

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Facultad de Ciencias

Escuela Académico Profesional de Biología – Microbiología

**“Calidad bacteriológica y físico química del agua subterránea
en los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada del
distrito de Moquegua”**

TESIS

Presentada por:

Bach. MARIANELA MARIBEL VENTURA CANDIA

Para optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO – MICROBIÓLOGO

TACNA – PERÚ

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA
FACULTAD DE CIENCIAS**

TESIS N° 268 TÍTULO PROFESIONAL DE: BIÓLOGO MICROBIÓLOGO

El Secretario Académico y Administrativo de la Facultad de Ciencias certifica que con Resolución de Facultad N° 8332-2015 -FACI-UN/JBG ha designado como jurados para la sustentación de la Tesis: "Calidad bacteriológica y físico química del agua subterránea en los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada del distrito de Moquegua" el mismo que está conformado por:

PRESIDENTE: Mgr. Daladier Miguel Castillo Cotrina.

SECRETARIO: Dr. César Augusto Cevallos Columbus

VOCAL: MSc. Angela Verónica Choque Miranda.

Para examinar y calificar el trabajo de Tesis sustentado en acto público el día Lunes 21 de Diciembre del 2015.

Presentado por la señorita Bachiller: MARIANELA MARIBEL VENTURA CANDIA, de la Escuela Académico Profesional de Biología Microbiología.

El jurado calificador, en forma secreta e individual se pronunció sobre el calificativo del trabajo expuesto y procedió a emitir el siguiente resultado: Aprobado por unanimidad con el calificativo de 15 (bueno) de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Para ratifica lo detallado firman:



Mgr. Daladier Miguel Castillo Cotrina
PRESIDENTE



Dr. César Augusto Cevallos Columbus
SECRETARIO



MSc. Ángela Verónica Choque Miranda
VOCAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Fernando y Gavi por haberme formado bajo sus sabios consejos y valores de la verdad, nobleza, perseverancia, esfuerzo y de solidaridad, alentándome siempre en cada paso de mi vida y a mis hermanas Romina y Anahi por apoyarme en mis decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Ami digna Casa de Estudios Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Facultad de Biología Microbiología. Por la razón de seguir promoviendo la ciencia y formando profesionales e intelectuales para el desarrollo del país

A Dios, por haberme dado la vida, por haberme dado a mis padres y por permitirme haber llegado hasta este momento de mi vida tan importante para mi desarrollo profesional.

A mi asesor, Dr. César Julio Cáceda Quiroz, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que pueda culminar el trabajo con éxito.

A Rodrigo, por la ayuda, los conocimientos y los ánimos de aliento ya que sin él esta labor no se hubiera realizado.

A la DIRESA – Moquegua, ya que gracias al aporte económico, contribuyó al desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	xxxvi
ABSTRACT	xxxviii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Hipótesis	5
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Marco teórico	7
1.5.1 El agua subterránea	7
1.5.2 Protección de abastecimientos con agua subterránea	8
1.5.3 Causas comunes del deterioro de la calidad de agua subterránea	10
1.5.4 Contaminación de acuíferos	11
1.5.5 Calidad de agua	14
1.5.6 Indicadores microbianos de la calidad de agua	16

1.5.6.1	Coliformes	18
1.5.6.2	Coliformes termotolerantes	20
1.5.6.3	<i>Escherichia coli</i>	21
1.5.7	Principales contaminantes de origen químico	22
1.5.8	Características fisicoquímicas de las agua subterráneas	40
1.5.8.1	Turbidez	40
1.5.8.2	Color	43
1.5.8.3	Potencial de hidrógeno	43
1.5.8.4	Temperatura	46
1.5.8.5	Sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica	47
1.5.8.6	Alcalinidad	49
1.5.8.7	Acidez	50
1.5.9	Importancia del agua subterránea	51
II.	MATERIALES Y MÉTODOS	53
2.1	Materiales	53
2.2	Métodos	55
2.2.1	Diseño de investigación	55
2.2.2	Variables	55
2.2.3	Indicadores	56
2.2.4	Área de estudio	56

2.2.5	Características generales de la zona de estudio	57
2.3	Metodología de campo	58
2.4	Metodología de Laboratorio	63
2.4.1	Determinación de coliformes	63
2.4.2	Prueba presuntiva para la determinación de Coliformes	64
2.4.3	Prueba confirmatoria : coliformes totales	66
2.4.4	Prueba confirmatoria : coliformes termotolerantes	67
2.4.5	Prueba confirmatoria : <i>Escherichia coli</i>	69
2.4.6	Determinación del Número Más Probable (NMP)	69
2.4.7	Determinación de pH por el método electrométrico	71
2.4.8	Determinación de la Conductividad por el método Conductimétrico	72
2.4.9	Determinación de turbidez por el Método Nefelométrico	73
2.4.10	Determinación de sólidos totales disueltos, Método Potenciométrico	73
III.	RESULTADOS	75
3.1.	Análisis de Parámetros Microbiológicos	75
3.2.	Análisis de parámetros Organolépticos	83
3.3.	Análisis de parámetros Químico Inorgánicos	95

3.4. Evaluación de la calidad microbiológica	99
IV. DISCUSIÓN	103
V. CONCLUSIONES	113
VI. RECOMENDACIONES	115
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los problemas de calidad de agua	
Subterránea	11
Tabla 2: Contaminantes de los problemas de calidad de agua	
Subterránea	12
Tabla 3: Información adicional sobre el Boro	28
Tabla 4: Datos de los lugares de muestreo	59
Tabla 5: Resultados de los análisis de los parámetros microbiológicos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Procesos comunes de contaminación de agua subterránea.	13
Figura 2:	Ubicación geográfica de la zona de estudio.	56
Figura 3:	Recuento del NMP para coliformes totales en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.	77
Figura 4:	Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores agrícolas para coliformes totales comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.	78
Figura 5:	Recuento del Número Más Probable de Coliformes Termotolerantes en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el	79

Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Figura 6: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Coliformes Termotolerantes comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 80

Figura 7: Recuento del Número Más Probable de *Escherichia coli* en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 81

Figura 8: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para *Escherichia coli* comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por 82

D. S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud

- Figura 9:** Valores de Potencial de Hidrógeno (pH) encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 83
- Figura 10:** Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores Agrícolas para Potencial de Hidrógeno (pH) comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 84
- Figura 11:** Valores de Conductividad encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 85
- Figura 12:** Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores 86

Agrícolas para Conductividad comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Figura 13: Concentraciones de sólidos totales disueltos encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 87

Figura 14: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores Agrícolas para sólidos totales disueltos comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 88

Figura 15: Valores de Turbiedad encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos 89

establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Figura 16: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para turbiedad comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 90

Figura 17: Concentraciones de aluminio encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 91

Figura 18: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para aluminio comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 92

- Figura 19:** Concentraciones de sodio encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 93
- Figura 20:** Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para sodio comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 94
- Figura 21:** Concentraciones de boro encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 95
- Figura 22:** Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para boro según los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos 96

establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N°031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Figura 23: Concentraciones de níquel encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 97

Figura 24: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para níquel comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S.N°031-2010-SA/Ministerio de Salud. 98

Figura 25: Valoración porcentual de la condición de la calidad Microbiológica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 99

- Figura 26:** Valoración porcentual de la condición de la calidad Organoléptica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 100
- Figura 27:** Valoración porcentual de la condición de la calidad Químico Inorgánica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 101
- Figura 28:** Valoración porcentual de la condición de la calidad General en los 3 sectores Agrícolas según los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobador por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud. 102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	Número más Probable de bacterias por 100 MI de muestra agua, empleando cinco tubos inoculados con 10, 1 y 0,1 mL (diluciones) de muestra	124
ANEXO 2:	Limites máximos permisibles de parámetros microbiológicos del Decreto Supremo Nacional de Calidad de Agua para el Consumo Humano N° 031-2010-AS	125
ANEXO 3:	Límites máximos permisibles de parámetros de Calidad Organoléptica según el Decreto Supremo Nacional de Calidad de Agua para el Consumo Humano N° 031-2010-SA	126
ANEXO 4:	Límites máximos permisibles de los parámetros Químicos Inorgánicos según el Decreto Supremo Nacional de Calidad de Agua para el Consumo Humano N° 031-2010-SA	127
ANEXO 5:	Fotografía verificando parámetros fisicoquímicos	128
ANEXO 6:	Fotografía de pozo del Sector Santa Rosa (La Condesa)	128
ANEXO 7:	Fotografía de los equipos de medición para análisis	128

fisicoquímico en campo

ANEXO 8:	Fotografía del Sector Omo, Fundo Zapata	129
ANEXO 9:	Fotografía del manantial en cueva -Sector Rinconada	129
ANEXO 10:	Fotografía del afloramiento de un manantial Sector Rinconada	129
ANEXO 11:	Fotografía del sector Rinconada	130
ANEXO 12:	Fotografía transporte y material de toma de muestra	130
ANEXO 13:	Fotografía Ácido Nítrico para preservar metales	131
ANEXO 14:	Fotografía de análisis en el laboratorio	131
ANEXO 15:	Fotografía muestras en incubadora a 35 °C	132
ANEXO 16:	Fotografía equipo baño María a 44,5 °C	132
ANEXO 17:	Fotografía de medio EC positivo para coliformes termotolerantes	133
ANEXO 18:	Fotografía verificando resultados en laboratorio	133
ANEXO 19:	Fotografía prueba positiva para Escherichia coli utilizando reactivo de Kovac	134
ANEXO 20:	Fotografía donde se muestra que el tubo del lado derecho presenta un halo rojo, lo que indica prueba positiva para Escherichia coli	134

RESUMEN

En los últimos años se han incrementado las enfermedades transmitidas por agua y alimentos. Según la Dirección de Salud Ambiental, se han identificado dos principales puntos de vertimiento de aguas residuales cuyos efluentes son utilizados para riego, afectando un recurso vital como es el agua subterránea ya que se han visto vulnerables a los agentes etiológicos lo que hace importante conocer su calidad.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua subterránea en los sectores agrícolas de Santa Rosa, Omo y Rinconada de la ciudad de Moquegua. Se estudió 16 puntos de muestreo, a lo largo de los tres sectores, las muestras fueron remitidas al Laboratorio de Salud Ambiental Moquegua y la metodología empleada para los análisis bacteriológicos se realizó según el Manual de procedimientos analíticos en microbiología de aguas y alimentos, DIGESA 2008.

