valores de pH es extrema, puede deteriorar a la planta o presentar toxicidad debido a la excesiva absorción de elementos Fito tóxicos. Con pH de suelos y aguas de riego cercano o superior a 7.5, se ve afectada la correcta asimilabilidad de nutrientes como fósforo, hierro, manganeso, zinc,

cobre. Con pH cercanos o inferiores a 7.5, se puede ver afectada la asimilación de calcio, magnesio y molibdeno (Dupchak 2005).

b. Temperatura: Magnitudes que miden el estado de la materia. Cuando un pedazo de materia (cuerpo) intercambia calor con el ambiente, generalmente cambia su temperatura. La temperatura causa, sensaciones de calor y frío, aumenta y disminuye el tamaño de los cuerpos (por ejemplo, el mercurio de los termómetros) y emisión de radiación por los cuerpos. La temperatura en las aguas subterráneas naturales varía solo ligeramente en su promedio anual, mientras que en aguas superficiales fluctúan de acuerdo con las estaciones del año (CEPIS 2004).

La temperatura es una de las variables que más afecta la disolución del oxígeno. A mayor temperatura del agua, mucho menor será la cantidad de oxígeno. Tal es así, por ejemplo, el agua a 10 °C tiene un 60% más de concentración de oxígeno que a 34 °C. Esto explica porque peces muy exigentes en oxígeno, como la trucha, son naturales de aguas fría. A esto se suma el hecho de que el metabolismo se acelera a mayores temperaturas, por lo que los organismos vivos tienen un consumo adicional de este elemento (Osorio 2001).

c. Conductividad: Se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución esté tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de

aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad. Mientras más dura (presencia de carbonatos de calcio y magnesio), el agua mucho mayor será su conductividad (OMS 1990).

d. Turbidez: Es la presencia de partículas debido a un tratamiento insuficiente o como consecuencia de la suspensión de un material extraño (arcillas, materias orgánicas, inorgánicas y algunos microorganismos), en el sistema de distribución (Carranza 2001).

e. Caudal: Es la medición del flujo de agua que pasa por la sección transversal de un conducto (río, riachuelo, canal) de agua, se conoce como aforo o medición de caudales.

Este caudal depende directamente del área de la sección transversal a la corriente y de la velocidad media del agua, (CEPIS 2004).

La función principal de la toma de caudal es proveer de datos oportunos y veraces que una vez analizados proporcionan información adecuada para lograr una mayor, ejecución y evaluación del manejo del agua en un sistema de riego. Esta información nos permite conocer la disponibilidad de agua a través de los registros históricos de caudales y así poder elaborar un plan de distribución de agua de riego.

Los contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Contaminantes importantes de las aguas residuales.

Contaminantes		Motivo de su importancia
Sólidos Suspendidos		Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático
Materia biodegradable	orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del Oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos		Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes		Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el Carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesiva en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes		Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia refractaria	orgánica	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales pesados		Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos disueltos	inorgánicos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Mara (1976)

2.2.2. Parámetros biológicos

Son datos que se sirve para identificar cada uno de los valores, mediante un valor numérico y este es orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación como física, química y biológica (Carranza 2001).

a. Coliformes Termotolerantes y Totales.- La denominación genérica de coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal (OMS 1990).

Tabla 4. Parámetros biológicos (valores en N.M.P./100 ml).

Parámetro Biológicos	Unidad	Vegetales de tallo bajo	Vegetales de tallo alto
		Valor	Valor
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000(3)	2000(3)
Coliformes Totales	NMP/100ml	5000(3)	5000(3)
Vibrión Cholerae		Ausente	Ausente
<u>Escherichia Coli</u>	NMP/100ml	100	100
<u>Enterococos</u>	NMP/100ml	20(5)	100
Salmonella Sp.		Ausente	Ausente
Helmintos	huevos/litro	<1(8)	<1(1)

Fuentes: 1, 3, 5, 8.

- (1) Calidad del Agua en la Agricultura -Rev. 1 - Estudio FAO "Riego y Drenaje 29"
- (3) Norma Técnica Nacional de la República de Honduras- 2001
- (5) Seoanez Calvo Mariano (1995). Ingeniería del Medio Ambiente - Criterios Generales de Calidad para Aguas de uso Agrario. Estado de Ontario – Canadá.
- (8) Organización Mundial de la Salud – OMS.

Los efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Efectos causados por los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Contaminantes	Parámetro de caracterización	Tipo de efluentes	Consecuencias
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos totales	* Domésticos * Industriales	* Problema estéticos * Depósitos de barros * Adsorción de contaminantes * Protección de patógenos
Sólidos flotantes	Aceites y grasas	* Domésticos * Industriales	* Problemas estéticos
Materia orgánica	DBO	* Mortalidad de peces biodegradable * Domésticos * Industriales	* Consumo de oxígeno * Condiciones sépticas
Patógenos	Coliformes	* Domésticos	* Enfermedades transmitidas por el agua
Nutrientes	Nitrógeno	* Domésticos	* Crecimiento excesivo de algas (eutrofización del cuerpo receptor)
	Fósforo	* Industriales	* Toxicidad para los peces (amonio) * Enfermedades en niños(nitratos) * Contaminación del agua subterránea.
Compuestos no biodegradables	Pesticidas	* Industriales	* Toxicidad (varios)
	Detergentes	* Agrícolas	
	Otros		* Reducción de la transferencia de oxígeno (detergentes) * No biodegradabilidad
* Espumas (detergentes)			* Malos olores
Metales pesados	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn.)	* Industriales	* Toxicidad * Inhibición al tratamiento biológico de las aguas residuales * Problemas con la disposición de los barros en la agricultura * Contaminación del agua subterránea

Fuente: Campos (1994)

2.2.3. Metales pesados

Dentro de los metales a identificar tenemos:

2.2.3.1. El Cobre.

Este elemento puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contiene o con desechos de minerales en la producción de cobre. El cobre es un metal esencial para los organismos, pero cuando sobrepasa ciertas concentraciones, puede producir efectos tóxicos, principalmente trastornos gastrointestinales y hepáticos. Hay sugerencias de que niveles de cobre sobre 0.6 mg/L, pueden resultar en daño hepático en las vacas lecheras. La deficiencia de cobre en plantas se detecta en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa, este elemento es esencial para los seres humanos se calcula que 2 mg. es la necesidad de cobre para una persona adulta (Thornton 1993).

2.2.3.2. El hierro.

Es considerado como un elemento organoléptico, porque ocasiona manchas en la ropa lavada y las instalaciones de fontanería, en épocas de precipitación pluvial la arcilla en suspensión puede contener Hierro soluble en ácido. Es un micro elemento esencial para las plantas forma parte de los citocromos, proteínas y participa en la reacción óxidoreducción en la planta. En las hojas casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. Presumiblemente el ión requerido en el metabolismo es el ferroso (Fe^{+2}), en cuya forma es absorbido por la planta, ya que es la forma de mayor movilidad y disponibilidad para su incorporación en estructuras biomoleculares. En suelos ácidos se puede inducir una deficiencia de hierro cuando se presentan metales pesados en exceso, como Zn, Cu, Mn y Ni. El efecto más característico de la deficiencia de hierro es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar la clorofila, tornándose cloróticas y algunas veces de color blanco. El hierro puede depositarse como hidróxido y obturar las branquias de los organismos, disminuyendo su potencial respiratorio. El hierro en medio acuático no es nocivo al estar

en bajo contenido, pero suele serlo en presencia de altas concentraciones. Para las truchas con valores de pH en agua de 6,5 a 7,5 y concentraciones de 0,9 mg/l de hierro, es de efecto mortal (Lenntech 1998).

2.2.3.3. El cromo.

Este elemento puede encontrarse en el agua tanto en estado hexavalente como trivalente aunque en forma rara puede aparecer en el agua potable, los valores de cromo son menores de 0.05 mg/L. No esencial, no tiene función fisiológica en las plantas. Cr^{6+} afecta el crecimiento y reduce la productividad de la planta. El Cr^{3+} no es fácil absorbido por las raíces 90% se queda en las raíces. Puede reducirse con SO_2 hasta Cr^{3+} o eliminarse mediante intercambio aniónico. Su presencia puede estar asociada a descargas de desechos industriales y por lo general se encuentran en las aguas superficiales (CEPIS 2004).

2.2.3.4. El aluminio

No considerado un elemento esencial para las plantas. Los síntomas de deficiencia no se identifican fácilmente, ya que puede confundirse con las deficiencias de fósforo. La toxicidad por aluminio limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos reduciendo la profundidad de las raíces, las vuelve cortas y quebradizas, las partes laterales engruesan y adquieren una coloración marrón. Las raíces afectadas por Al son ineficientes en la absorción de agua y de nutrientes. El aluminio interfiere con la absorción, transporte y uso de varios elementos esenciales incluyendo Cu, Zn, Ca, Mg, Mn, K, P y Fe. Cuando el pH está por debajo de 5.5 hay un antagonismo entre Ca y Al debido que el aluminio afecta la absorción de calcio en las plantas produciendo encrespamiento o enrollamiento de las hojas jóvenes y colapso de los ápices de crecimiento o pecíolos. El aluminio causa también daños morfológicos a algunos órganos vegetales (Lenntech 1998).

2.2.3.5. El zinc.

Es un micro elemento esencial que sirve como cofactor enzimático, con muchas funciones, ya que el Zn, debe ser esencial para la actividad, regulación y estabilización de la estructura proteica. El Zn se encuentra en suelos y rocas en forma divalente Zn^{2+} . El contenido de Zn soluble aumenta al disminuir el pH y viceversa. El carbonato de calcio también reduce fuertemente su disponibilidad. El encalado excesivo produce una deficiencia de éste elemento. Los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en el campo son la reducción del tamaño de las hojas. Dependiendo del cultivo el trastorno se denomina como la yema blanca (en maíz y sorgo), hoja moteada o frenching (cítricos) y la hoja falcada (cacao). Otros síntomas son clorosis y el achaparramiento de las plantas; también las hojas de los nuevos brotes muestran bandas amarillas a blanquizcas en la parte inferior de las hojas (Cornejo 1993).

La EPA y la Agencia internacional de investigación de cáncer, han clasificado al zinc como no carcinogénico. Sin embargo, la EPA recomienda que el agua no deba contener más de 5 ppm de zinc. Es un elemento esencial para la dieta. Tener un nivel bajo de zinc en el organismo causa problemas de salud, pero presentar niveles altos es dañino. El zinc es acumulable en peces, pero no en plantas.

La ingesta de cantidades de zinc, por cortos periodos, puede causar dolores de estómago, náuseas y vómitos. Si hay una exposición larga puede ocasionar anemia y daño en el páncreas.

La toxicidad del zinc dependerá de las condiciones ecológicas y de los tipos de hábitat, de manera que en cualquier evaluación del riesgo de los efectos potenciales del zinc en el organismo se debe tener en cuenta las condiciones del medio ambiente local. Todos los minerales esenciales, que incluyen cobre, zinc, cromo, molibdeno y selenio, interactúan en el metabolismo y cada uno puede afectar la absorción de los demás en un grado variable. La interacción del cobre y el zinc es probablemente la más importante, ya que el zinc puede competir directamente con el cobre por los mecanismos de transporte en el intestino. La excesiva ingestión del zinc puede contribuir a producir deficiencia de cobre en el ser humano (Cornejo 1993).

2.1.4. NO METALES.

2.1.4.1. Sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) después de los bicarbonatos, son los principales aniones presentes en el agua; los cuales pueden presentarse de manera natural o como consecuencia de descargas de aguas industriales y por la utilización de fertilizantes agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan de manera natural es posible que su origen se deba a algún depósito natural de minerales o por deposición atmosférica (Castro 2009).

Los sulfatos suelen ser sales solubles en agua a excepción de los de Pb, Ba y Sr por lo que se hayan profusamente repartidos en todas las aguas. El origen de este ión en las aguas se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de yesos (sulfato de calcio) sin olvidar las cantidades procedentes de la oxidación de los sulfuros. El fundamento de esta determinación es la reacción entre el anión sulfato y el catión Ba para formar un producto insoluble, que con ayuda de suspensión de goma arábica permanece en disolución un tiempo adecuado para su análisis. Los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen grandes cantidades de sulfatos (Andrenc 2011).

2.1.4.2. Nitratos.

Los nitratos son considerados como el producto final de la oxidación de los materiales nitrogenados. La cantidad de nitratos en aguas superficiales son por lo general inferiores a 5 ppm como NO_3 y no tienen efectos desfavorables para usos ordinarios, La contaminación del agua subterránea por nitratos producto de la fertilización excesiva o de la inadecuada disposición de las aguas residuales, tanto industriales como domésticas constituye un problema de actualidad, no sólo en los países en vías de desarrollo, sino también en los llamados desarrollados. Las consecuencias asociadas a este deterioro pueden repercutir sobre la salud de las comunidades a corto, mediano o largo plazo, de aquí la necesidad de tomar medidas a fin de disminuir la polución por los mismos, Pérez (1984).

Las plantas obtienen el nitrato a través del suelo. La capa arable del suelo puede tener un contenido de 2 - 60 ppm. Este contenido varía con la estación, ya que es muy soluble en agua y las aguas de lluvia o riego lo pueden arrastrar hacia el subsuelo (Del Puerto 2008).