La determinación de la calidad se estableció siguiendo la normativa nacional vigente. Se determinó que las aguas subterráneas presentaron contaminación por coliformes totales en un 87,5 %, por coliformes

termotolerantes en 81,25 % y *Escherichia coli* en 62,5 %. El 87,5 % de las muestras de agua tuvieron calidad microbiológica inaceptable.

En cuanto a la calidad fisicoquímica establecida el 62,5 % no cumplieron con las características de calidad organoléptica y 87,5 % no cumplieron con la calidad Química Inorgánica establecida.

ABSTRACT

In recent years, waterborne and foodborne diseases have increased dramatically, according to the Executive Office of Environmental Health, has identified two main points of discharge of wastewater whose effluent is used for irrigation, affecting a vital resource as groundwater, because they have been vulnerable to etiologic agents making it important to know their quality.

This research aimed to determine the bacteriological and chemical quality of groundwater in the agricultural sectors of Santa Rosa, Omo and Rinconada from the city of Moquegua. Sixteen sampling points were studied over the three sectors, the samples were sent to Environmental Health Laboratory, and the methodology for bacteriological analysis was performed according to the Manual of analytical methods in microbiology of water and food, DIGESA 2008.

The quality determination was established following the current national regulations. It was determined that groundwater pollution had total coliforms in 87, 5 %; thermotolerant coliform in 81, 25 %; and *Escherichia*

coli in 62,5 %. 87,5 % of the samples had unacceptable water microbiological quality.

With respect to the physicochemical quality it was established that 62,5 % did not meet organoleptic characteristics; and 87,5% did not meet established quality Inorganic Chemistry.

I. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea del valle de la ciudad de Moquegua es un recurso vital para muchas personas que habitan en él, sin embargo, existen evidencias para sospechar que se encuentran contaminadas con coliformes totales y termotolerantes, así como con metales pesados.

El problema de la contaminación del recurso agua es mundial. En el año 2000, alrededor de 2,4 billones de personas no tuvieron acceso a los servicios sanitarios básicos, como consecuencia se estima que entre cinco y seis millones de personas fallecen anualmente por enfermedades transmitidas a través de agua contaminada y entre 1,3 millones de niños menores de cinco años murieron a causa de enfermedades originadas por un suministro de agua de mala calidad (OMS, 2000).

El peligro más común y difundido, relativo al agua de consumo humano es el de su contaminación microbiana con aguas servidas y excretas del hombre y de los animales (Easton, 1998).

Si dicha contaminación es reciente y se hallan microorganismos patógenos, es posible que dichos microorganismos se encuentren vivos y con capacidad de producir enfermedad (Vergaray & Mendez, 1994).

Para determinar y conocer la calidad del agua es necesario el desarrollo de programas de monitoreo de la concentración por metales pesados y metaloides, que potencialmente, pueden representar un riesgo para la salud humana estas acciones ya se han establecido con éxito en otros países no así en Perú donde hacen falta acciones de largo plazo.

El objetivo de este estudio fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua subterránea en los sectores agrícolas de Santa Rosa, Omo y Rinconada del valle de Moquegua y compararlo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de contaminantes establecidos por el Reglamento para agua de consumo humano según el Decreto Supremo N° 031 – 2010 –SA.

Es por eso, que se desarrolló el método para la enumeración de bacterias en muestras de agua. Se realizó mediante cultivo en tubos con caldo específico para determinado grupo de microorganismos. Las bacterias coliformes totales se detectan con los métodos de membrana de

filtración y tubos múltiples, con medios específicos, y se incuban a 35 – 37°C hasta 48 horas. Los coliformes termotolerantes son detectados con métodos similares, pero con medios específicos y una incubación a 44,5 °C (Davis, 2004).

Debido a que los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada pertenecientes al valle de la ciudad de Moquegua hay una moderada aparición de enfermedades infectocontagiosas producidas por microorganismos que son viabilizados por el agua de consumo humano, es necesario proteger y controlar su calidad mediante la aplicación de métodos eficaces (DESA, 2010). Es por ello que se consideró de especial importancia evaluar la aceptabilidad del agua de consumo humano.

Los resultados servirán de base para la planeación de estudios posteriores que permitan localizar fuentes de contaminación y de esta manera, minimizar los efectos adversos en la salud humana a causa de la contaminación de agua por coliformes, metales, metaloides y parámetros fisicoquímicos.

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad el agua superficial de la cuenca hidrográfica que recorren el valle de Moquegua, en combinación con fuentes de agua subterránea son utilizados para regadío y consumo humano, sin embargo, existen dos principales fuentes de vertimiento de aguas residuales en la ciudad de Moquegua cuyos efluentes desembocan al río y a cultivos a partir de canales salientes de las lagunas de oxidación (ANA, 2014). Conociendo que el agua residual es un potencial vehículo de diseminación de agentes patógenos que peligran la salud de los consumidores y productores de los productos agrícolas cuando se la utiliza para tales fines, se plantea la siguiente interrogante:

¿Cumplirán las aguas subterráneas de los predios agrícolas en los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada del distrito de Moquegua los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos establecidos en el reglamento de la calidad del agua para consumo humano de la DIGESA?

1.2. Hipótesis

Existe una alto grado de contaminación en el aguasubterránea por lo tanto no cumple con el Reglamento de Calidad para el Agua de Consumo.

1.3. Justificación

Las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, pero cuando esta contaminación se produce, es más difícil de eliminar. La ciudad de Moquegua en un futuro seguirá creciendo a nivel poblacional, dando lugar a que este crecimiento genere mayor incremento de aguas residuales y necesidad de mejorar los servicios públicos; por otro lado, también se producirá el incremento económico y por ende la demanda de más productos agrícolas tanto para consumo de los pobladores del lugar como para su exportación. Este trabajo tiene como finalidad dar a conocer la situación actual de la calidad microbiológica de agua subterránea tanto utilizada para consumo de tres sectores agrícolas de Moquegua que por la ubicación de las fuentes contaminantes pudieran estar siendo afectados.

Estas son aguas que no se les realiza ningún tipo de tratamiento, ni monitoreo medioambiental que incluya análisis fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que se hace necesario la realización de un estudio que permita determinar la calidad de esta agua, para que sirva como base para el control y tratamiento de ellas, ya que éstas son susceptibles a ser contaminadas por material orgánico que conllevan a la contaminación por microorganismos y sustancias químicas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la calidad bacteriológica y físico químico del agua subterránea, procedente de los predios agrícolas de los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada del Distrito de Moquegua.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros bacteriológicos del agua subterránea (coliformes totales, coliformes termotolerantes y, *E. coli.*) de tres sectores agrícolas del Distrito de Moquegua.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos de campo (pH, temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos y, turbidez) y de laboratorio (metales) del agua subterránea de tres sectores agrícolas del Distrito de Moquegua.

1.5. Marco teórico

1.5.1. El agua subterránea

El agua subterránea es conocida como aquellas formaciones geológicas que permiten el paso del agua y su explotación. Se encuentra en la zona saturada, debajo de la superficie terrestre. Presenta sesenta veces más agua de la que hay en lagos y arroyos, pero parece algunas veces un

problema por las diferentes profundidades a las que se encuentran, la velocidad de extracción y además, cuando se infiltran aguas contaminadas hasta los depósitos de agua subterránea, estas últimas también se contaminan (Hirata & Reboucas 2001).

1.5.2. Protección de abastecimientos con agua subterránea

El agua es la clave para la reducción de la pobreza en todas sus dimensiones: crecimiento de la renta, mejora de la salud, igualdad de género, servicios de saneamiento y gestión del agua. El cumplimiento de los ODM (Objetivos de desarrollo del Milenio) se ve dificultado por el aumento de la población, que seguirá generando una mayor demanda de todo tipo de recursos, incluidos el agua y los servicios afines. En términos reales, se prevé que la población urbana de los países en desarrollo casi se duplicará entre los años 2000 y 2030, pasando de 2000 a cerca de 4000 millones. Entre 2015 y 2020, superará por vez primera a la población rural. El progreso económico continuo y el cambio en los patrones de consumo, combinados con la dinámica demográfica, exigirán

más recursos y servicios relacionados con el uso del agua con fines productivos, complicando con ello el problema del uso sostenible del agua (Banco Mundial, 2008).

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en el medio urbano y rural, y juega un papel fundamental (pero frecuentemente poco apreciado) en el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas acuáticos.

A escala mundial, los acuíferos (formaciones geológicas que contienen recursos hídricos utilizables) están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y emprendimiento minero.

De hecho, se requieren medidas de protección especiales para todos los pozos y manantiales (tanto públicos como privados) cuya función es la de proveer agua potable y con calidad equivalente. Ello incluiría aquellos utilizados para

agua mineral embotellada y para el procesamiento de alimentos y bebidas.

1.5.3. Causas comunes del deterioro de la calidad de agua subterránea.

Existen varias causas potenciales del deterioro de la calidad de un acuífero y/o las fuentes de agua subterránea. Estas se clasifican por su génesis y se explican más adelante en Tabla 1. En el presente trabajo se aborda la contaminación de manantiales, pero es necesario tener presente que también pueden operarse otros procesos.

Tabla 1: Clasificación de los problemas de calidad del agua subterránea.

TIPO DE PROBLEMA	CAUSA SUBYACENTE	CONTAMINANTES DE INTERES
CONTAMINACIÓN DE ACUIFEROS	Protección inadecuada de acuíferos vulnerables contra descargas y lixiviados proveniente de actividades urbanas/industriales e intensificación de cultivos agrícolas	Patógenos, nitrato o amonio, cloruro, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico disuelto, hidrocarburos aromáticos y halogenados, algunos pesticidas.
CONTAMINACIÓN DE CABECERA DE POZO	Construcción/diseño inadecuado del pozo que permite el ingreso directo de agua superficial o agua subterránea poco profunda, contaminada.	Principalmente patógenos
Intrusión Salina	Agua subterránea salada (y a veces contaminada) inducida a fluir hacia acuíferos de agua dulce como resultado de una extracción excesiva.	Principalmente NaCl, pero puede incluir además contaminantes persistentes provenientes de la acción del hombre
Contaminación que ocurre naturalmente	Relacionado con la evolución química del agua subterránea y la solución de minerales (puede estar agravado por la contaminación antrópica y/o la extracción excesiva)	Principalmente hierro y flúor solubles, a veces sulfato de magnesio, arsénico, manganeso, selenio y otras especies inorgánicas.

Fuente:Foster et al., 2007

1.5.4. Contaminación de acuíferos

La Tabla 2 presenta un resumen de los tipos más comunes de actividades capaces de ocasionar contaminación del agua subterránea significativa y los componentes contaminantes encontrados con mayor frecuencia. Es importante reconocer que estos difieren de los que generalmente contaminan las aguas superficiales,

consecuencia de los diferentes controles que gobiernan la movilidad y persistencia de los contaminantes en los respectivos sistemas hídricos.

Tabla 2: Contaminantes comunes del agua subterránea y fuentes de contaminación asociadas.

FUENTE DE CONTAMINACIÓN	TIPO DE CONTAMINANTE
Actividad Agrícola	Nitratos, amonio, pesticidas, organismos fecales
Saneamiento in situ	Nitratos, hidrocarburos halogenados, microorganismos
Gasolineras y garajes	Hidrocarburos aromáticos, benceno, fenoles, hidrocarburos halogenados
Disposición de residuos sólidos	Amonio, salinidad, hidrocarburos halogenados, metales pesados
Industrias metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloroetileno, hidrocarburos halogenados, fenoles, metales pesados, cianuro
Pintura y esmaltes	Alcalobenceno, hidrocarburos halogenados, metales, hidrocarburos aromáticos, tetracloroetileno
Industria maderera	Pentaclorofenol, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados
Tintorerías	Tricloroetieleno, tetracloroetileno
Manufactura de pesticidas	Hidrocarburos halogenados, fenoles, arsénico
Disposición de lodos residuales domésticos	Nitratos, hidrocarburos halogenados, plomo, cinc
Explotación/extracción de Gas y Petróleo	Salinidad (cloruro de sodio), hidrocarburos aromáticos
Minas de carbón y de metales	Acidez, varios metales pesados, hierro, sulfatos

Fuente: Hirata et al., 2007

Las aguas subterráneas se originan principalmente por exceso de precipitación que se infiltra directa o indirectamente en la superficie del suelo. Como consecuencia, las actividades humanas en la superficie pueden constituir una amenaza a la calidad del agua subterránea. La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre el subsuelo generado por descargas o lixiviado de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos subyacentes (Figura 1).

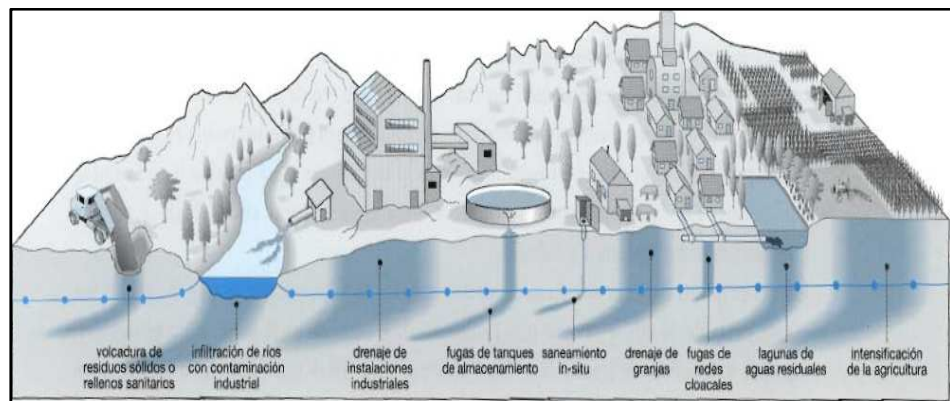


Figura 1: Procesos comunes de contaminación de agua subterránea.

Fuente: Foster et al., 2007

Los perfiles naturales del subsuelo atenúan muchos contaminantes en forma activa, e históricamente han sido considerados potencialmente eficaces para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas.

Las aguas subterráneas pueden ser contaminadas por sobreexplotación y otras actividades humanas causantes de riesgo de contaminación de acuíferos como las urbanizaciones, industrias, extracciones minerales, prácticas agropecuarias como cultivos de suelos y cría de animales, principalmente si están ubicadas en zonas de recarga. Una vez contaminado el reservorio de aguas subterráneas, su recuperación es difícil y en muchos casos prácticamente imposibles por el costo y tiempo que toma su limpieza, lo cual podría alcanzar décadas o siglos (Vargas, 2004).

1.5.5. Calidad de agua

La calidad, aún en relación con el agua, es un término abstracto y solo tiene importancia universal si está relacionada al uso que se le va a dar. Por ejemplo, un agua

suficientemente limpia que permite la vida, después puede ser demasiada pulida para ser usada en la manufactura de equipos electrónicos. Para decir si un agua es de calidad deseable para un propósito particular su calidad debe ser especificada en términos de uso. Muchos países han sido motivados a ejecutar programas especiales de vigilancia y control de calidad del agua como parte de las intervenciones de salud ambiental para así prevenir las diferentes enfermedades transmitidas por el agua y a causa de ésta se ha centrado en la calidad ya que es de tal gravedad las posibles consecuencias de la contaminación microbiana que su control y vigilancia deberá ser siempre de primordial importancia (Castro, 1992).

Los cambios en la calidad de las aguas subterráneas son causados por diferentes factores: por la introducción de sustancias químicas o biológicas en el medio ambiente subterráneo debida a la actividad humana, por la interferencia cuantitativa con los esquemas naturales de circulación, por procesos completamente naturales, o por diversas combinaciones posibles entre todos ellos (Vargas, 2004).

1.5.6. Indicadores microbianos de la calidad de agua

A causa de las enfermedades de origen hídrico y el interés de controlarlas, los estudios bacteriológicos del agua se han orientado, en su mayor parte, hacia sus aspectos sanitarios. Uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran presentes. En general, los métodos utilizados están diseñados para detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal.

Para prevenir y controlar la contaminación biológica del agua debería realizarse un seguimiento de la calidad bacteriológica de las aguas de suministro en zonas rurales, así como desarrollar y adaptar metodologías que permitan detectar la presencia de microorganismos patógenos que no pueden aislarse por métodos convencionales. (Mondaca & Campos, 2004).

La realización de frecuentes exámenes para determinar si el agua contiene organismos indicadores de contaminación fecal sigue siendo el modo más sensible y específico de estimar la calidad de agua desde el punto de vista de la higiene. Para que los resultados obtenidos tengan sentido, las bacterias indicadoras han de responder a determinados criterios: deben estar universalmente presentes y en gran número en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente, deben ser fáciles de detectar por métodos sencillos y no deben desarrollarse en el agua en condiciones naturales. Además es indispensable que su persistencia en el agua y el grado en que se eliminan durante el tratamiento de esta sean similares a las de los patógenos. Los indicadores microbianos de la calidad del agua son principalmente: *Escherichia coli*, Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, mesófilos heterótrofos viables y los enterococos.

Las bacterias indicadoras de contaminación fecal como son los coliformes termotolerantes pueden resultar alteradas o lesionadas en las aguas limpias. Estas bacterias lesionadas

son incapaces de crecer y formar colonias en condiciones habituales, dada la alteración que sufren en su estructura o en su metabolismo.

En consecuencia, una parte importante de las bacterias indicadoras de contaminación pueden pasar inadvertidas en un 10% a 90% y no ser detectadas, estos resultados bacteriológicos negativos falsos pueden deducir una inexacta definición de la calidad de agua, lo que es peor permitir una aceptación errónea de condiciones potencialmente peligrosas resultante de la presencia parcial o inadecuada, o en presencia de iones metálicos u otras sustancias tóxicas pueden existir numerosas bacterias indicadoras en condiciones anómalas, además de otros factores como la temperatura y pH extremo, radiación solar, etc.(Castro, 1992).