2.1.4.3. Nitritos

La presencia de nitritos en el agua es indicativa de contaminación de carácter fecal reciente (catalán 1971). En general la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadas altas debido a la contaminación industrial y de aguas residuales domésticas (Albert 1990).

2.1.4.4. Definición de términos básicos

- Aguas residuales.

Es aquella que ha sufrido una alteración en sus características: física, química y biológica por la introducción de contaminantes como residuos sólidos biológicos, químicos, municipales industriales y agrícolas afectando así los ecosistemas acuáticos y su entorno (Novotny & Sánchez 2003).

- Contaminación.

Es todo cambio indeseable en las características del aire, agua, suelo o los alimentos afectando nocivamente la salud, la sobrevivencia o las actividades de los humanos u otros organismos vivos, (Seoanez 1995).

- Metales pesados.

Son elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio. Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros. Por otro lado, estos elementos se

presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (INECC 2012).

- **Suelo.**

Es un sistema heterogéneo conformado por elementos sólidos (orgánicos e inorgánicos), líquido y gaseoso, caracterizado por propiedades específicas adquiridas durante su evolución, confiriéndole la capacidad de poder satisfacer en mayor o menor medida las necesidades vitales de crecimiento para las plantas y otros organismos (Carranza 2001).

- **Control de la contaminación.**

Es todo aquel proceso o tratamiento para reducir el volumen o toxicidad de un contaminante (Carranza 2001).

- **Coliformes.**

Son bacterias de origen entérico que normalmente son capaces de fermentar la lactosa con producción de gas (Carranza 2001).

- **En los suelos**

Las plantas depuradoras de las aguas residuales domésticas, nos permite asegurar que los lodos presentan una cantidad más que suficiente, tanto como enmiendas, abono y mejorador de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. (Torres 1998).

La aplicación constante de aguas residuales en los suelos cultivados con pastos incremento significativamente los niveles de materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio , esto implica que hubo un efecto promisorio con el uso de las aguas residuales ya que estas contribuyeron a mejorar la fertilidad del suelo; sin embargo su uso prolongado incremento los contenidos de Cadmio y plomo en el suelo a niveles que pudiera implicar riesgos a la salud por la probable contaminación de los cultivos con metales pesados (Zamora 2008).

CAPÍTULO III.

3.1. HIPOTESIS.

Los niveles de los factores físicos, químicos y biológicos del sistema agua – suelo – planta de los caseríos La Victoria, Yanamarca y La Colpa, tienen correspondencia con los contenidos de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca y probablemente tienen efectos severos en las plantas, animales y los consumidores de éstas.

3.2. DISEÑO Y CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Los niveles de las concentraciones: físicos, químicos y biológicos del sistema agua – suelo – planta de los caseríos La Victoria, Yanamarca y La Colpa, tienen correspondencia con los contenidos de las aguas residuales de la ciudad de Cajamarca y probablemente tienen efectos severos en las plantas, animales y los consumidores de éstas.

3.3. PROCEDIMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACION.

3.3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en el departamento de Cajamarca, en los Andes del Norte del Perú.

La zona abarca los caseríos de la Victoria, Yanamarca, y la Colpa, terrenos regados con aguas procedentes de los ríos Mashcón, San Lucas y Chonta, a través de los canales,

Huacariz, Yanamarca-Rumichuco y la Colpa.

3.3.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área donde se desarrolló el trabajo de investigación se encuentra ubicada en los distritos de Cajamarca, Llacanora y Jesús, entre los 2,718 y 2,650 msnm. En las coordenadas UTM, 0774929-E, 9210160-N y 781772-E y 9203181-N, de la ciudad de Cajamarca, involucra principalmente a la cuenca hidrográfica del río Cajamarquino.

Las variables a evaluar fueron: Los indicadores de la calidad del agua están representados por los parámetros físicos (pH, Temperatura, turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica y caudal), químicos (Sulfatos, Nitritos, Nitratos y metales pesados, especialmente Aluminio, Hierro, Cobre, Cromo y Zinc), y biológicos (Coliformes totales y termo tolerantes).

Mapa 1. Ubicación del área de influencia del proyecto de investigación.



Fuente: Imagen satelital Google.

3.4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS

Las muestras serán No Probabilística o Muestras Dirigidas y suponen un procedimiento de selección no probabilístico basado en criterios de representatividad en un punto y momento dado, ya que el objeto de estudio son los probables efectos de las aguas residuales en el sistema agua – suelos – planta.

Este tipo de muestras presentan una utilidad para el diseño del estudio, que requiere una cuidadosa y controlada elección de puntos de monitoreo que posean ciertas características especificadas en el planteamiento del problema.

Las unidades de análisis corresponden a los puntos monitoreados de aguas residuales en los tres canales:

CANAL HUACARIZ.

Punto de monitoreo BCH-1.

Boca toma Canal Huacariz – 1, se encuentra ubicado en la bocatoma del canal Huacariz, margen derecha del río Mashcón, cuyas aguas proceden de la parte alta de la ciudad de Cajamarca.

Punto de monitoreo PO-2.

Punto Pozas de Oxidación – 2, Se encuentra ubicada agua abajo del canal Huacariz, debajo de las pozas de oxidación en propiedad del Sr. Francisco Sánchez Murga.

CANAL RUMICHUCO - YANAMARCA.

Punto de monitoreo BCRY-1.

Boca toma Canal Rumicucho Yanamarca – 1, Se encuentra ubicado en la bocatoma del canal Rumicucho Yanamarca, margen derecha del río Chonta, cuyas aguas discurren por el distrito de Baños del Inca, que proceden de la parte alta del CP de Otuzco, río grande.

Punto de monitoreo PCV-4.

Punto Canal la Victoria – 4, Se encuentra ubicado en el canal Rumicucho Yanamarca, altura de la carretera del fundo La Victoria, Propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca. Aguas procedentes del río Chonta.

Punto de monitoreo CY-5.

Canal Yanamarca - 5, se encuentra ubicado en el canal Rumicucho-Yanamarca, altura de la compuerta metálica en propiedad del Sr Felipe Murillo, cuyas aguas procedentes del río Chonta.

CANAL LA COLPA.

Punto de monitoreo BCLC-1.

Bocatoma Canal La Colpa - 1, esta se encuentra ubicado en la bocatoma del canal La Colpa, aguas procedentes del río San Lucas y del río Mashcón, los cuales discurren por el canal que conduce las aguas al caserío de la Colpa, dicho punto de monitoreo se encuentra debajo del puente a los Baños del Inca.

Punto de monitoreo CLC-2.

Canal La Colpa - 2, se encuentra ubicado en la parte final del canal de la Colpa ubicada en la propiedad del Sr. Catalino Misahuamán Canto, aguas procedentes del río San Lucas y del río Mashcón.

MONITOREO DE AGUAS DE MANANTIALES

Punto de monitoreo PF-1.

Pozo Francisco - 1, se encuentra ubicado en la propiedad del Sr. Francisco Sánchez

Murga, parte baja de las pozas de oxidación.

Punto de monitoreo MES-1.

Manantial El Sauce - 1, se encuentra ubicado en la propiedad del Sr. Javier Valdivia

Huayac, parte baja de las pozas de oxidación a 200 metros del canal Huacariz.

Punto de monitoreo MI-1.

Manantial Ingapila - 1, se encuentra ubicado en la parte baja de la Plaza Pecuaria cruce al distrito de Jesús, sector Yanamarca.

MONITOREO DE SUELOS Y RYE GRASS

Puntos de monitoreo son: PO-2, PVC-4, CY-5, CLC-2 y PES-1.

Mapa 2. Puntos de monitoreo en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y La Colpa



3.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar cuál es el probable grado de contaminación al sistema agua - suelo - planta y tomar medidas de mitigación y control de los contaminantes que las empresas y microempresas de Cajamarca vienen contaminando en forma progresiva el medio ambiente, además, con los resultados obtenidos tanto la DESA, ALA, y otras instituciones que tiene que velar por el bienestar de la salud de las personas, deben tomar medidas correctivas.

Dado el alto índice de enfermedades gastrointestinales debidas a los crecientes niveles de contaminantes presentes en las aguas residuales, es importante que se tomen medidas correctivas para minimizar su impacto en la salud de la población y específicamente en el sistema agua - suelo - planta de los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa del distrito de Cajamarca, cabe indicar que hasta la fecha no existe trabajos de investigación sobre este tema en Cajamarca.

Las aguas residuales tienen gran cantidad de agentes contaminantes, especialmente de tipo biológico, como los coliformes totales, fecales, que afectan a la Demanda Biológica de Oxígeno

(DBO) y Oxígeno Disuelto; y otros de naturaleza química, como los metales pesados (Cromo, Aluminio, Cobre, Zinc y Hierro), que trastornan el metabolismo de los seres vivos, especialmente plantas; siendo por lo tanto social, económica y ambientalmente justificable el inicio de investigaciones que nos permitan cuantificar el impacto ambiental de las aguas residuales generadas en la ciudad de Cajamarca, en el sistema agua – suelo - planta en los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa.

3.6. DISEÑO Y LAS TECNICAS DE INVESTIGACION

Método descriptivo comparativo.

3.7. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.7.1. Materiales y método.

A. Materiales y equipos utilizados en la investigación.

a. Materiales

- Ácido nítrico (HNO_3), para preservar muestras de metales totales.
- Soluciones estándar para calibrar equipos (Buffer).
- Botellas de polipropileno de alta densidad para análisis de metales totales.
- Frasco con agua destilada.
- Papel absorbente.
- Baldes.
- Guantes descartables.
- Conservadora para transportar las muestras.

b. Equipos:

- PH-metro WTW 82362 - 3210, de fabricación Alemana.
- Conductímetro HACK
- Turbidímetro HACK COMPANY CE 3054010.
- GPS, 12 CHANNEL.
- Cámara fotográfica, Kodak. 10 pixel

c. Etapa de laboratorio

Las muestras fueron enviadas al laboratorio de Lima (Envirolab. Perú SAC), para su análisis Físico Químicos y Bacteriológico a la DIGESA Lima y DESA Cajamarca.

3.7.2. MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES.

Se tomó como referencia al protocolo de monitoreo de aguas, publicado por la DESA – Cajamarca (1999). De modo semejante, se determinó las características físico-químicas del suelo, se realizó el análisis correspondiente, siguiendo el protocolo establecido por el INIA-Baños del Inca (1992). Para el primer caso, cada fin de mes y por espacio de un año, se recolectaron las muestras de agua residuales de los tres canales ubicados en siete (7), puntos de monitoreo, tres (3) puntos de monitoreo en cuerpos de agua especialmente en manantiales, (Tabla 6), cinco (5), las muestras recolectadas de suelos y plantas se determinaron de acuerdo a la ubicación representativa de estos (Tabla 7), los puntos de muestreo fueron de fácil acceso, en el recorrido de los canales Huacariz, Yanamarca – Rumicucho y La Colpa. Los puntos de monitoreo fueron geo referenciados con un sistema de posicionamiento satelital (GPS).

La toma de muestras de suelos se realizó en 5 puntos ubicados de forma estratégica siendo en el caserío: La Victoria, Yanamarca y la Colpa, cuyos terrenos son regados con aguas residuales, comparando estas con muestras de suelos cuyos terrenos no son regadas con aguas residuales, las muestras de plantas de rye grass, se realizaron en los mismos puntos de muestreo de suelos.

Tabla 6. Estaciones de monitoreo de las aguas residuales.

Código de campo	Origen de la fuente	Punto de muestreo	Localidad	Distrito	Departamento	Altitud msnm.	UTM		Observaciones
							Este	Norte	
BCH - 1	Río Mashcón	Bocatoma	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2,718	774929	9210160	Naciente Canal Huacariz
PO - 2	Canal Huacariz	Deb. Posas de oxidación	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2694	777260	9208031	Francisco Sánchez Murga
BCRY-1	Río Chonta	Bocatoma	Baños del Inca	Cajamarca	Cajamarca	2671	779885	9206828	Naciente Canal Yamarca - Rumicucho.
BCLC-1	Río San Lucas Mashcón	Bocatoma	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2,705	774920	9210120	Puente a baños del Inca
PCV-4	Canal Yanamarca Rumicucho	La Victoria	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2665	780298	9204576	Fundo UNC - Puente
CY-5	Canal Yanamarca Rumicucho	Yanamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2661	782875	9202995	Compuerta Metal - Felipe Murillo
CLC-2	Canal La Colpa	Colpa	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2660	782968	9201448	Catalino Misahuamán Canto
PF-1	Pozo subter	Deb. Posas de oxidación	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2693	777259	9208029	Francisco Sánchez Murga
MES-1	Manantial El Sauce	Deb. Posas de oxidación	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2694	777445	9208011	Javier Valdivia Huayac
MI-1	Manantial Ingapila	Iscoconga	La Colpa- Jesús	Llacanora	Cajamarca	2650	781772	9203181	Santos Mantilla Huamán

Fuente: Elaboración propia

Nota:

BCH – 1: Bocatoma canal Huacariz.

PO. : Punto debajo de las pozas de oxidación.

BCRY - 1: Bocatoma canal Rumicucho-Yanamarca.

BCLC - 1: Boca toma canal La Colpa.

PCV – 4 : Punto canal la Victoria – UNC.

CY- 5 : Canal Yanamarca.

CLC – 2 : Canal la Colpa.