1.5.6.1. Coliformes

Se denominan organismos coliformes a bacterias Gram negativas en forma de bastoncillos,

que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensioactivos con propiedades de inhibición del desarrollo similares y fermentan la lactosa entre 35 y 37 °C produciendo ácido, gas y aldehído en plazo de 24 a 48 horas, son también oxidasa negativa y no forman esporas. Por definición las bacterias coliformes representan la actividad de β -galactosidasa; se trata de un grupo heterogéneo, pues la existencia de bacterias no fecales que responden a la definición de coliformes, como las bacterias coliformes lactosa- negativas limita la utilidad de este grupo como indicador de la contaminación fecal, sin embargo, en las aguas tratadas no deberían detectarse bacterias coliformes y cuando las hay, se puede pensar que el tratamiento ha sido insuficiente, que ha ocurrido una contaminación posterior o que la cantidad de nutrientes es excesiva. Por consiguientela prueba de los coliformes puede utilizarse como indicador de la eficiencia del tratamiento y de la integridad de su distribución (OMS, 1996).

1.5.6.2. Coliformes termotolerantes

Estas bacterias se definen como el grupo de organismos coliformes que pueden fermentar la lactosa entre 44 y 45 °C, comprende especies del género *Escherichia* y en menor grado, especies de los géneros *Proteus*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Los coliformes termotolerantes son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común, llamada *Escherichia coli* y, se transmiten por medio de los excrementos. *Escherichia* es una bacteria que se encuentra normalmente en la flora intestinal del hombre y en la de otros animales de sangre caliente. Hay diversas cepas de *Escherichia*; algunos no causan daño en condiciones normales y otros pueden incluso ocasionar la muerte (OMS, 1996).

Formas patógenas de *Escherichia* y de otras bacterias (que por tener forma similar se denominan genéricamente coliformes termotolerantes) se

transmiten, entre otras vía, a través de las excretas y comúnmente por la ingestión o el contacto con agua contaminada. *Escherichia* no sobrevive mucho tiempo en agua de mar, pero otros Coliformes termotolerantes sí, por lo que suelen reportarse en conjunto y todos conforman un indicador de la contaminación fecal.

1.5.6.3. *Escherichia coli*

Esta bacteria pertenece a la familia Enterobacteriaceae y se caracteriza por poseer enzimas β -galactosidasa y β -glucoronidasa. Se desarrolla a 44-45 °C en medios complejos. Fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas y produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37C° pero no a 44-45C° y algunas no liberan gas. *Escherichia coli* no produce oxidasa ni hidroliza la urea. Su identificación completa es demasiada complicada para utilizar en forma sistemática por lo que se han elaborado

pruebas que permitan identificación rápida con un alto grado de certidumbre, algunos de estos métodos se han normalizado a nivel nacional y se acepta su utilización sistemática mientras que otros aún se encuentran en fase de desarrollo o evaluación (OMS, 1996).

1.5.7. Principales contaminantes de origen químico

a) Aluminio

El aluminio es el elemento metálico más abundante y constituye alrededor del 8% de la corteza terrestre. Es frecuente la utilización de sales de aluminio en el tratamiento del agua como coagulantes para reducir el color, la turbidez, y el contenido de materia orgánica y de microorganismos. Este uso puede incrementar la concentración de aluminio en el agua tratada; una concentración residual alta puede conferir al agua color y turbidez no deseables. La principal vía de exposición al aluminio, de la población general, es el consumo de

alimentos, sobre todo de los que contienen compuestos de aluminio utilizados como aditivos alimentarios. La contribución del agua de consumo a la exposición total por vía oral al aluminio suele ser menor que el 5% de la ingesta total (OMS, 2008).

Al parecer, el ser humano absorbe mal el aluminio y sus compuestos, aunque la tasa y grado de absorción no se han estudiado adecuadamente para todos los sectores de la población. El grado de absorción del aluminio es función de varios parámetros, como el tipo de sal de aluminio administrada, el pH (que influye en la especiación y solubilidad del aluminio), la biodisponibilidad y factores nutricionales. Estos parámetros deben tenerse en cuenta en la dosimetría de tejidos y evaluación de la respuesta. Debido a estas consideraciones específicas acerca de la toxicocinética y toxicodinámica del aluminio, no es adecuado determinar un valor de referencia basado en los estudios con animales disponibles actualmente (OMS, 2008).

Hay escasos indicios de que la ingestión de aluminio por vía oral produzca toxicidad aguda en el ser humano, a pesar de la frecuente presencia del elemento en alimentos, agua de consumo y numerosos antiácidos. Se ha sugerido la hipótesis de que la exposición al aluminio es un factor de riesgo para el desarrollo o aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. La monografía de la OMS de 1997 sobre el aluminio de la serie Criterios de Salud Ambiental (CSA) concluye que: En definitiva, la correlación positiva entre el aluminio del agua de consumo y la enfermedad de Alzheimer, detectada en varios estudios epidemiológicos, no se puede descartar totalmente. No obstante, es preciso plantear reservas importantes respecto de la inferencia de una relación causal, dado que estos estudios no han tenido en cuenta factores de confusión demostrados ni la ingesta total de aluminio de todas las fuentes (OMS, 2008).

En su conjunto, los riesgos relativos de enfermedad de Alzheimer por exposición a concentraciones de aluminio en el agua de consumo mayores que 100 µg/l,

según determinan estos estudios, son bajos (menores que 2). Pero, dado que las estimaciones del riesgo son imprecisas, por diversos motivos de tipo metodológico, no se puede calcular con precisión un riesgo atribuible poblacional. Estas predicciones imprecisas pueden, no obstante, ser útiles para adoptar decisiones relativas a la necesidad de controlar la exposición al aluminio de la población general (OMS, 2008).

Debido a las limitaciones de los datos de estudios con animales como modelo para el ser humano y la incertidumbre a la que están sujetos los datos de estudios con personas, no puede calcularse actualmente un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el aluminio (OMS, 2008).

Se reconocen los efectos beneficiosos del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento del agua. Teniendo esto en cuenta, y también los posibles efectos perjudiciales para la salud del aluminio (es decir, su posible neurotoxicidad), se calcula una concentración

factible, basada en la optimización del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua de consumo que utilizan coagulantes que contienen aluminio, para reducir al mínimo las concentraciones de aluminio en aguas tratadas (OMS, 2008).

Antecedentes de la determinación del valor de referencia.

Las Normas para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al aluminio. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia de 0,2 mg/l para el aluminio, basado en consideraciones relativas a las características organolépticas del agua (como valor de compromiso, teniendo en cuenta la utilidad del uso de compuestos de aluminio en el tratamiento del agua y el objetivo de evitar la coloración del agua que puede observarse si quedan concentraciones superiores a 0,1 mg/l en el agua distribuida) (OMS, 2008).

b) Boro

Los compuestos de boro se utilizan en la fabricación de vidrio, jabones y detergentes, y también como ignífugos. La mayor exposición al boro de la población general es mediante el consumo de alimentos, ya que se encuentra naturalmente en muchas plantas comestibles. El boro se encuentra de forma natural en aguas subterráneas, pero su presencia en aguas superficiales con frecuencia es consecuencia del vertido en aguas superficiales de efluentes de aguas residuales tratadas (a las que accede por su utilización en ciertos detergentes) (OMS, 2008).

Tabla 3: Información adicional sobre el Boro

Valor de referencia provisional	0,05 mg/l Este valor de referencia se designa como provisional porque con las técnicas de tratamiento disponibles será difícil alcanzarlo en zonas con concentraciones naturales de boro elevadas.
Presencia	Las concentraciones varían mucho en función de la geología de la zona y de los vertidos de aguas residuales. Se estima que la concentración de boro en el agua de consumo, en la mayor parte del mundo es de 0.1 a 0.3 mg/l.
IDT	0.16 mg/kg de peso corporal, basada en una DSEAO de 9.6 mg/kg de peso corporal al día para embriotoxicidad (disminución del peso de fetos de ratas) y aplicando un factor de incertidumbre de 60 (100 para la variación interespecífica y 6 para la intraespecífica).
Limite de detección	0.2 µg/l mediante ICP/MS:6-10 µg/l mediante ICP/AES
Concentración alcanzable mediante tratamiento	Los tratamientos convencionales del agua (coagulación, sedimentación y filtración) no eliminan cantidades significativas de boro, por lo que es necesario utilizar métodos especiales para eliminarlo de las aguas que tengan concentraciones altas. Mediante tratamientos de intercambio iónico y de ósmosis inversa puede conseguirse una disminución sustancial, pero su coste puede resultar prohibitivo. Posiblemente, el único método económico para disminuir la concentración de boro en aguas con concentraciones altas sea la mezcla con aguas con concentraciones bajas de boro
Calculo del valor de referencia • Asignación al agua • Peso • Consumo	10% de la IDT Adulto de 60 kg 2 litros al día

Fuente: OMS, 2008

Reseña toxicológica

Las exposiciones tanto breves como prolongadas de animales de laboratorio al ácido bórico o al bórax por vía oral han demostrado, invariablemente, su toxicidad para el aparato reproductor masculino. Se han observado lesiones testiculares en ratas, ratones y perros a los que se suministró ácido bórico o bórax en los alimentos o en el agua de consumo. Se ha demostrado experimentalmente su embriotoxicidad en ratas, ratones y conejos. Los resultados negativos de numerosas pruebas de mutagenia indican que el ácido bórico y el bórax no son genotóxicos. En estudios a largo plazo en ratones y ratas, el ácido bórico y el bórax no aumentaron la incidencia de tumores (OMS, 2008).