PF – 1 : Pozo subterráneo Francisco.

MES -1 : Manantial Punto El Sauce.

MI : Manantial Ingapila.

Tabla 7. Estaciones de monitoreo de suelos y pastos

Código de campo	Origen de la fuente	Punto de muestreo	Localidad	Distrito	Departamento	Altitud msnm.	UTM		Observaciones
							Este	Norte	
PO - 2	Canal Huacariz	Deb. Posas de oxidación	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2694	777260	9208031	Francisco Sánchez Murga
PCV-4	Canal Yanamarca Rumicucho	La Victoria	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2665	780298	9204576	Fundo UNC - Puente
CY-5	Canal Yanamarca Rumicucho	Yanamarca	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2661	782875	9202995	Compuerta Metal - Felipe Murillo
CLC-2	Canal La Colpa	Colpa	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2660	782968	9201448	Catalino Misahuamán Canto
PES-1	Manantial El Sauce	Deb. Posas de oxidación	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	2694	777445	9208011	Javier Valdivia Huayac

Fuente: Elaboración propia.

Método: Para realizar el monitoreo de las aguas de riego de los canales, manantiales, suelos y plantas, se tuvo en cuenta la representatividad y la accesibilidad a los lugares identificados de monitoreo, los análisis físicos se realizó en campo en cada punto muestreado (Insitu), se contó con equipos de análisis de: pH, conductividad eléctrica, turbidez, temperatura, En químicos se recolectaron las muestras de aguas en los diferentes puntos muestreados en botellas de polipropileno de alta densidad de 500 ml., para análisis de metales totales, agregándose 20 gotas de ácido nítrico, para su conservación de la muestra, llevándose al Laboratorio acreditado Envirolab Perú SAC. A la ciudad de Lima, dentro de las 72 horas, las muestras para análisis microbiológicos de aguas y plantas fueron llevadas al laboratorio de la DESA Cajamarca en frascos de 250 ml., de vidrio y boca ancha, y en bolsas especiales para las muestras de vegetales, para los análisis de suelos las muestras fueron llevadas al laboratorio del INIA-Baños del Inca - Cajamarca, en bolsas plásticas previamente identificadas, en cada punto de monitoreo, se verifico las coordenadas y se tomaron fotografías del trabajo de investigación.

I. A. PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS.

- Se revisó y verifico la operatividad de los equipos de muestreo.
- Para medir el pH y temperatura, se utilizó un potenciómetro marca: WTW 82362 - 3210, de fabricación alemana.
- Para medir la conductividad eléctrica se utilizó un equipo llamado Conductivímetro HACK.
- Para la turbidez, se utilizó el Turbidímetro HACK COMPANY CE 3054010.
- Se aseguró que los equipos estén calibrados para tomar medidas de pH más exactas
- Se recomendó que el electrodo se mantenga siempre húmedo y enjuagado completamente con agua destilada y luego con la muestra antes de ser usado.

- La lectura del pH es directamente afectada por la temperatura. Para medir con precisión el pH, debe tomarse en cuenta la temperatura. Si la temperatura de la muestra es muy diferente de la temperatura a la que ha sido almacenado el electrodo, deje que pasen unos minutos para que alcance un perfecto equilibrio entre ellos.
- La medida de la conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, pH, temperatura y turbidez se utilizó los equipos líneas arriba indicados.
- Se aseguró que los equipos estén calibrados antes de efectuar cualquier medición.
- Para hacer la medición, se colocó el electrodo en la solución a ser medida con los electrodos completamente sumergidos.
- Se agitaron los electrodos para remover las burbujas de aire que pueden estar atrapadas dentro de la cobertura del electrodo.
- Luego se encendió el instrumento.
- Se presionó RANGO hasta seleccionar el modo de conductividad.
- El equipo es un medidor de auto rango y la lectura cambia automáticamente de un rango a otro.
- La colección de las muestras de agua, se usó baldes y vasos de 150 ml de capacidad. Se introdujo el balde y vasos en la corriente de agua, se enjuagaron tres veces y luego se colectó la muestra para las determinaciones físicas que correspondientes. Con estos mismos criterios, pero usando una botella de polipropileno de alta densidad, se colectó 500 mL, de muestra de agua para metales pesados adicionando como preservante ácido nítrico 20 gotas, se selló herméticamente la botella, y las muestras fueron codificadas y depositadas en una caja de tecnopor, luego se colocó ice pack para la conservación de la muestras y se enviaron al laboratorio acreditado de Lima

(ENVIROLAB PERÚ SAC.), para determinar los parámetros tanto físico químicos, biológicos y químicos.

- Para determinar los parámetros biológicos las muestras se colectaron en frascos estériles de vidrio de 250 mL de capacidad. Colectadas las muestras los frascos fueron herméticamente sellados, codificados y se enviaron al laboratorio.
- Se hizo llegar las muestras al laboratorio acreditado previamente identificado por la DESA-Cajamarca, lo más pronto posible, con tiempo límite de 72 horas.
- Conforme se fueron recolectando las muestras, se completó el formato de custodia

I. B. PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

- El laboratorio nos proporcionó los envases limpios de muestreo, así como también las cajas de tecnopor, los preservantes y los ice pack.
- Recuerde que muchos preservantes pueden lastimar los ojos y la piel, por lo que deben ser manejados con mucho cuidado.
- Se etiquetó los envases especificando la hora, fecha, código de la muestra, el tipo de preservante químico agregado, de acuerdo al tipo de análisis a realizarse, esto es necesario porque hay que tener cuidado en no sobrellenar al momento de tomar la muestra y para obtener resultados realmente confiables

I. C. TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS AL LABORATORIO.

Las muestras fueron llevadas por el tesista al laboratorio de Lima, Envirolab. Perú SAC., en una caja de tecnopor y los ice pack (hielo), para su conservación, para finalmente realizar el análisis respectivo.

II. Análisis microbiológico.

Para el análisis microbiológico de las aguas de los canales de riego, manantiales y de plantas, recolectadas de los diferentes puntos de monitoreo fueron tomadas en condiciones de asepsia, realizándose el método que a continuación se indica.

Para Coliformes totales y Coliformes termotolerantes A.

Agua.

Las técnicas empleadas para la determinación de coliformes totales y coliformes termotolerantes en agua fueron dos: El método estandarizado de tubos múltiples (NMP) y el recuento en placa.

a. Método estandarizado de tubos múltiples (Número Más Probable)

La determinación del número de coliformes y termotolerantes, mediante siembra de distintos volúmenes del agua a analizar (10 mL, 1 mL, 0,1 mL), en 3 series de 5 tubos de ensayo con medio de cultivo y una campana Durham para recolección de gases, como prueba presuntiva de confirmación.

1. Equipos y material empleado

Los equipos y el material empleados para esta determinación fueron:

* Esterilizador a vapor tipo vertical, Modelo: HL-340, temperatura ajustable de 121 ° C a

132 ° C, temporizador de 0 a 60 minutos

- * Balanza analítica, Modelo BBL-31 Marca Boeco, Capacidad 210 gr / precisión de 0.0001 gr.
- * Esterilizador por calor seco marca memmert, modelo 400 ulm, temperatura regulable de 30° C a 220° C
- * Baño María marca memmert, modelo WPE 45, temperatura regulable de 10° C a 95° C
- * Baño María marca memmert, modelo WB 14, temperatura regulable de 10° C a 95° C
- * Mechero de bunsen
- * Pinzas estériles
- * Frascos de vidrio por 250 mL autoclavables
- * Tubos de ensayos de 16 x 150 mm
- * Campanas Durham 6 x 35 mm
- * Pipetas vidrio de 10 mL y 1 mL

2. Medios de cultivo y reactivos

- * Caldo Lauril Triptosa
- * Caldo Lactosado verde brillante bilis 2% (BRILA)
- * Caldo EC con Mug.
- * Agua destilada

3. Condiciones de operación

Esterilidad

- * Incubación a 35 °C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 24 h a 48 h (± 3 h) para Coliformes totales.
- * Incubación a 44.5 °C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) durante 24 h (± 3 h) para Coliformes termotolerantes.

4. Lectura e interpretación

Se consideran tubos positivos aquellos en los que se observaba enturbiamiento y aparición de gas en la campana de fermentación (campana Durham), independientemente de su cantidad.

b. Recuento de coliformes en placa, Según método estándar.

Detección de Coliformes Totales por Filtro de Membrana y método estándar

Detección de Coliformes Fecales por Filtro de Membrana

Método para detección y recuento en placa de coliformes totales en aguas por filtración en membranas y siembra en masa o doble capa.

Para este tipo de determinación no se realizó ninguna dilución. Se filtró directamente un volumen de 100 mL del agua problema.

1. Medios de cultivo y reactivos

- * Membrana de Nitrocelulosa 0.45 μ de poro.
- * Medio de cultivo Agar m-ENDOLES. (Coliformes totales)
- * Medio de cultivo Agar M-FC. (Coliformes termotolerantes)
- * Agua destilada

2. Condiciones de operación

Esterilidad

- * Incubación a 35 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 24 h a 48 h (± 3 h) para Coliformes totales.
- * Incubación a 44.5 °C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) durante 24 h (± 3 h) para Coliformes termotolerantes.

3. Identificación

- * Colonias color violeta rodeadas o no de halo de precipitación para coliformes totales.
- * Colonias color azules para coliformes termotolerantes.

5.3. Monitoreo de plantas. (Rye Grass).

La técnica empleada para la determinación de coliformes totales y coliformes termotolerantes en Plantas fue el recuento en placa usando el método ISO 4832:2006 que da orientaciones generales para la enumeración de coliformes. Es aplicable a los productos destinados para el consumo humano y para la alimentación de los animales y muestras ambientales en el área de producción de alimentos y la manipulación de alimentos, mediante la técnica de recuento de colonias después de la incubación en un medio sólido a 30 °C o a 37 °C. Esta técnica se recomienda cuando el número de colonias buscado se espera que más de 100 por mililitro o por gramo de muestra de la prueba.

1. Equipos y material empleado

Los equipos y el material empleados para esta determinación fueron:

- * Esterilizador a vapor tipo vertical, Modelo: HL-340, temperatura ajustable de 121 ° C a 132 ° C, temporizador de 0 a 60 minutos
- * Balanza analítica, Modelo BBL-31 Marca Boeco, Capacidad 210 gr/precisión de 0.0001 gr.
- * Agitador magnético digital con calefacción, Modelo: Cimarec, Marca: THERMO SCIENTIFIC, Rango de temperatura: 5° a 540°C, Velocidad ajustable de 50 a 1200 rpm.
- * Esterilizador por calor seco marca memmert, modelo 400 ulm, temperatura regulable de 30° C a 220° C

* Incubadora marca memmert, modelo BE 400, temperatura regulable de 30° C a 70° C *

Estufa de cultivo marca MMM – INCUCCELL, modelo LSIS IC111, temperatura regulable de 10° C a 70° C

* Baño María marca memmert, modelo WPE 45, temperatura regulable de 10° C a 95° C

* Baño María marca memmert, modelo WB 14, temperatura regulable de 10° C a 95° C

* Contador de colonias Marca Rocker, modelo Galaxy 230, Lectura de 0 a 9999,

Aumento de 2X a 3X

* Equipo de filtración Marca Pall, acero inoxidable con manifold de tres plazas.

* Pipetas vidrio de 10 mL y 1 mL

* Frascos de vidrio por 250 mL autoclavables.

* Placas Petri de vidrio 50 mm x 15 mm.

* Matraz Erlenmeyer de 250 ml.

* Mechero de bunsen

* Pinzas estériles.

* Muestras de Plantas (Rye Grass).

2. Medios de cultivo y reactivos

* Solución Salina Peptonada

* Medio de cultivo Agar m-ENDOLES. (Coliformes totales)

* Medio de cultivo Agar M-FC. (Coliformes termotolerantes)

* Agua destilada

3. Condiciones de operación

Esterilidad

- * Incubación a 35 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 24 h a 48 h (± 3 h) para Coliformes totales.
- * Incubación a 44.5 °C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) durante 24 h (± 3 h) para Coliformes termotolerantes.

4. Identificación

- * Colonias color violeta rodeadas o no de halo de precipitación para coliformes totales.
- * Colonias color azules para coliformes termotolerantes.

CAPÍTULO IV.

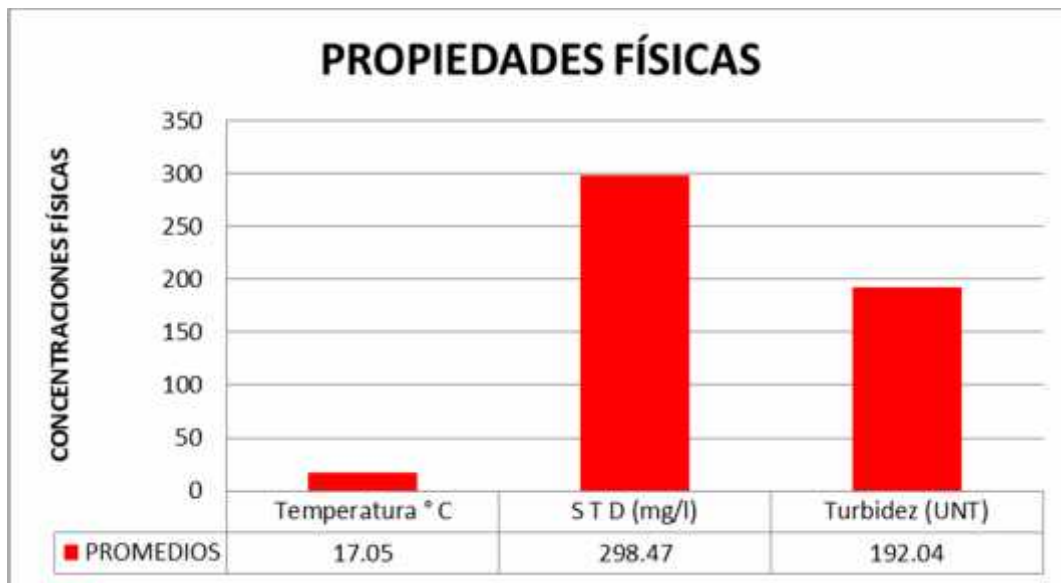
4.1 RESULTADO Y DISCUSIONES 4.1.1.