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al

boro. La primera edición de las guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, concluyó que no era preciso adoptar medidas con respecto al boro. En las Guías de 1993 se estableció un valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 0,3 mg/l para el boro, y se señaló que la eliminación del boro mediante el tratamiento del agua de consumo parece ser deficiente. Este valor de referencia se aumentó a 0,5 mg/l en el apéndice a las Guías publicado en 1998 y se designó como provisional porque, con la tecnología de tratamiento disponible, será difícil alcanzarlo en zonas con concentraciones naturales de boro altas (OMS, 2008).

c) Manganeseo

La presencia de manganeseo a concentraciones mayores que 0,1 mg/L en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeseo en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de

depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0,1 mg/L suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0,2 mg/L, el manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro. El valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el manganeso es cuatro veces mayor que el mencionado umbral de aceptabilidad de 0,1 mg/L (OMS, 2008).

El manganeso es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, y su presencia suele estar asociada a la del hierro. Se utiliza principalmente en la fabricación de aleaciones de hierro y acero, como oxidante para la limpieza, el blanqueado y la desinfección en forma de permanganato potásico, y como ingrediente de diversos productos. Más recientemente, se ha utilizado en América del Norte en un compuesto orgánico, el MMT (Mezcla trisilicato de magnesio), como potenciador del octanaje de la gasolina. En algunos lugares se utilizan arenas verdes de manganeso para el tratamiento del agua

potable. El manganeso es un elemento esencial para el ser humano y otros animales y está presente de forma natural en muchos alimentos. Los estados de oxidación más importantes para la biología y el medio ambiente son el Mn^{2+} , el Mn^{4+} y el Mn^{7+} . Hay manganeso de origen natural en muchas fuentes de aguas superficiales y subterráneas, sobre todo en condiciones anaerobias o de microoxidación, y es la fuente más importante de manganeso en el agua de consumo, aunque la mayor exposición proviene, habitualmente, de los alimentos (OMS, 2008).

Reseña toxicológica

El manganeso es un elemento esencial para el ser humano y otros animales. Tanto la carencia como la sobreexposición pueden causar efectos adversos. Se sabe que el manganeso produce efectos neurológicos tras la exposición por inhalación, especialmente de tipo laboral, y hay estudios epidemiológicos que han notificado efectos neurológicos adversos tras la exposición prolongada a concentraciones muy altas en el agua de consumo. Sin embargo, en esos estudios hay varios posibles factores de

confusión significativos y en otros varios estudios no se han observado efectos adversos tras la exposición por el agua de consumo. Los datos de estudios en animales, especialmente en roedores, no son convenientes para la evaluación de riesgos en las personas debido a que las necesidades orgánicas de manganeso varían entre las especies. Además, el valor de los roedores para la evaluación de efectos neuroconductuales es limitado, debido a que los efectos neurológicos observados en los primates (como los temblores o los trastornos de la marcha) a menudo van precedidos o acompañados de síntomas psíquicos (como irritabilidad o inestabilidad emocional) que no se observan en los roedores. La utilidad para una evaluación cuantitativa de riesgos del único estudio en primates es limitada, debido a que se estudió una sola dosis en un número reducido de animales y no se informó del contenido de manganeso en la alimentación de base (OMS, 2008).

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS, de 1958, sugirieron que concentraciones de manganeso superiores a 0,5 mg/L afectarían notablemente a la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 conservaron este valor como concentración máxima admisible o permisible. En la primera edición de las guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia de 0,1 mg/L para el manganeso basado en sus propiedades colorantes.

Las Guías de 1993 concluyeron que, a pesar de que ningún estudio es adecuado por sí solo para el cálculo de un valor de referencia, el conjunto de las pruebas de estudios de la ingesta diaria real y de toxicidad en animales de laboratorio a los que se suministró manganeso en el agua de bebida, un valor de referencia provisional basado en efectos sobre la salud de 0,5 mg/L debería ser adecuado para proteger la salud pública. También se señaló que los consumidores suelen considerar aceptable

el agua con concentraciones inferiores a 0,1 mg/L, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales (OMS, 2008)

d) Sodio

El umbral gustativo del sodio en el agua depende del anión asociado y de la temperatura de la solución. A temperatura ambiente, el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/l aproximadamente. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.

Las sales de sodio (por ejemplo, el cloruro sódico) se encuentran en casi todos los alimentos (la principal fuente de exposición diaria) y en el agua de consumo. Aunque las concentraciones de sodio en el agua potable normalmente son inferiores a 20 mg/l, en algunos países pueden superar en gran medida esta cantidad. Se debe señalar que algunos ablandadores del agua pueden incrementar notablemente el contenido de sodio del agua de consumo.

No se pueden extraer conclusiones definitivas con respecto a la posible asociación entre la presencia de sodio en el agua de consumo y la hipertensión. Por consiguiente, no se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/l, el agua podría tener un gusto inaceptable (OMS, 2006).

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al sodio. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se concluyó que no había pruebas suficientes para justificar el establecimiento de un valor de referencia para el sodio en el agua basándose en consideraciones relativas al riesgo para la salud, pero se señaló que la ingesta de sodio en el agua de consumo puede afectar más a las personas que requieren una dieta baja en sodio y a los lactantes alimentados con

biberón. Se estableció un valor de referencia para el sodio de 200 mg/l, basado en consideraciones gustativas. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sodio, no obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/l, el agua podría tener un gusto inaceptable (OMS, 2008).

e) Níquel

El níquel se utiliza principalmente en la producción de acero inoxidable y de aleaciones de níquel. Los alimentos son la principal fuente de exposición al níquel en personas no fumadoras y no expuestas al níquel por motivos laborales; la contribución del agua a la ingesta diaria total por vía oral es poco importante. No obstante, en lugares con gran contaminación, en zonas con movilización de níquel de origen natural en aguas subterráneas o donde se utilizan ciertos tipos de recipientes para hervir agua, materiales no resistentes en pozos o agua que haya estado en contacto con grifos recubiertos de níquel o cromo, la

contribución del agua a la ingesta de níquel podría ser significativa.

Reseña toxicológica

El CIIC concluyó que la inhalación de compuestos de níquel es cancerígena para el ser humano (Grupo 1) y que el níquel metálico es posiblemente cancerígeno (Grupo 2B). Sin embargo, no hay pruebas sobre el riesgo de carcinogenia derivado de la exposición al níquel por vía oral. En un estudio de toxicidad para la función reproductora bien realizado en dos generaciones de ratas a las que se administró níquel mediante alimentación forzada, se observó una DSEO evidente en las ratas adultas y sus crías para todos los criterios de valoración analizados, incluidas la integridad y la actividad del aparato reproductor de machos y hembras, el crecimiento y desarrollo de las crías y la mortalidad embrionaria y perinatal. La dermatitis alérgica de contacto es el efecto más frecuente de la exposición al níquel en la población general.

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al níquel. En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se concluyó que los datos toxicológicos disponibles indicaban que no era necesario establecer un valor de referencia para el níquel en el agua de consumo. En la segunda edición de las Guías, publicada en 1993, se calculó un valor de referencia basado en efectos sobre la salud de 0,02 mg/l, que debía ofrecer protección suficiente a las personas sensibles al níquel. Este valor de referencia se mantuvo en el apéndice a la segunda edición, publicado en 1998, porque, según los datos disponibles, se consideró que ofrecía protección suficiente a las personas sensibles al níquel. No obstante, el valor de referencia se designó como provisional debido a las incertidumbres que existen sobre la dosis con la que se

produce mortalidad perinatal. Este valor se incluyó en la tercera edición. (OMS, 2008).

1.5.8. Características fisicoquímicas de las aguas subterráneas

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc.

1.5.8.1. Turbidez

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en

suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros (Glynn&Heinke,2000).

La turbidez en el agua de consumo está causada por la presencia de partículas de materia, que pueden proceder del agua de origen, como consecuencia de un filtrado inadecuado, o debido a la resuspensión de sedimentos en el sistema de distribución. También puede deberse a la presencia de partículas de materia inorgánica en algunas aguas subterráneas o al desprendimiento de biopelículas en el sistema de distribución. El aspecto del agua con una turbidez menor que 5 UNT suele ser aceptable para los consumidores, aunque esto puede variar en función de las circunstancias locales. Las partículas pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y

pueden estimular la proliferación de bacterias. Siempre que se someta al agua a un tratamiento de desinfección, su turbidez debe ser baja, para que el tratamiento sea eficaz (OMS, 2008).

Además, la turbidez también es un parámetro operativo importante en el control de los procesos de tratamiento, y puede indicar la existencia de problemas, sobre todo en la coagulación y sedimentación y en la filtración.

No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 UNT para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de los procesos(OMS, 2008).

1.5.8.2. Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely,2003).

1.5.8.3. Potencial de Hidrógeno

El pH es el logaritmo negativo de la concentración molar, el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrogeno presente. Es medido en una escala de cero a catorce, en la cual siete indican que la sustancia es neutra.

Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las fases del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias. Para que la desinfección con cloro sea eficaz, es preferible que el pH sea menor que 8; no obstante, el agua con un pH más bajo será probablemente corrosiva. Si no se reduce al mínimo, la corrosión puede provocar la contaminación del agua de consumo y efectos adversos en su sabor y aspecto. El pH óptimo necesario variará en distintos sistemas de abastecimiento en función de la composición del agua y la naturaleza de los materiales empleados en el sistema de distribución, pero suele oscilar entre 6,5 y 8,0 (OMS, 2008).

Pueden producirse valores de pH extremos como consecuencia de vertidos accidentales, averías de las instalaciones de tratamiento, y del

revestimiento de tuberías con mortero de cemento poco curado o la aplicación del revestimiento cuando la alcalinidad del agua es baja. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua (OMS, 2008).

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que un pH inferior a 6,5 o superior a 9,2 afectaría notablemente a la potabilidad del agua. Las normas internacionales de 1963 y 1971 mantuvieron el intervalo 6,5-9,2 del pH como intervalo admisible o permisible. En la primera edición de las guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció como valor de referencia para el pH un

intervalo de 6,5 a 8,5, basado en consideraciones relativas a las características organolépticas del agua. Se señaló que el intervalo aceptable de pH podría ser más amplio en ausencia de un sistema de distribución. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua, siendo su valor óptimo generalmente de 6,5 a 9,5 (OMS, 2008).

1.5.8.4. Temperatura

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto.

A efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zonaneutral" de

temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente, por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradiente geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que en áreas continentales, se considera normal cuando es de 3°C/100 m (Rigola ,1999).

1.5.8.5. Sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica

El agua es muy efectiva para disolver sales y algún tipo de materia orgánica debido a la naturaleza de polarización eléctrica de la molécula del agua y su tendencia a disociarse en sus iones constituyentes. Estos iones cargados positivamente y negativamente son extremadamente eficaces para su unión a iones minerales de carga contraria para dar iones hidratados, y así disolverlos.

La cantidad de materia disuelta en una muestra de agua se denomina Sólidos Totales Disueltos (STD). Los STD se determinan sometiendo a calentamiento a la muestra hasta 180 °C de manera que se evapore el agua, dejando un residuo seco que pueda ser pesado. Como estos componentes disueltos se encuentran principalmente en forma iónica las disoluciones de agua son unos conductores de la electricidad (determinada como conductividad eléctrica (CE) en microsiemens por centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$). Como la CE del agua aumenta con un incremento en el contenido iónico, la CE es aproximadamente proporcional a los STD. La CE es una medida de campo útil del grado de mineralización del agua (Senior, 1998).

La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad, para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad. El total de sólidos disueltos

(TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles (Rigola,1999).

Los Sólidos Totales son la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada, y los sólidos en suspensión es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser detenidos en un filtro (Rigola ,1999).

1.5.8.6. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad total o título alcalimétrico total (TAC) mide la capacidad de neutralización hasta pH 4,5 y la

alcalinidad simple o título alcalimétrico(TA) hasta pH 8,3. En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn & Heinke 2000).

1.5.8.7. Acidez

Es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, sin embargo, su presencia afecta a tuberías o calderas por corrosión. Se mide con las mismas unidades de la alcalinidad y se determina mediante adición de bases (Rigola ,1999).

1.5.9. Importancia del agua subterránea

La cantidad del agua subterránea dentro de 800 metros, bajo la superficie es 30 veces la cantidad de toda el agua dulce de lagos y embalses y mayor de 3000 veces la cantidad de agua de superficie en cauces y canales en cualquier momento dado.

El incremento en el estudio y desarrollo de los acuíferos y la expansión de los usos en la agricultura indican algunas ventajas concretas para el desarrollo y el uso del agua subterránea en comparación con el agua de superficie. A diferencia de otras fuentes de agua usada para el regadío y otras necesidades, el agua subterránea puede desarrollarse rápidamente y cerca del lugar de uso, eliminando la necesidad de canales o tuberías largas que generan mayor costo(Prieto ,2004).

Fuentes de captación

El agua subterránea se halla debajo de la superficie y rellena los poros de sedimentos sueltos o cementados, cuya forma, tamaño y disposición de cavidades debe tomarse en cuenta, así como el movimiento del agua, cuyo origen puede ser: agua de infiltración desde la superficie, agua condensada en el suelo y agua surgente desde el interior de la tierra (Prieto 2004).

Esta agua se encuentra comprendida en una formación de roca que contiene cantidades suficientes de esta para ser explotada y traída a la superficie mediante pozos (Kiely, 2003).

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Materiales

A) Material de vidrio:

- Frascos de muestreo de 500 mL graduados con tapa
- Probeta de 250 y 100 mL
- Pipeta 5 mL
- Pipeta 10 mL
- Pipeta de 1 mL
- Tubos de ensayo 15x125 mm
- Tubos de ensayo 18x125 mm
- Matraz 250 mL
- Tubos Durham de fermentación

B) Medios y reactivos

- Medios de cultivo:
- Caldo Lauril Sulfato

- Caldo Brilla
- Caldo EC
- Agua de dilución

Reactivos:

- Reactivo de Kovac (indicador de rojo fenol)
- Metanol

C) Equipos:

- Balanza analítica
- Refrigeradora
- Microondas
- Incubadoras temperadas

D) Otros materiales:

- Bombillas para succión
- Hielo seco artificial
- Cooler

- pH metro
- Conductímetro electrónico
- Mascarilla de protección
- Guantes quirúrgicos
- Mechero bunsen
- Cordón de nylon
- Pabilo
- Plumón marcador

2.2. Métodos

2.2.1. Diseño de investigación

En este estudio se llevó a cabo una investigación de nivel descriptiva longitudinal (Sampieri, 2010).

2.2.2. Variables.

- **Independiente:** Grado de contaminación del agua subterránea.
- **Dependiente:** Calidad Bacteriológica y fisicoquímica de las aguas subterráneas.

2.2.3. Indicadores:

- Coliformes totales
- Coliformes termotolerantes
- *Escherichia coli*
- Metales pesados
- Parámetros físico químicos

2.2.4. Área de estudio.- La zona de estudio estuvo comprendida por los sectores agrícolas de Santa Rosa, Omo y Rinconada del distrito de Moquegua(Figura 2).

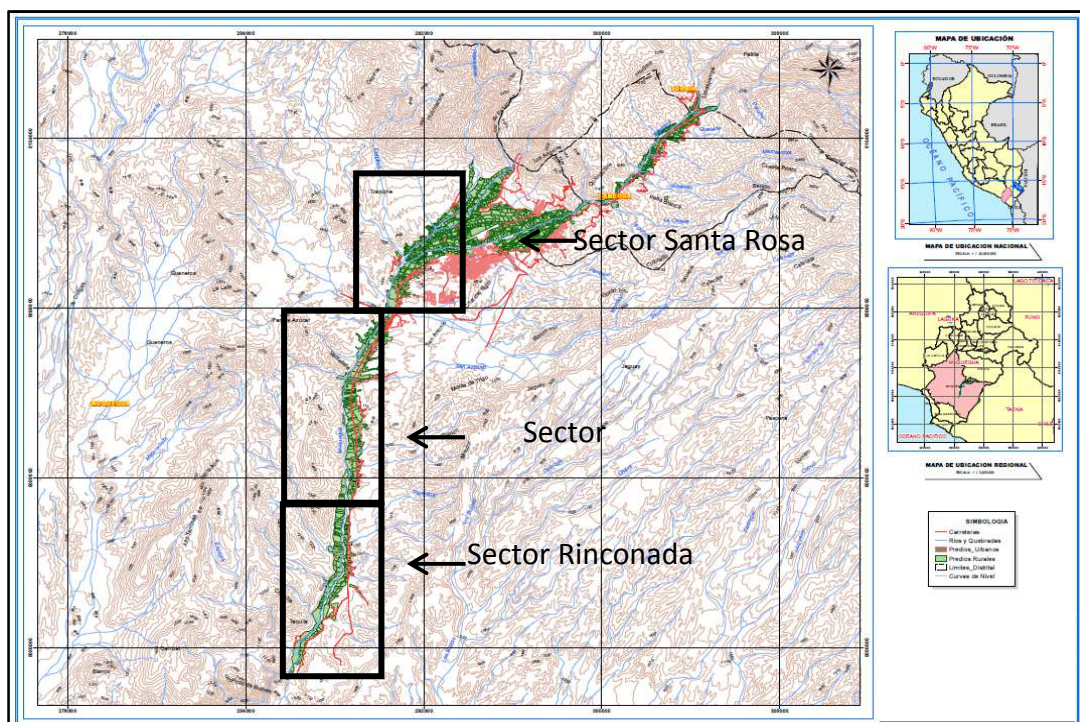


Figura. 2: Ubicación geográfica de la zona en estudio
Fuente: Elaboración propia

2.2.5. Características generales de la zona de estudio

La Región de Moquegua se encuentra en la zona sur occidental del país, entre las coordenadas 15° 57' a 17° 53' de latitud sur y 70°00' a 71° 23' de longitud oeste. Limita por el norte con la Región Arequipa y Puno, por el sur con Tacna y el Océano Pacífico; por el este con las regiones Puno y Tacna y por el oeste con la Región Arequipa y Océano Pacífico. La superficie es de 16174,65 km² y, representa el 1,22% del territorio nacional; su altitud abarca zonas de la costa y región andina, desde alturas que varían desde los 0 metros hasta más de 5000 m.s.n.m.