EFFECTOS EN EL SISTEMA AGUA

a. CONCENTRACIONES FÍSICAS Y EFECTOS EN EL SISTEMA AGUA.

Estas concentraciones indican los valores identificados en los diferentes puntos de monitoreo de: Temperatura, Solidos totales disueltos, Turbidez, generando valores promedios de las mediciones respectivas.

Grafico 1. Promedio de las propiedades físicas de las aguas de riego.



Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones en cantidades de T °C de 17.05, Solidos Totales Disueltos en, 298.47 mg/l. y la Turbidez en 192.04 UNT, no tienen efectos negativos en el agua de riego debido que el MINAM, y la FAO, no consideran valores de LMP para aguas de riego y bebida de animales domésticos. Asimismo, se describen algunas características de las propiedades físicas:

- La Temperatura.

De acuerdo a la Prueba de Duncan, esta variable indica una media de 17.05, una desviación estándar de 2.154, una varianza de 4.640, y un coeficiente de variabilidad de 11.79, una temperatura mínima registrada de 15.60.

CEPIS 2004, indica que la temperatura en las aguas subterráneas naturales varía solo ligeramente en su promedio anual, mientras que en aguas superficiales fluctúan de acuerdo con las estaciones del año, Osorio 2001, indica que la temperatura es una de las variables que más afecta la disolución del oxígeno. A mayor temperatura del agua, mucho menor será la cantidad de oxígeno.

ETAP, 2001, La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales, esta afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual.

En el trabajo de investigación los valores encontrados fueron entre: los 17.8°C PF-1 y 21.8 °C. MI-1., encontrándose en los niveles aceptables para nuestro medio.

- Sólidos totales disueltos (mg/l)

Esta variable indica que los Sólidos totales disueltos, tiene una media de 298.5, una desviación estándar de 163.5, una varianza de 26738.0, y un coeficiente de variabilidad de 54.78, los sólidos totales disueltos mínimos registrados de 112.7.

ETAP, 2001, Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaerobias cuando se vierten aguas residuales sin tratar al entorno acuático.

Para nuestro caso estos se encuentran entre los niveles de 382 mg/l en el punto MI-1 y 576 mg/l en el punto de monitoreo PF-1., cuyos resultados nos indican que se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

- **Turbidez (UNT).**

Esta variable indica para la turbidez, tiene una media de 192.0, una desviación estándar de 136.5, una varianza de 18639.7, y un coeficiente de variabilidad de 71.09, una turbidez mínima registrado de 0.5.

Carranza 2001, manifiesta que la turbidez, se debe a la presencia de partículas debido a un tratamiento insuficiente o como consecuencia de la suspensión de un material extraño arcillas, materias orgánicas, inorgánicas y algunos microorganismos, que dan las características de las aguas residuales.

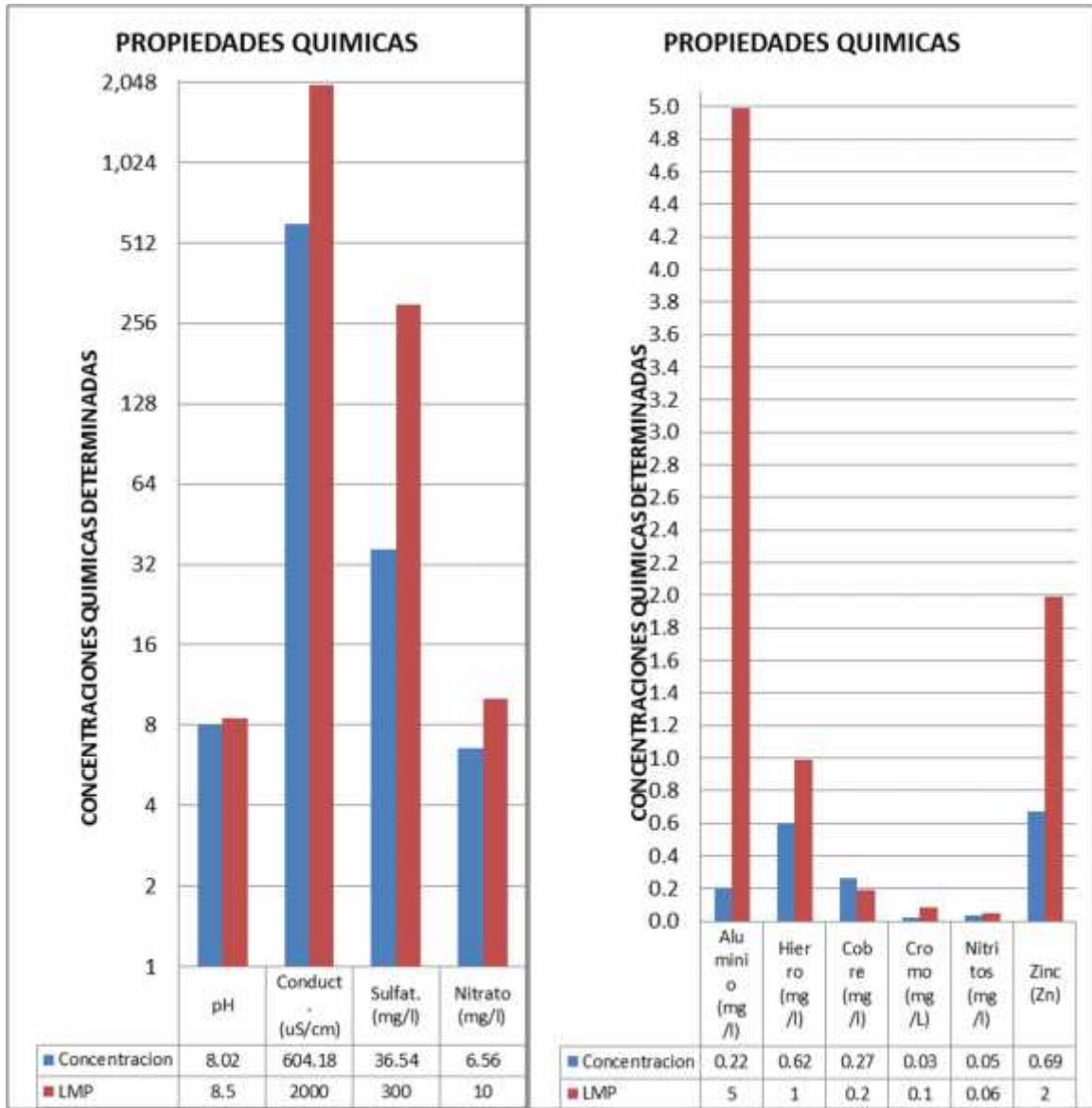
El D.S. 002-2008 – MINAN, no dan valores de turbidez, estando esta característica influenciado por la cantidad de descargas domésticas, industriales, etc. Por efectos antropogénicas estando entre 0.45 y 435 UNT, en los diferentes puntos de monitoreo. En el trabajo de investigación realizada este parámetro se halló entre: 0.45 UNT punto PF-1 y 192 UNT punto MI-1.

b. CONCENTRACIONES QUÍMICAS Y EFECTOS EN EL SISTEMA AGUA.

Las concentraciones Químicas indican los valores identificados en los diferentes puntos de monitoreo de: pH, Conductividad eléctrica, Sulfatos, Nitratos, Aluminio, Hierro,

Cobre, Cromo, Nitritos y Zinc, respectivas.

Grafico 2. Concentraciones de las propiedades Químicas de las aguas de riego



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar las concentraciones químicas identificadas la mayoría de ellas no tiene efectos negativos en las aguas de riego, a excepción del **Cobre** que las concentraciones de este metal sobrepasa los LMP, estipulados por el MINAM cuyos efectos son a nivel de los cultivos se detecta en suelos orgánicos ácidos con el desarrollo raquíctico de las plantas inhibiendo la absorción de nutrientes por la precipitación de estas y en la bebida de animales domésticos, produce trastornos gastrointestinales y hepáticos, niveles de cobre sobre 0.6 mg/L, pueden resultar en daño hepático en las vacas lecheras.

- pH.

Esta variable indica que el pH tiene una media de 8.016, una desviación estándar de 0.487 pH, una varianza de 0.237 pH², y un coeficiente de variabilidad de 6.07%, el pH mínimo registrado es de 7.300.

Dupchak 2005. Manifiesta que el pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes, para que el aparato radical pueda absorber los distintos nutrientes, éstos obviamente deben estar disueltos. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas, asimismo el D.S. 002-2008 – MINAN, dan valores de pH, entre 6.5 a 8.5 para el uso de agua de categoría III, para riego y bebida de animales, encontrándose los niveles de pH dentro de estos rangos en los diferentes puntos de monitoreo.

En el trabajo de investigación realizada este parámetro se halló dentro de los LMP. Siendo entre 7.3 en el punto MI-1 y 8.63 en el punto BCYR-1, no afectando al agua de riego.

- Conductividad eléctrica (uS/cm).

Esta variable, indica que la conductividad eléctrica, tiene una media de 604.2, (uS/cm), una desviación estándar de 319.5, una varianza de 102104.4, y un coeficiente de variabilidad de 52.89, la conductividad eléctrica mínima registrado es de 235.

La OMS 1990, En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución esté tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y manifiesta que conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad. Mientras más dura (presencia de carbonatos de calcio y magnesio), el agua mucho mayor será su conductividad, además el MINAN, dan valores de conductividad < 2000 uS/cm, para el uso de agua de categoría III, encontrándose estos niveles por debajo del LMP, en los diferentes puntos de monitoreo, Para nuestro caso este

parámetro se halló entre: entre 725 uS/cm. En los puntos de monitoreo MI y 1170 uS/cm. PF-1 no afectando al agua de riego.

- **Sulfatos SO₄ (mg/l).**

Esta variable indica que tiene una media de 36.54 mg/l, una desviación estándar de 16.55, una varianza de 273.80, un coeficiente de variabilidad de 45.29, una presencia de sulfatos mínimo registrado de 16.00, según la prueba de Duncan.

Castro 2009, manifiesta que los sulfatos pueden presentarse de manera natural o como consecuencia de descargas de aguas industriales y por la utilización de fertilizantes agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan de manera natural es posible que su origen se deba a algún depósito natural de minerales o por deposición atmosférica, Andrenc 2011, manifiesta que los sulfatos se encuentran en las aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones. Las aguas de minas y los efluentes industriales contienen grandes cantidades de sulfatos. Resultados encontrados que los niveles de este elemento se encuentran por debajo de los LMP. En el trabajo realizado este parámetro se halló entre:

16 mg/l en el punto MI-1 y 56.4 mg/l en el punto PO-2, no afectando al agua de riego.

- **Nitratos NO₃ (mg/l).**

En la variable siguiente indica que tiene una media de 6.56, una desviación estándar de 7.48, una varianza de 56.01, un coeficiente de variabilidad de 114.13, una presencia de nitratos mínimos registrado de 0.70.

Pérez (1984). El nitrato es una de las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas.

El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico desnitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/L.

El nitrato es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento de estos, Del Puerto (2008). Los resultados nos indican que los niveles se encuentran por encima de los LMP. De la legislación peruana de aguas, en el trabajo de investigación este parámetro se encontró entre: 18.4 mg/l PO-2, 16.2 mg/l PO-2 y 18.4 mg/l PO-2 en el punto de monitoreo, han superado los LMP de 10 mg/l, según el MINAM para aguas de la categoría III. Afectando a los animales que beben estas aguas.

- **Aluminio (mg/l)**

Esta variable indica que el aluminio tiene, una media de 0.2153 mg/l, una desviación estándar de 0.2095, una varianza de 0.0439, y un coeficiente de variabilidad de 97.35, una presencia de aluminio mínima registrado de 0.0310.

En la revista Lenntech 1998, manifiesta que la toxicidad por aluminio limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos reduciendo la profundidad de las raíces, e interfiere con la absorción, transporte y uso de varios elementos esenciales incluyendo Cu, Zn, Ca, Mg, Mn, K, P y Fe. Afecta la absorción de calcio en las plantas produciendo encrespamiento o enrollamiento de las hojas jóvenes y causa también daños morfológicos a algunos órganos vegetales.

El MINAM, dan valores de aluminio en las aguas de riego de 5 mg/l, encontrándose valores por debajo de los LMP, en los diferentes puntos de monitoreo con un valor mínimo de 0.031 mg/l, MI, un valor máximo de 0.651 mg/l PO-2, no afectando al agua de riego.

- **Hierro Fe (mg/l)**

Esta variable indica que tiene, una media de 0.615, una desviación estándar de 0.692, una varianza de 0.479, y un coeficiente de variabilidad de 112.43, una presencia de hierro mínima registrado de 0.221.

La revista Lenntech 1998, manifiesta que el hierro en medio acuático no es nocivo al estar en bajo contenido, pero suele serlo en presencia de altas concentraciones. Para las truchas con valores de pH en agua de 6,5 a 7,5 y concentraciones de 0,9 mg/l de hierro, es de efecto mortal.

El MINAM, dan valores de hierro en las aguas de riego de 1 mg/l encontrándose valores mínimos de 0.221 mg/l en (BCYR-1, un máximo de 2.6 mg/l BCH-1, **superando** este último los valores de LMP, mientras que en el resto de puntos de monitoreo están por debajo de los LMP. No afectando al agua de riego de vegetales y bebida de animales.

- **Cobre Cu (mg/l)**

En la variable indica que este metal tiene, una media de 0.2727, una desviación estándar de 0.2494, una varianza de 0.0622, y un coeficiente de variabilidad de 91.46, una presencia de cobre mínimo registrado de 0.0130.

Thornton 1993, manifiesta que este metal, puede producir efectos tóxicos, principalmente trastornos gastrointestinales y hepáticos. Hay sugerencias que niveles de cobre sobre 0.6 mg/L, pueden resultar en daño hepático en las vacas lecheras.

El MINAM, dan valores para el cobre en las aguas de riego de 0.2 mg/l, para nuestro caso este parámetro ha superado los LMP, de 0.2, siendo el valor mínimo 0.013 mg/l el punto BCH-1, un valor máximo de 0.735 mg/l en el mismo punto de monitoreo. Afectando las aguas de riego y bebida de animales.

- **Cromo Cr₆ (mg/l)**

Esta variable indica, que el cromo tiene una media de 0.03164, una desviación estándar de 0.02672, una varianza de 0.00071, y un coeficiente de variabilidad de 84.47, una presencia de cromo mínimo registrado de 0.00200.

CEPIS 2004, manifiesta que su presencia del cromo puede estar asociada a descargas de desechos industriales y por lo general se encuentran en las aguas superficiales, lo que nos indica que en todos los puntos de monitoreo hay la presencia de cromo y es debido a las descargas industriales teniendo en consideración que el LMP es de 0.1 mg/L. en el trabajo de investigación se hallaron valores mínimos de 0.002 mg/l en el punto PO-2 y un máximo de 0.091 mg/l en el mismo punto de monitoreo no superando los LMP, lo que significa que no afecta a las aguas de riego.

- **Nitritos NO₂ (mg/l)**

Esta variable indica que tiene una media de 0.04837, una desviación estándar de 0.02811, una varianza de 0.00079, un coeficiente de variabilidad de 58.11, una presencia de nitritos mínimos registrado de 0.00250.

La presencia de nitritos en las aguas es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente (Catalán L. et al., 1971, Metcalf y Eddy 1998), asimismo cabe resaltar que el nitrito se halla en estado de oxidación intermedio entre el amoníaco y el nitrato, en general la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadas altas debido a la contaminación industrial, y de aguas residuales domésticas (Albert, 1990). En el presente trabajo de investigación se hallaron niveles de: 0.06 mg/l, con valores de 0.1005 mg/l en el punto de monitoreo BCH-1, 0.0667mg/l en el punto PO-2, 0.0639 mg/l en el punto CY-3, 0.0628 mg/l en el punto de monitoreo PO-2 y 0.0667 mg/l y en el mismo punto PO-2. No afectando al agua de riego y bebida de animales.

- Zinc (mg/l)

En la variable siguiente indica que tiene una media de 0.6852, una desviación estándar de 0.2813, una varianza de 0.0791, y un coeficiente de variabilidad de 41.05, una presencia de zinc mínimo registrado de 0.0550.

Cornejo 1993, manifiesta que los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en los cultivos son la reducción del tamaño de las hojas, clorosis y el achaparramiento de las plantas; también las hojas de los nuevos brotes muestran bandas amarillas a blanquizas en la parte inferior de las hojas.

La EPA recomienda que el agua no deba contener más de 5 ppm de zinc, asimismo el LMP es de 2 mg/L, para el MINAM, dan valores para el Zinc en las aguas de riego de 2 mg/l. resultados nos indica que este elemento se encuentra por debajo de los LMP.

En el presente trabajo de investigación se hallaron valores mínimo de 0.055 mg/l en el punto de monitoreo PO-2 y un valor máximo de 1.039 mg/l en el punto de monitoreo BCH-1, **no** superando los LMP de 2 mg/l., no afectando al agua de riego y bebida de animales.

Cuadro 1. Resultados de los análisis físicos químicos de los cuerpos de agua afectados por las aguas residuales

Característica	BCH-1	PO-2	BCYR-1	PO-2	BCYR-1	MI-1	BCYR-1	CLC-2	BCYR-1	PO-2	PF-1	LMP
pH	8.6	7.5	8.26	7.88	8.38	7.3	8.63	8.55	7.9	7.6	7.58	6.5-8.5
Conductividad (uS/cm.	354	881	235	577	291	785	365	1050	495	443	1170	< 2000
Sólidos Totales Disueltos STD (mg/l)	170.2	481	112.7	280	139.7	382	175.6	516	238	212	576	580
Turbidez (UNT)	435	304	348	126	234	192	73	252	42	106	0.45	260
Aluminio AL (mg/l)	0.079	0.08	0.095	0.651	0.261	0.031	0.263	0.568	0.0808	0.164	0.095	5
Sulfatos SO4 (mg/l)	53.7	56.4	40	54.4	38	16	25	22	22	56.4	18	300
Hierro Fe (mg/l)	2.6	0.635	0.348	0.805	0.278	0.238	0.221	0.226	0.32	0.75	0.348	1
Cobre Cu (mg/l).	0.735	0.625	0.194	0.013	0.154	0.124	0.174	0.106	0.094	0.587	0.194	0.2
Cromo Cr6+ (mg/L)	0.013	0.091	0.029	0.002	0.022	0.022	0.022	0.024	0.019	0.075	0.029	0.1
Nitritos NO2- (mg/l)	0.1005	0.0667	0.0639	0.0628	0.054	0.022 0.0025	0.028	0.022	0.045	0.0667	0.02	0.06
Nitrato NO3- (mg/l)	8.7	18.4	2.4	16.2	2.25	1.25	1.4	1.2	1.23	18.4	0.7	10
Zinc (Zn)	1.039	0.91	0.8	0.055	0.423	0.78	0.72	0.9	0.42	0.71	0.78	2
Caudal (l/s).	80	80	120	80	80	3	80	40	120	80	1	80
Temperatura °C	13.6	13.7	14.2	15.6	17	20.8	18.5	19.4	21.3	15.7	17.8	17.05

Fuente: Elaboración propia 2014.

Cuadro 2. Estadística descriptiva para el análisis físico químico “Prueba de Duncan”.

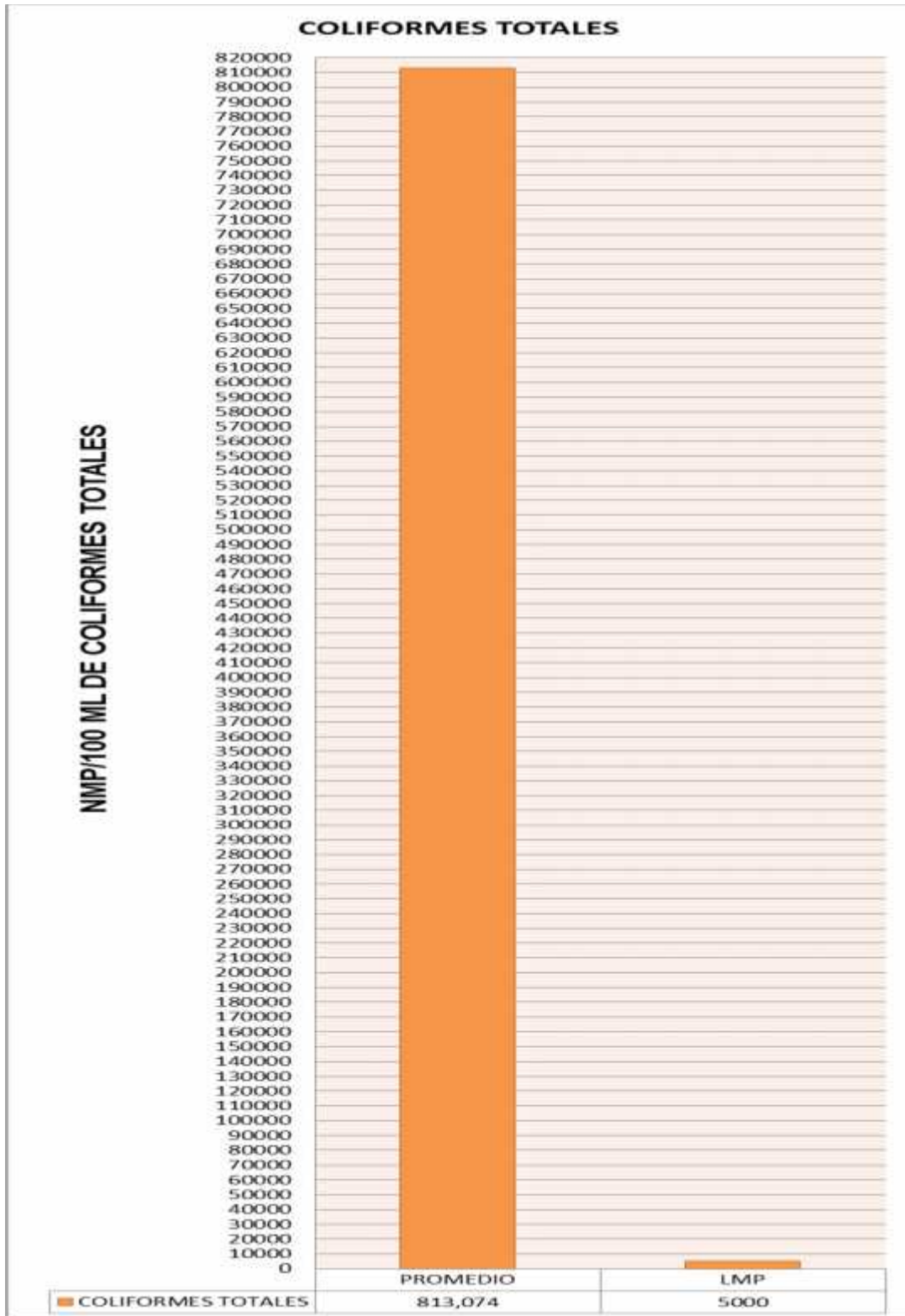
Variable	N	Media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var	Mínimo
pH	11	8.016	0.487	0.237	6.07	7.3
Conductividad (uS/cm.	11	604.2	319.5	102104.4	52.89	235
Sólidos Totales Disuelto	11	298.5	163.5	26738	54.78	112.7
Turbidez (UNT)	11	192	136.5	18639.7	71.09	0.5
Aluminio AL (mg/l)	11	0.2153	0.2095	0.0439	97.35	0.031
Sulfatos SO4 (mg/l)	11	36.54	16.55	273.8	45.29	16
Hierro Fe (mg/l)	11	0.615	0.692	0.479	112.43	0.221
Cobre Cu (mg/l).	11	0.2727	0.2494	0.0622	91.46	0.013
Cromo Cr6+ (mg/L)	11	0.0316	0.02672	0.00071	84.47	0.002
Nitritos NO2- (mg/l)	11	0.0484	0.02811	0.00079	58.11	0.0025
Nitrato NO3- (mg/l)	11	6.56	7.48	56.01	114.13	0.7
Zinc (Zn)	11	0.6852	0.2813	0.0791	41.05	0.055
Caudal (l/s).	11	69.5	39.7	1574.7	57.13	1
Temperatura	11	17.05	2.154	4.64	11.79	15.6

Fuente: Elaboración propia

c. CONCENTRACIONES BIOLÓGICAS Y EFECTOS EN EL SISTEMA AGUA.

Las concentraciones Biológicas indican que los Coliformes totales y Termo tolerantes que se encuentran presentes en el agua de riego de los diferentes canales monitoreados.