La ciudad de Moquegua es la capital del departamento, se ubica a 1410 m.s.n.m. entre las coordenadas 17°11'27" de latitud sur y 70°55'54" de longitud oeste. Con una superficie de 3380,98km². El sector agrícola de Santa Rosa está ubicado a 2km al sur de la ciudad, limita por el norte con la carretera Panamericana Sur, por el sur con la carretera Panamericana Sur y terrenos de cultivo del sector agrícola de Omo, por el este y oeste con terrenos eriazos del Estado, tiene un perímetro aproximado de 23503,03m y un área de

601,76 Ha; El sector agrícola de Rinconada está ubicado a 15km al sur de la ciudad de Moquegua, limita por el norte con el río Moquegua y terrenos de cultivo del sector agrícola de Omo (subsector Corpanto), por el sur con el río Moquegua y terrenos eriazos del Estado, por el este y oeste con terrenos eriazos del Estado, tiene un perímetro aproximado de 46 979m y un área de 425,42 Ha. Moquegua presenta un clima entre cálido, templado y soleado, con una amplitud térmica moderada que oscila entre los 25,8°C y 11,3 °C, con una temperatura media anual de 25 °C similar al clima seco de yunga (sierra baja) y desierto subtropical.

2.3. Metodología de campo

Se debe indicar que de los 16 puntos de muestreo de agua subterránea (Tabla 4) se tomaron 3 muestras, en fechas distintas comprendidas en los meses julio, agosto, setiembre y octubre del 2014, haciendo un total de 48 muestras de agua subterránea. Asimismo, se tomó 2 muestras por cada uno de los 16 puntos de agua subterránea que muestra la Tabla 4 de los tres sectores agrícolas Santa Rosa, Omo y Rinconada del distrito de Moquegua,

establecidos según el Estudio Hidrogeológico del Valle Moquegua - Ilo, 2003.

La Tabla 4 indica el nombre de los lugares de cada sector con sus respectivas coordenadas UTM (Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator) y altitud.

Tabla 4: Datos de los lugares de muestreo

P M	Lugares de muestreo	Sector	Coordenadas UTM	Altitud m.s.n.m
1	Fundo Lucuy - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8098452 / 0292157	1328
2	Campo Ferial, Ex fundo Gambeta - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8096966 / 0290810	1265
3	La Condesa, Sector Calaluna - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8095292 / 0290317	1225
4	Chimba Baja, Fam. Mamani - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8099478 / 0292694	1345
5	Chimba Baja, Fam. Aduviri Poma - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8099472 / 0292742	1337
6	Fam. Torres Valdivia - Sector Santa Rosa	Santa Rosa	8098635 / 0293385	1367
7	La Bodeguilla, Fam. Saira - Sector Omo	Omo	8090319 / 0288780	1120
8	Fundo Corpanto, Fam. Romero - Sector Omo	Omo	8088671 / 0288528	1096
9	Fundo Omo, Fam. Centeno - Sector Omo	Omo	8092421 / 0288762	1172
10	Fundo Zapata, Fam. Zapata - Sector Omo	Omo	8093068 / 0289610	1214
11	Callejon San Jose, Fam. Rueda Vargas - Sector Omo	Omo	8087871 / 0288697	1070
12	Fundo Mayorazgo - Sector Rinconada	Rinconada	8082722 / 0288156	991
13	Fundo el Palomar, Fam. Valderrama Rivera - Sector Rinconada	Rinconada	8081087 / 0287434	976
14	Fundo el Molle, Espejos, Fam. Viza Quispe - Sector Rinconada	Rinconada	8079360 / 0286486	937
15	Fundo la Pampa, Espejos, Fam. Viza Chura - Sector Rinconada	Rinconada	8079239 / 0286520	955
16	Rest. Sabor de Mi Tierra, El conde, Fam. Chipana - Sector Rinconada	Rinconada	8083873 / 0288577	1014

Fuente: Elaboración propia

A. Tipo de estudio, tamaño de la muestra y recolección de datos (Creswell,2008)

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, por lo que se utilizó un procedimiento no aleatorio según John W. Creswell, 2008.

Se obtuvieron 48 muestras de los tres sectores elegidos en fechas distintas indicadas en el Tabla7, en cada muestreo se tomó 2 submuestras por cada muestra, una para el análisis microbiológico y la otra para el análisis fisicoquímico.

B. Recolección de muestras

Se procedió a coleccionar primero en frascos de vidrio de boca ancha con tapa rosca de 250ml de capacidad, utilizando 1 frasco por cada punto de muestreo establecido, luego en frascos de plástico con tapa rosca de 200 ml de capacidad, utilizar un frasco por cada punto de muestreo establecido, la muestra es suficiente para realizar las determinaciones fisicoquímica, colocar

en posición vertical en los coolers acondicionados con pilas de hielo para su transporte.

C. Tiempo de transporte al laboratorio y preservación de las muestras.

Los frascos fueron transportados en un cooler de plástico, especializado para conservar muestras. El cooler tenía suficiente espacio para colocar las bolsas con la mezcla refrigerante que permitió que la muestra se conserve a temperatura de refrigeración.

En la parte interna del cooler también se colocó el formulario detallado con los datos de la recolección de las muestras y su descripción.

En el laboratorio la muestra fue conservada a temperatura de refrigeración hasta el inicio del examen. Las muestras fueron llevadas al laboratorio del DIRESA- Moquegua y se trabajaron al mismo tiempo, por lo que se tuvo en cuenta las características

del punto de muestreo así como la fecha, hora y parámetros de campo.

D. Datos de la etiqueta o ficha

- Identificación del punto de muestreo.
- Número de muestra o código.
- Fecha.
- Hora de recolección
- Volumen enviado (dependiendo del tipo de análisis).
- Temperatura.
- Indicar los parámetros analíticos del laboratorio.
- Nombre y firma de la persona que realizó el muestreo.
- Observaciones: (se incluyó alguna característica saltante fuera de lo común)

2.4. Metodología de laboratorio

A. Análisis microbiológicos(APHA,2005)

Para la estimación de organismos Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y *E. coli* se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP), este método está reconocido por el APHA, 2005.

Los medios de cultivo para la técnica del Número Más Probable (NMP), que se utilizó fueron: Caldo lauriltriptosa (CLT), Caldo verde brillante bilis lactosa (BRILLA), Caldo EC, como diluyente Agua de Peptona, y Reactivo de Kovac.

2.4.1. Determinación de coliformes

1. Se empezó por la dilución de la muestra, utilizando como diluyente agua peptonada. Se agitó vigorosamente aproximadamente 25 veces para asegurar una buena homogenización, transferir con una pipeta estéril un volumen de 10mL de la muestra a un frasco con 90 ml de

agua de dilución. De esta manera se obtuvo la primera dilución 10^{-1} mL.

2. Se procedió a homogenizar el frasco que contenía la dilución (10^{-1} mL) y, con una nueva pipeta estéril se transfirió 10 mL a un nuevo frasco de dilución, teniendo así la segunda dilución (10^{-2} mL). Se continuó con este proceso hasta realizar todas las diluciones del caso.

2.4.2. Prueba presuntiva para la determinación de coliformes (APHA, 2005)

1. Se preparó una batería con tres series, de cinco tubos cada serie, conteniendo 10 mL de CLS (caldo lauril sulfato) de concentración doble (la primera serie) y dos series de cinco tubos, de concentración normal (la segunda y tercera serie). Estas series dependió del número de diluciones que se hallan realizado de la muestra, se colocó los tubos en gradillas y se codificó, anotando los números asignados a la muestra y dilución a inocular.

2. Se agitó vigorosamente el frasco con la última dilución efectuada y con una pipeta estéril se transfirió 1 mL de la dilución en cada uno de los tubos con CLS de concentración simple correspondiente a dicha dilución, se transfirió también 1 mL de la muestra original a las baterías con tubos con CLS de concentración simple y 10 mL a tubos de CLS de doble concentración.
3. Se incubó los tubos a $35 \pm 0,5$ °C. Después de 24 ± 2 horas se examinó y separó los tubos con CLS positivos que fueron aquellos que presentaron formación de gas en el tubo Durham y turbiedad en el caldo, se anotó los resultados. Todos los tubos positivos se pasaron a la siguiente fase, la prueba confirmatoria; se volvió a incubar los tubos negativos por 24 horas más, y se realizó la segunda lectura a las 48 horas, nuevamente se separaron los tubos y se anotaron los resultados de los tubos positivos, por último se pasó a la prueba confirmativa.

2.4.3. Prueba confirmatoria: Coliformes Totales(APHA, 2005)

1. Se colocó en gradillas los tubos conteniendo el medio BRILLA atemperados previamente durante 30 minutos a temperatura ambiental, se codificó cada tubo con el número asignado a la muestra, y con la dilución asignada.
2. Se procedió a una completa homogenización de los tubos de la prueba presuntiva antes de ser inoculados a los tubos con el caldo BRILLA.
3. Con un asa de siembra estéril, se transfirió una o más asadas de un cultivo positivo de CLS a un tubo con el medio BRILLA, se repitió el mismo procedimiento para todos los tubos presuntivos, controlando que el tiempo transcurrido entre la inoculación y la incubación no exceda de 30 minutos, luego se incubó los tubos inoculados a $35 \pm 0,5$ °C por 24 ± 3 h.
4. Se retiró los tubos de la incubadora luego del periodo de incubación, se agitaron suavemente para observar la producción de gas en los tubos Durham y turbiedad en el

caldo, se anotaron los resultados. Se volvieron a incubar los tubos negativos por otras 24 ± 3 h.