Grafico 3. Concentraciones Coliformes Totales en aguas de riego



Fuente: Elaboración propia

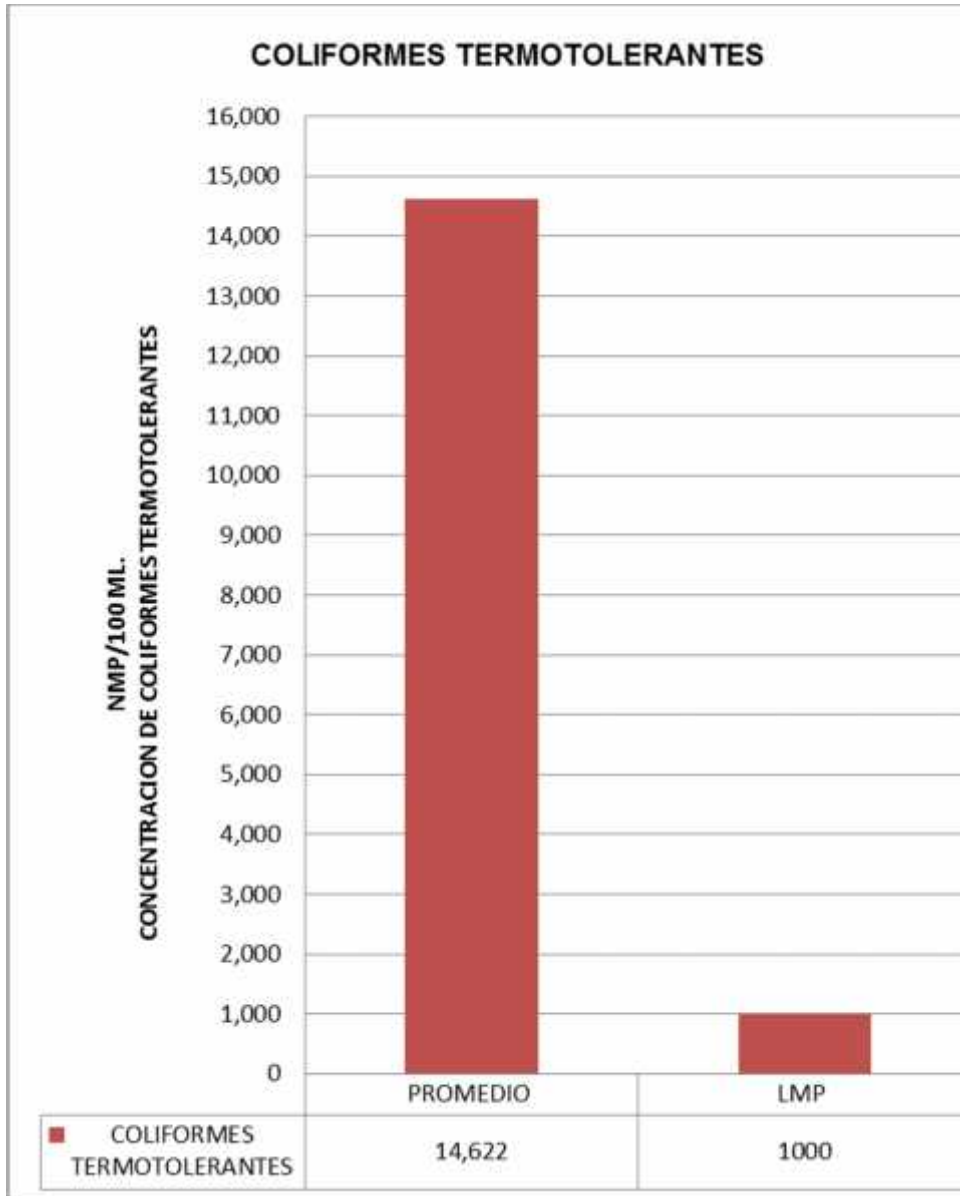
Esta variable indica que en todos los puntos monitoreados de los diferentes canales de riego sobrepasan los LMP en **coliformes totales** de 5000 NMP/ml., dado a conocer por la OPS/CEPIS/96, para aguas de categoría III.

La denominación genérica de coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. Por su amplia diversidad el grupo coliformes ha sido dividido en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal (OMS 1990).

La variable de **Coliformes Termotolerantes** en todos los puntos monitoreados de los diferentes canales de riego sobrepasan los LMP de 1000 NMP/ml., dado a conocer por la OPS/CEPIS/96, para aguas de categoría III y la NTNRRH-2001.

En el trabajo de investigación realizada los valores encontrados fueron de: 1.3×10^5 y 9.2×10^6 , para coliformes totales y de 1.7×10^4 y 9.4×10^4 , afectando a las aguas de riego, bebida de animales y a las plantas especialmente de tallo corto (*Lolium multiflorum*).

Gráfico 4. Concentraciones Coliformes Termotolerantes de las aguas de riego



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Análisis microbiológico de los cuerpos de agua, contaminados con aguas residuales.

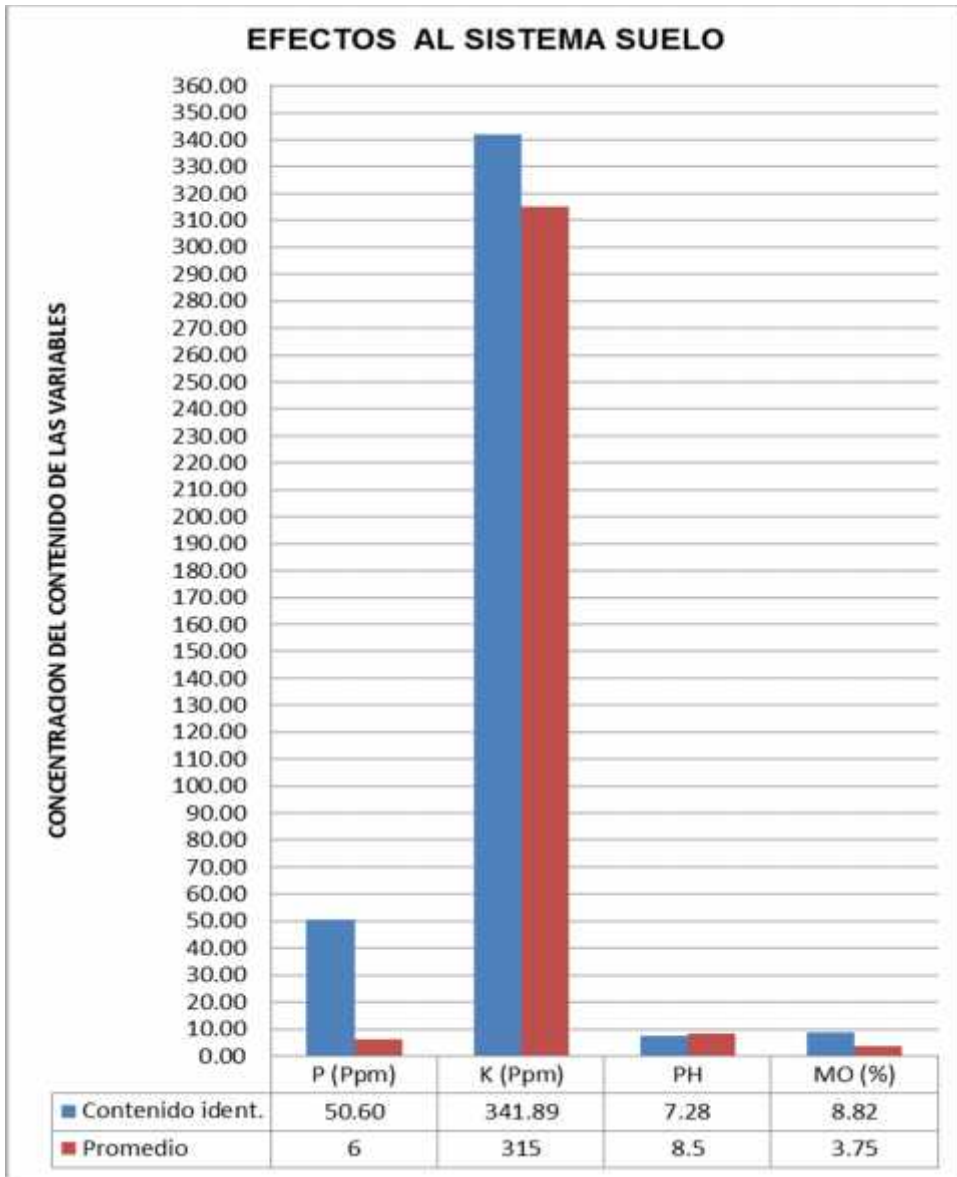
P. MUESTREO	ENSAYOS		ENSAYOS		ENSAYOS		ENSAYOS		ENSAYOS		ENSAYOS	
	C.		C.		C.		C.		C.		C.	
	TERMO C. TOTALES		TERMO C. TOTALES		TERMO C. TOTALES		TERMO C. TOTALES		TERMO C. TOTALES		TERMO C. TOTALES	
	TOLERANTES		TOLERANTES		TOLERANTES		TOLERANTES		TOLERANTES		TOLERANTES	
	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)	(NMP/100 ml)
BCH-1	2.7X10 ³	2.2X10 ³	9.4 X 10 ⁴	9.4 X 10 ⁴	1.4X10 ⁵	4.9 X 10 ³	1.4X10 ⁵	4.9 X 10 ³	7.9X10 ⁴	4.0 X 10 ³	2.7 X 10 ³	2.2 X 10 ³
PO-2	> 1.6X10 ⁵	2.5X10 ³	1.6X10 ⁶	3.5 X 10 ⁵	9.2X10 ⁵	2.8 X 10 ⁴	9.2X10 ⁵	2.8 X 10 ⁴	3.5X10 ⁵	4.9 X 10 ⁴	> 1.6X10 ⁵	2.5X10 ³
BCYR-1	> 1.6X10 ⁵	3.5X10 ⁴	1.6X10 ⁵	4.1 X 10 ³	1.6X10 ⁶	1.7 X 10 ⁴	1.6X10 ⁶	1.7 X 10 ⁴	2.1X10 ⁵	9.4 X 10 ⁴	> 1.6X10 ⁵	3.5X10 ⁴
PCV-4	> 1.6X10 ⁵	2.5X10 ⁴	1.6X10 ⁶	4.7 X 10 ⁴	9.2X10 ⁶	3.5 X 10 ⁴	9.2X10 ⁶	3.5 X 10 ⁴	2.2X10 ⁶	7.9 X 10 ⁴		
CY-5	1.3X10 ⁵	3.4X10 ³	2.7X10 ⁶	3.9 X 10 ³	3.3X10 ⁴	2.1 X 10 ³	3.3X10 ⁴	2.1 X 10 ³	1.3X10 ⁵	3.4 X 10 ³		
MI-1	168**	4**			120**	3**	120**	3**	168**	4**		
CLC-2			1.3X10 ⁵	3.4 X 10 ³	1.3X10 ⁵	3.4 X 10 ³	1.3X10 ⁵	3.4 X 10 ³				
PF-1					7.9X10 ⁵	4.9 X 10 ⁴	7.9X10 ⁵	4.9 X 10 ⁴				
BCLC-1					9.4X10 ⁵	2.3 X 10 ⁴	9.4X10 ⁵	2.3 X 10 ⁴	4.7X10 ⁴	2.7 X 10 ³		
MES									3.3X10 ⁴	4.0 X 10 ³		
BCLC-2									3.5X10 ⁵	7.0 X 10 ⁴		

Fuente: Elaboración propia 2014.

4.1.2. AL SISTEMA SUELO

En el sistema suelo se ha determinado: pH, la clase textural, el contenido de Fosforo, Potasio, Aluminio y Materia Orgánica, siendo las concentraciones y contenidos de la siguiente manera:

Grafico 5. Promedios de P, K pH y MO en suelos



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el gráficos los contenidos de Fosforo, Potasio y Materia Orgánica, estos han sido incrementados en forma significativa en relación al promedio del contenido para suelos normales del valle de Cajamarca, mientras que el pH este se encuentra por debajo de los LMP que es de 6.5 – 8.5 no teniendo ningún efecto al sistema suelos.

El fósforo orgánico es de poca importancia en la mayor parte de los residuos domésticos, pero puede ser un constituyente importante en los vertidos industriales, agrícolas, detergentes y fangos de aguas residuales domésticas, originando en los cuerpos de agua la eutrofización.

Velásquez 2014, manifiesta que el fósforo, potasio para el valle de Cajamarca en terrenos normales varía de 2 a 10 ppm y de 250 a 380 ppm en suelos normales, encontrando en el trabajo de investigación se obtuvo valores mínimos de 32.25 ppm en el punto PO-2 y 66.91 ppm en el punto monitoreado PCV- 1. No afectando la fertilidad de los suelos. Velásquez, 2014, manifiesta que la Materia Orgánica, varía de 2.50 a 5.00 % en terrenos normales, encontrándose valores altos para nuestro caso valores entre 3.8 % en el punto CY-5 y 15.60% en el punto PO-2.

En la estructura del suelos se determinó de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla, los suelos tienen una textura **franco arcillosos** en los lugares de monitoreo.

La existencia del Al, en los suelos analizados se determinó la No disponibilidad de este parámetro.

Cuadro 4. Resultados de análisis de suelos afectados por las aguas residuales.

Característica	PO- 2	MES- 1	CY- 5	CLC- 2	PO- 2	PCV	MES- 1	CY- 5	CLC- 2	PO- 2	PCV	MES- 1	CY- 5	CLC- 2	PO- 2	MES- 1	PCV	CY- 5
----------------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----	-----------	----------	-----------	----------	-----	-----------	----------	-----------	----------	-----------	-----	----------

Fuente: Elaboración propia 2014

Limo %					28				25				18					
Arcilla %	18	22	26	27	19	25	19	23	19	22	24	22	24	21	19	29	39	41
Clase Textural	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc	F. arc
P (Ppm)	33.32	54.83	66.6	53.82	32.55	66.85	55.5	49.45	38.8	32.25	65.85	53.7	52.45	45.2	33.39	55.83	66.91	53.42
K (Ppm)	365	362	315	325	360	355	315	322	350	365	350	305	332	358	370	360	310	335
PH	6.4	7.8	7.35	7.2	7.6	7.5	7.6	7.2	7.6	7.8	7.55	7.4	7.2	7.3	7.4	7.2	6.2	6.7
MO (%)	13.5	11.2	5.4	4.6	13.82	12.5	12.2	3.8	5.8	14.8	6.8	8.5	4.1	5.1	10.92	15.6	4.9	5.18
Al (meq/100g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena %	32	36	45	42	55	45	45	48	45	52	48	46	44	42	53	53	29	33
	25	26	32	28	26	30		32	28	27	28		33	26	28		32	26

4.1.3. EFECTOS AL SISTEMA PLANTA

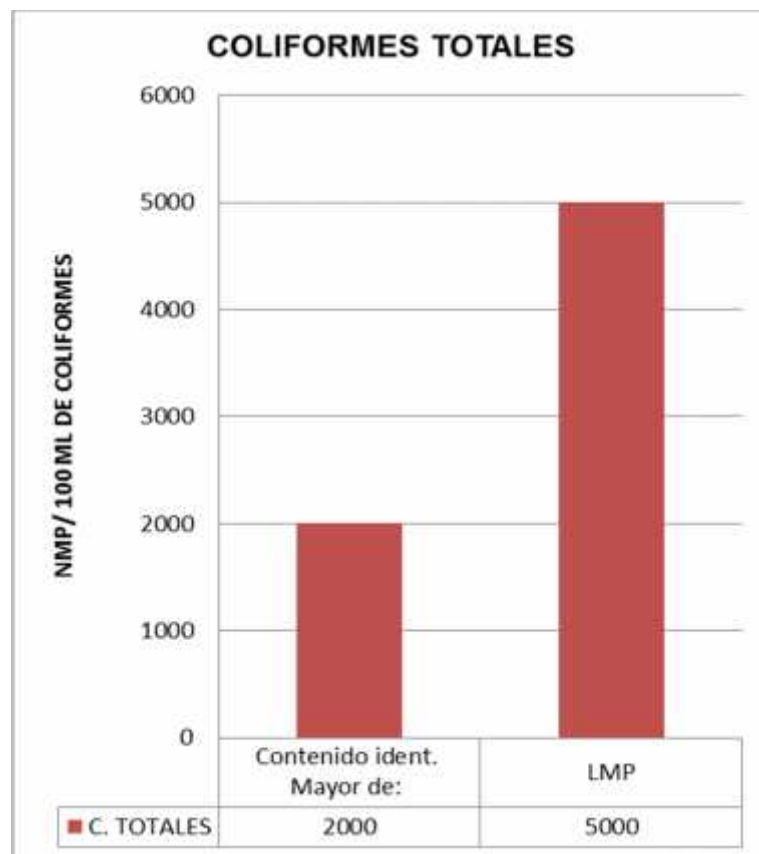
Esta variable indica que en todos los puntos monitoreados para plantas de Rye Grass regados con aguas para riego mezcladas con aguas residuales sobrepasan los LMP en

Coliformes Totales, para plantas de tallo corto de 5000 NMP/ml, y para Coliformes

Termotolerantes para plantas de tallo corto de 1000 NMP/100 ml. dado a conocer por la

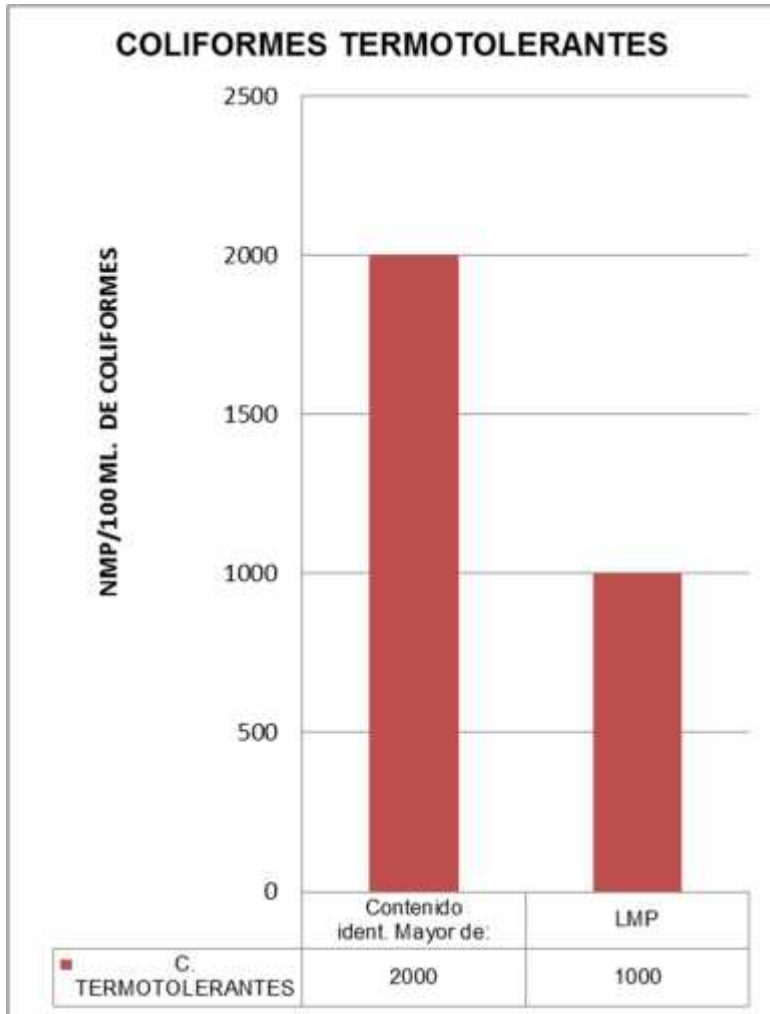
NTNRH, y la OMS, según los resultados de los análisis obtenidos en el Laboratorio de la DESA-Cajamarca se tiene coliformes totales y termotolerantes que sobrepasan los LMP. En el trabajo de investigación realizada se encontró valores muy por debajo de los LMP en Coliformes totales, no afectando al sistema agua, suelo y planta.

Gráfico 6. Concentraciones de Coliformes Totales sistema planta



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7. Concentración de Coliformes Termotolerantes en el sistema planta



Fuente: Elaboración propia

En el trabajo de investigación realizada se encontró valores sobre los LMP en Coliformes Termotolerantes, afectando al sistema agua, suelo y planta, asimismo afecta la salud de los pobladores de los caseríos involucrados en el trabajo de investigación.

Cuadro 5. Análisis microbiológico de Rye Grass.

P. MUESTRE O	C.	C. TERMO	C.	C. TERMO	C.	C. TERMO	C.	C. TERMO
	TOTAL ES	TOLERANT ES	TOTALE S	TOLERANT ES	TOTALE S	TOLERANT ES	TOTALE S	TOLERANT ES
	(UFC/10 0 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)	(UFC/100 ml)
PO-2	> 2000	> 1	> 2000	<1	> 2000	<1	> 2000	<1
MES-1			> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000
CY-5			> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000
CLC-2			> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	> 2000	4
PCV-4					> 2000	3.5	> 2000	3

Fuente: Elaboración propia 2014

CONCLUSIONES.

En los cuerpos de agua de los canales de riego y manantiales donde se realizaron los Análisis físicos de: Temperatura, Solidos Totales Disueltos (STD) y Turbidez, cuyos efectos son negativos al agua de riego y bebida de animales, cuyos promedios se indican:

- La temperatura se registraron entre los 13.6 PO-2 y 21.3 °C. BCYR-1.
- STD. Estos fueron de 112.7, y 576 en los puntos BCYR-1, PF-1.
- Turbidez, se determinaron entre los 73 y 435 en los puntos BCYR-1, BCH-1, UNT en los lugares muestreados.

En Químicos, los resultados de: Ph, Conductividad eléctrica, Aluminio, Hierro, Cobre, Cromo, Zinc, Sulfatos, Nitratos y Nitritos se describe a continuación:

- pH. Los indicadores fueron de: 7.30 MI-1 y 8.63 BCYR-1, en los puntos muestreados **no** afectando al agua de riego y bebida de animales domésticos, estando dentro de los LMP, por el MINAM y la FAO.
- Los resultados de la conductividad eléctrica, es de 235 y 1170 en los puntos muestreados BCYR-1, PF-1 uS/cm, esta variable **no superó** los LMP que es <2000, no afectando al agua de riego y bebida de animales.
- **Aluminio.** Los resultados obtenidos fueron de 0.031 mg/l, MI, un valor máximo de 0.651 mg/l en el punto PO-2, **no superando** los LMP, para aguas de riego que es de 5 mg/l. para aguas de la categoría III. Riego de vegetales y bebida de animales.
- **Hierro.** Se obtuvieron valores mínimos de 0.221 mg/l en el punto de monitoreo BCYR-1, un máximo de 2.6 mg/l BCH-1, **superando** este último los valores de LMP

que es de 1 mg/l. solamente en un punto muestreado no teniendo efectos negativos para agua de riego y bebida de animales.

- **Cobre.** El resultado mínimo de este indicador se dio en el punto BCH-1, con 0.735 mg/l, con 0.625 mg/l en el punto PO-2 y también con 0.587 en el punto PO-2, **superando**, los LMP de 0.2, siendo el valor mínimo 0.013 mg/l el punto BCH-1, un valor máximo de 0.735 mg/l, afectando a las aguas de riego y bebida de animales.
- **Cromo.** La presencia de este metal en las aguas residuales no supera los LMP que es de 0.1 mg/l, para aguas de riego, teniendo valores mínimos de 0.002 mg/l en el punto PO-2 y un máximo de 0.091 mg/L en el mismo punto de monitoreo. No produciendo efectos negativos para aguas de riego y bebida de animales.
- **Zinc.** Este elemento tuvo un comportamiento casi homogéneo, encontrándose valores mínimo de 0.055 mg/l en el punto de monitoreo PO-2 y un valor máximo de 1.039 mg/l en el punto de monitoreo BCH-1, **no** superando los LMP de 2 mg/l. no afectando a las aguas de riego y bebida de animales.
- **Sulfatos SO₄.** La presencia de este indicador no tuvo mayor incidencia en las aguas de riego debido cuyas concentraciones no supero los LMP de 300 mg/l., para aguas de riego de vegetales y bebida de animales.
- **Nitritos NO₂.** Esta variable tuvo un comportamiento homogéneo superando los LMP de 0.06 mg/l, con valores de 0.1005 mg/l en el punto de monitoreo BCH-1, 0.0667 mg/l en el punto PO-2, 0.0639 mg/l en el punto CY-3, y 0.0667 mg/l y en el mismo punto PO-2. Afectando el consumo de aguas de animales.
- **Nitratos NO₃.** Esta variable ha superado los LMP de 10 mg/l, siendo el valor de 18.4 mg/l en el punto de monitoreo PO-2, Afectando el consumo de aguas de animales.

Análisis microbiológico.

Este análisis se realizó en los tres canales que conducen agua con fines de riego a los caseríos de La Victoria, Yanamarca y la Colpa, cuyos resultados indican que superan los LMP, > 1000 y > 5000 para los coliformes termotolerantes, según la FAO “ Riego y Drenaje 29” y Norma Técnica Nacional de la Republica de Honduras – 2011, OMS, cuyos patógenos que afectan a la salud de la población de los caseríos identificados, y plantas de tallo corto.

CONTENIDO DE NUTRIENTES Y OTROS EN LOS SUELOS

De los resultados de los análisis de los suelos se llegó a la conclusión siguiente: **Fósforo P.** En los suelos regados con aguas residuales tiene elevados cantidades que superan los obtenidos en terrenos no regados con aguas residuales, siendo el promedio para el valle de Cajamarca de 6 ppm. Se obtuvo valores de 32.25 ppm punto PO-2 y 66.91 ppm en el punto monitoreado PCV.

Potasio K. En los suelos regados con aguas residuales tiene elevados cantidades que superan los obtenidos en terrenos no regados con aguas residuales, siendo el promedio para el valle de Cajamarca de 315 ppm. Se obtuvo valores de 305 ppm punto MES-1 y 370 ppm en el punto monitoreado PCV.

pH. En los suelos regados con aguas residuales el pH. Se obtuvo valores mínimos de 6.20 en el punto PCV y 7.80 PO-2 no afectando a los suelos.

Materia Orgánica. En los suelos regados con aguas residuales tiene elevados cantidades de materia orgánica que superan los obtenidos en terrenos no regados con aguas residuales, siendo el promedio para el valle de Cajamarca de 3.75 %. Se obtuvo valores de 3.8 % en el punto CY-5 y 15.60 % en el punto PO-2.

Aluminio Al. En los suelos regados con aguas residuales el aluminio no se encontró disponible para las plantas.

Contenidos en % de Arena, Limo y Arcilla En los suelos del valle de Cajamarca estos tienen una textura franco arcilloso.

CONCENTRACIONES DE COLIFORMES EN LAS PLANTAS

De los resultados obtenidos de las muestras de pastos (Rye Grass): PO-2, PCV-4, MES-1, CY-5 Y CLC-2 se determinó que los coliformes termotolerantes han superado los LMP de >1000 para plantas de tallo corto. Según la FAO “Riego y Drenaje 29” y Norma Técnica Nacional de la Republica de Honduras – 2011.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el presente trabajo de investigación por los estudiantes de post grado, por ser uno de los trabajos de investigación realizado en Cajamarca y poder determinar el grado de afectación al sistema agua-suelo-planta en el valle de Cajamarca especialmente en los caseríos de la Victoria, Yanamarca y la Colpa.

LISTA DE REFERENCIAS.

1. Alcon, F. 2010. **El valor de "no-mercado" de las aguas residuales recuperadas para su uso en agricultura**, Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia). CEBAS CSIC, Departamento de Riego, Murcia, 2da edición 322 Pág.
2. Andrenc, C. 2011. **Determinación De Sulfatos En Aguas Por Método Espectrofotómetro**, Revista Académica de la FI-UADY, 16-2, Pág. 83-91, ISSN 1665-529-X
3. Díaz, de S. 1992. APHA, AWWA, WPCF, **Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales**. 17 Edit. Impr. Lavel S.A. Madrid España.
4. APRISABAC – Cajamarca. 1997. (Atención Primaria y Saneamiento Básico de Cajamarca), **Saneamiento Básico Rural**, Lima. P. 4 - 38 Pág. Ed. Lavel SAC. San Isidro.
5. Arias, C. y Brix, H. 2003. **Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales**. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Bogotá, Pág, 17-24 Ed. ISSN Colombia.
6. Blundi, E. 1988. **Aplicação de métodos alternativos para a determinação de matéria orgânica em águas residuárias**, 329 Pág. Dissertação (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). São Carlos.
7. Burgoon, P. 2001. **Denitrification in free water surface wetlands receiving carbon supplements**. Water Sci. Technol. Vol. 44, pág. 163-169. Ed. IWA.
8. Campos, M. 2011. Proyecto: **Desarrollo de capacidades en el uso seguro de aguas residuales para agricultura**, Santafé de Bogotá, octubre 31 de 2011, 22 Pág.

9. Carranza, R. 2001. **Medio ambiente problemas y soluciones**, Universidad Nacional del Callao, 1era edición. impresa en el Perú, 211 pág. Ed. UNAC.
10. Castro, E. 2009. **Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul**, Yucatán Ingeniería Revista Académica, Vol. 13, Núm. 1, eneroabril, 2009, Pág. 49-58 Universidad Autónoma de Yucatán México.
11. CEPIS, 2004. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), **programa de monitoreo de aguas**, 115 Pág.
12. Cervantes, F. Pérez, J. Gómez, J. 2000. **Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales**. Rev. Latinoam. Microbiol. 42, 73-82. Pág.
13. Cirelli, G. Consoli, S. Licciardello, F. Aiello, R. GiuffridA, F. Leonardi, C. 2012. **Treated municipal wastewater reuse in vegetable production**. Agr. Water Manag. (USA). 104:163-170. Pág.
14. Clesceri, S. 1992. **Métodos Normalizados para Análisis de Compendio de Normas Legales** (disposiciones generales en materia de agua) tomo I. 158 Pág.
15. Conte, G. 2001, **Constructed wetlands for wastewater treatment in central Italy**. Water Sci. Technol. 44, 339-343. Pág.
16. Cooper, P. 1999. **A review of the design and performance of vertical flow and hybrid reed bed treatment systems**, Water Sci. Technol. Pág. 40, 1-9.
17. Cornejo, V. 1993 **respuesta inmune celular como indicador biológico de deficiencia de zinc**: en pacientes con fenilquetonuria 170-174 pág.
18. Del Puerto, R. 2008. **Nitritos y nitratos: afectación a la salud**. La Habana. 7 Pág.
19. Dupchak, K. 2005, **Nutricionista de Animales Rama de Industria Animal Manitoba Agriculture and Food**, 204 - 545 Pág. Universidad Crescent Winnipeg, Manitoba – CANADA R3T 5S6

20. Elias, J. 2001, **Performance of constructed wetland system for public water supply**. Water Sci. Technol. 44, 579-584. Pág.
21. Erista, S. 2007. **Depuración de Aguas Residuales de Grasas y Aceites**. 89 Pág. Disponible en <http://www.erista.de/spain/produkte/systemanlagen/oel.rennung/index.html>.
22. Esponda, A. 2001. **Arranque de un sistema experimental de flujo vertical a escala piloto de tipo humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 145 Pág.
23. FAO 1999. **Límites Máximos Permisibles en cuanto a metales Totales para aguas de riego**. 45 Pág.
24. Fasciolo, G; Meca, M; Calderón, E; Rebollo, M. 2005. **Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados**. Rev. FCA. UNCuyo. (Argentina). 37(1):31- 40. Pág.
25. Faulkner, S. y Richardson C. 1989. **Physical and chemical characteristics of freshwater wetlands soils**. Lewis Publishers. Tennessee. 805 Pág.
26. Fenoglio, L. 2000. **Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical**. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México 145 Pág.
27. Frers, C. 2007, **El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales**, 45 Pág.

28. Guevara, A. 1996, **Control de la calidad del agua**, OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, y Ciencias del Ambiente, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima
29. Gerba, C. Thurston, A. Falabi, A. Watt, M. y Kar-piscak, M. 1999. **Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa**. *Wat. Sci. Tech.* 40, 363-368 Pág.
30. Giraldo, E. y Zárate, E. 2001. **Development of a conceptual model for vertical flow wetland metabolism**. *Water Sci. Technol.* 44, 273-280 Pág.
31. Hassanli, A. Ebrahimizadeh, A. Beecham, S. 2008. **The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an Arid Region**. *Agr. Water Manag.* 96(1):93-99. Pág.
32. INECC, 2012. *embamex.sre.gob.mx/iran/ResumenGeneralCambioClimatico.pdf*
33. INEI, 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática, **población censada**. 425 Pág.
34. Kadlec, H. Knight, L. Vyamazal, J. Brix, H. Cooper, P. and Haberl, R. 2000. **Constructed wetlands for water pollution control processes, performance, design and operation**. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, Scientific and Technical Report No, 8. IWA Publishing. 45 Pág.
35. Kao, C. 2001, **Application of a constructed wetland for non-point source pollution control**. *Water Sci. Technol.* 44, 585-590 Pág.
36. Karpiscak, W. y Foster, A. 2000. **Nutrient and heavy metal uptake and storage in constructed wetland systems in Arizona wetland systems for water pollution control**. *Water Sci. Technol.* 3, 1271-1278. Pág.

37. Kiziloglu, M. 2008, **Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey**, *Agricultural Water Management*: 95(6), 716-724 pág.
38. Koottatep, T. 2001. **Septage dewatering in vertical-flow constructed wetlands located in the tropics**. *Water Sci. Technol.* 44, 181-188 Pág.
39. Korkusuz E.A., Beklioglu M. y Demirer G.N. (2004). **Treatment efficiencies of the vertical flow pilot-scale constructed wetlands for domestic wastewater treatment**. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* Pág. 28, 333-344.
40. Lara-Borrego, A. 1999. **Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales**. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 89 Pág.
41. Lelio, A. 2009. **Potencial de obtención de bioetanol a partir de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas**. Universidad Nacional del Cuyo, Publicado en: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 41, No. 1 245 Pág.
42. León, G. 1995. **El Tratamiento y la Reutilización de Aguas Residuales**, CIDIAT, Mérida-Venezuela. 45 Pág.
43. Lenntech. 1998. *Revista Aluminio (Al)* **Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente**. Disponible en [http:// www.lenntech.es](http://www.lenntech.es) > Tabla Periódica Elementos. 18 Pág.
44. Lenntech. 1998. *Revista Cobre (Cu)* **Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente**. Disponible en [http:// www.lenntech.es](http://www.lenntech.es)>Tabla Periódica > Elementos, 22 Pág.

45. Lenntech. 2006. Revista. Disponible en <http://www.lenntech.es/valorizador-deaguas-residuales.htm>. 24 Pág.
46. Mara, C. 1976. **Clasificación de aguas residuales**, Disponible en http://www.slideshare.net/bioquicadat/tratamiento-de-agua_copia, 95 Pág.
47. Marchán, P. 2008. **Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución**. Av. Bernardo Monteagudo 210, Magdalena del Mar, Lima 17 – Perú, 80 Pág.
48. Marques, R. Herpin, U. Ferreira, A. Pittol, L. Regina, C. Melfi, A. 2009. **Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater**. Agr. Water Manag. 96:307-316. Pág.
49. Medeiros, S. Soares, A. Ferreira, P. Neves, J. Matos, A. Souza, J. 2005. **Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo**. Rev. Bras. Engenharia Agr. Amb. 9(4): 603-612. Pág.
50. Rigola, M. La peña, B. 1999. **Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales**. 146 Pág.
51. Metcalf & Eddy, I. (1979) **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 2da. Ed. USA.
52. Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales, tercera edición, McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. 504 Pág.
53. Miranda, R. (2000). **Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 167 Pág.
54. Mujeriego, R. 1990. **Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada**. Ed. Universidad Politécnica de Catalunya - UPC. 520 Pág.

55. Müller, E. 2010. **Energía a partir de las aguas residuales**, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional Suiza, 63 Pág.
56. Novotny, V. (2003). **Water Quality: diffuse pollution and watershed management**. 2 da Edition. John Wiley & Sons. New York. Pág. 864.
57. Nunes, H. 2005. **Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. En: Memórias 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil. 7 Pág.
58. OMS, 1990. **Legal issues in wáter resourse allocation, wastewater use and water supply management**. Report of a Consultation of the FAO/WHO Working Group on Legal Aspects of Water Supply and Wastewater Management, Ginebra Pág. 25-27
59. OMS. 1998. **Límites Máximos Permisibles para la presencia de sustancias nocivas en el agua de consumo humano**. 35 Pág.
60. OMS, 2006. **Uso de los excrementos y el agua doméstica en la agricultura**. Con el fin de proteger la salud pública y el uso de las aguas residuales y heces en la agricultura y acuicultura, Ginebra 15-19. Pág.
61. Orozco, C. 2009. **Contaminación ambiental: Una visión desde la Química** Edición: 1ª 2004, Pág. 678. Disponible en la página www.dykinson.com/book Contaminación ambiental. Una visión.
62. Osorio Rodríguez J. 2001. **Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 16-2, Pág. 83-91, ISSN 1665-529-X

63. Pérez, M. 1984, **Nitratos en fuentes de abastecimiento de agua del municipio de Sibanicú.** (Trabajo para optar por el título de Técnico en Química Sanitaria). Centro Provincial de Higiene de Camagüey. 114 Pág.
64. Pescod, B. 1992. **Wastewater treatment and use in agriculture. Irrig. Drain. (Italia).** Paper 47. 400.
65. Qadir, M. Sharma, B. Bruggeman, A. Choukrallah, R. Karajeh, F. 2007. **Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries.** Agr. Water Manag. 87:2-22. Pág.
66. Rodríguez J. y Durán C. 2006. **Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco.** Tecnol. Ciencia Ed. 21, 25-33. Pág.
67. Romero, M. 2006. **Propuesta para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) mediante humedales artificiales de flujo horizontal.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. 245 Pág.
68. Rutkowski, T. Raschid, L. y Buechler, S. 2006. **Wastewater Irrigation in the Developing World Two Case Studies from the Kathmandu Valley in Nepal. Agricultural Water Management.** 83 Pág. Disponible en <http://www.elsevier.com/locate/agwat>.
69. Segal, E. Ben-Gal, A. Zipori, I. Erel, R. Suryano, S. Yermiyahu, U. 2011. **Olive orchard irrigation with reclaimed wastewater: Agronomic and environmental considerations.** Agr., Ecosyst. Environm. (USA). Pág. 140:454-461.

70. Seoanez, M. 1995. Ingeniería del Medio Ambiente - **Criterios Generales de Calidad para Aguas de uso Agrario**. Estado de Ontario – Canadá. 125 Pág
71. Shrestha, R. Haberl, R. y Laber, J. 2001. **Constructed wetland technology transfer to Nepal**. Water Sci. Technol. 43, 345-350. Pág.
72. Silva, H. 2008. Guías OMS **Uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas Grises**. Asesor en Salud Ambiental. CEPIS/USB/SDE/OPS/OMS. 145 Pág.
73. Skate, K. 2002. **Kentucky Water Wacht Home Page**; página de internet. www.skate.ky.us.
74. Tebbutt, Y. 1977. **Principles of water quality control**. 2a. Ed., Oxford. 55 Pág.
75. Thornton, J. 1993. **Incineración de residuos peligrosos Impactos en la agricultura**. 48 Pág.
76. Torres, E., Investigación sobre optimización de Lodos para el mejoramiento de suelos Agrícolas, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 1998, 394 pág.
77. Turcios, P. 2011. **Evaluación de la calidad de las aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento aurora y con fines de riego en el cultivo de frijol (*phaseolus vulgaris* L.)**, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos. 96 Pág. Vol. 1, N° 1. Revista científica.
78. Veliz, E. Llanes, J. Fernández, L. Bataller, M. 2009. **Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola**. Valoración científica. Rev. CENIC Cienc. Biol. (México). 40(1): Pág.35-44.
79. Velásquez, T. (2014). Jefe Lab. de Análisis de Suelos, Agua, Abono y Plantas. INIA Cajamarca.

80. Vymazal J. (2002). **The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience.** Ecol. Engin. Pág.18, 633646.
81. Zamora F. Rodríguez N. Torres D. Yendis H. Efecto de riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón, Bioagro 20 (3): 193 – 199, 2008