5. Se realizó la segunda lectura, nuevamente se separaron y anotaron los resultados de los tubos positivos, los tubos negativos no se tomaron en cuenta.
6. Con los resultados obtenidos de las dos lecturas se calculó el Número Más Probable (NMP) de acuerdo a las porciones y combinaciones (5 tubos para aguas) empleadas en las tablas.

2.4.4. Prueba confirmatoria para Coliformes Termotolerantes (APHA, 2005)

1. Se colocó en gradillas los tubos contenido el medio EC atemperados durante treinta minutos a una temperatura de $44,5 \pm 0,2$ °C se codificó cada tubo con el número asignado y la dilución a inocular. Se agitó los tubos positivos de la prueba presuntiva para una completa

homogenización antes de ser inoculados a los tubos con el caldo EC evitando tocar la película superficial.

2. Con un asa de siembra estéril, se transfirió una o dos asadas de los tubos positivos de CLS a los tubos con el medio EC controlando que el tiempo transcurrido entre la inoculación y la incubación no excediera los 30 minutos, luego se incubó los tubos inoculados a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ en incubadora a baño María por 24 ± 2 horas.
3. Se retiró los tubos del baño María luego del periodo de incubación, se agitó suavemente para observar la producción de gas y se procedió a realizar la lectura, considerando positiva toda formación de gas en los tubos Durham (Fermentación) y turbiedad en el caldo. Se anotó los resultados.
4. Con los resultados obtenidos se calculó el NMP de acuerdo a las porciones y combinaciones empleadas en las tablas.

2.4.5. Prueba confirmatoria: *Escherichia coli* (APHA, 2005)

1. De los tubos positivos del caldo EC se transfirió 1 o 2 asadas a tubos conteniendo 5mL de Caldo de Triptona y se incubaron a $44,5 \pm 0,2$ °C en incubadora a baño María por 24 ± 2 horas, luego se procedió a añadir 3 gotas o 0,5mL de reactivo de Kovac, una reacción positiva a la presencia de *E. coli* generó un anillo de color rojo grosella en la parte superior del medio contenido en el tubo.
2. Con los resultados obtenidos se calculó el NMP de acuerdo a las porciones y combinaciones empleadas en las tablas.

2.4.6. Determinación del Número más Probable (NMP)(APHA, 2005)

1. Se calculó la densidad probable de bacterias coliformes totales, termotolerantes y *E. coli* basada en la combinación de los resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución. La densidad de coliformes se expresó como NMP de coliformes por 100mL y se

obtuvo a través de tablas en las que se presenta el límite de confianza de 95% para cada valor de NMP determinado.

2. Los valores de NMP, para una variedad de combinaciones de tubos positivos y negativos se dan en las tablas de NMP. Los valores de NMP presentados en el (Anexo 1) se refieren específicamente a la combinación de resultados positivos obtenidos cuando son inoculados series de 5 tubos con volúmenes de 10mL, 1mL, 0,1mL de muestra. Si los volúmenes de muestra inoculados se encuentran en la tablas reportar el valor correspondiente al número de tubos positivos como NMP/100mL, cuando se inoculan más de tres series de diluciones decimales, se deben seleccionar las tres diluciones más apropiadas consecutivas.

3. Se calculó el valor de NMP de acuerdo a la siguiente fórmula

$$\text{NMP/100mL} = (\text{Valor NMP/100mL tabla}) \times 10/v(*)$$

(*) Volumen de muestra inoculada en la primera dilución seleccionada.

B. Análisis fisicoquímicos

Cada parámetro de campo se determinó por el método más adecuado y conocido, especificado a continuación.

2.4.7. Determinación de pH por el método electrométrico (APHA, 2005)

Procedimiento

1. Antes del uso se extrajeron los electrodos de la solución de conservación, se lavó y secó con un paño suave.
2. Se colocó en la solución tampón inicial pH 7, para calibrar.
3. Se extrajo los electrodos de la solución tampón, se lavó y secó con un paño suave de nuevo.
4. Se colocó en la segunda solución tampón pH 4, para calibrar.
5. Se extrajo los electrodos de la segunda solución tampón, se lavó y secó con un paño suave de nuevo.

6. Se colocó los electrodos en la muestra y se agitó para asegurar la homogeneidad. Se anotó la lectura de las unidades de pH.
7. Se calculó el promedio de las dos lecturas realizadas por cada muestra.

2.4.8. Determinación de la Conductividad por el método Conductimétrico (APHA, 2005)

Procedimiento

1. Se agitó la muestra para homogenizar.
2. Antes de su uso se extrajeron los electrodos de la solución de conservación, se lavó y secó con un paño suave.
3. Se colocó los electrodos en la muestra y se agitó para asegurar la homogeneidad. Se anotó la lectura.
4. Se calculó el promedio de las dos lecturas realizadas por cada muestra.

2.4.9. Determinación de Turbidez por el Método Nefelométrico (APHA, 2005)

Procedimiento

1. Se agitó la muestra para homogenizar.
2. Se ambientó la celda de medición con la muestra.
3. Se agregó 15 mL de muestra en la celda y se colocó en el turbidímetro.
4. Se leyó el valor mostrado por el equipo
5. Se repitió la medición con muestra nueva.
6. Se calculó el promedio de las dos lecturas realizadas por cada muestra.

2.4.10. Determinación de Sólidos totales disueltos: Método Potenciométrico (Estándar Methods, 2005)

Procedimiento

1. Se colectó y se analizó las muestras lo más pronto posible.
2. Secalibró el potenciómetro como lo indicó el manual.
3. Se colocó el electrodo para medir los sólidos disueltos totales.

4. Se agitó la muestra y se introdujo el electrodo en la muestra y se leyó el valor mostrado por el equipo en mg/L.
5. Se repitió la medición con muestra nueva.
6. Se calculó el promedio de las dos lecturas realizadas por cada muestra.

III. RESULTADOS

3.1. Análisis de Parámetros Microbiológicos

En la Tabla 5 se presenta el resumen de los resultados microbiológicos obtenidos de los 3 muestreos realizados en los sectores (Santa Rosa, Omo y Rinconada), y los resultados de los 3 parámetros analizados: Recuento de Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y Enumeración de *E. coli*, comparados con el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por Decreto N° 031 – 2010-SA / Ministerio de Salud.

Tabla N° 5: Resultados del análisis de los parámetros microbiológicos

s e c t o r	PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS EVALUADOS										Condición de la Calidad Microbiológica
	Puntos de Muestreo	Coliformes totales			Coliformes termotolerantes			<i>Escherichia coli</i>			
		LMP: < 1,8 NMP/100 mL a 35 °C			LMP: < 1,8 NMP/100 mL a 44.5 °C			LMP: < 1,8 NMP/100 mL a 44.5 °C			
Santa Rosa	1	1,18x10 ²	1,20x10 ²	1,2x10 ²	4,5x10	4,5x10	4,4x10	4,5x10	4,5x10	4,4x10	No aceptable
	2	6,98x10 ²	7x10 ²	7,02x10 ²	3,32x10 ²	3,3x10 ²	3,28x10 ²	3,28x10 ²	3,3x10 ²	3,32x10 ²	No aceptable
	3	7,2x10	6,8x10	6,6x10	3,9x10	4x10	4,1x10	1,8	2	1,8	No aceptable
	4	1,698x10 ³	1,7x10 ³	1,703x10 ³	4,5x10	4,5x10	4,3x10	4,5x10	4,5x10	4,2x10	No aceptable
	5	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	Aceptable
	6	1,603x10 ³	1,6x10 ³	1,598x10 ³	1,68x10 ²	1,7x10 ²	1,72x10 ²	1,8	2	1,8	No aceptable
Omo	7	2,24x10 ²	2,2x10 ²	2,18x10 ²	1,08x10 ²	1,1x10 ²	1,12x10 ²	4,4x10	4,5x10	4,6x10	No aceptable
	8	1,38x10 ²	1,4x10 ²	1,44x10 ²	4,5x10	4,5x10	4,4x10	2x10	2x10	2,4x10	No aceptable
	9	2,803x10 ³	2,8x10 ³	2,798x10 ³	9,38x10 ²	9,4x10 ²	9,42x10 ²	4,6x10 ²	4,6x10 ²	4,64x10 ²	No aceptable
	10	1,604x10 ³	1,6x10 ³	1,699x10 ³	2,12x10 ²	2,1x10 ²	2,08x10 ²	2,12x10 ²	2,1x10 ²	2,08x10 ²	No aceptable
Rinconada	11	1,703x10 ³	1,7x10 ³	1,698x10 ³	1,44x10 ²	1,4x10 ²	1,4x10 ²	1,8	2	1,8	No aceptable
	12	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	Aceptable
	13	9,203x10 ³	9,2x10 ³	9,198x10 ³	9,202x10 ³	9,2x10 ³	9,198x10 ³	2,796x10 ³	2,8x10 ³	2,8x10 ³	No aceptable
	14	9,42x10 ²	9,4x10 ²	9,39x10 ²	9,1x10	9,2x10	9,3x10	9,2x10	9,2x10	9,1x10	No aceptable
	15	1,097x10 ³	1,1x10 ³	1,102x10 ³	2,12x10 ²	2,1x10 ²	2,08x10 ²	4,4x10	4,5x10	4,5x10	No aceptable
	16	1,702x10 ³	1,7x10 ³	1,699x10 ³	1,8	2	1,8	1,8	2	1,8	No aceptable

Fuente: Elaboración propia

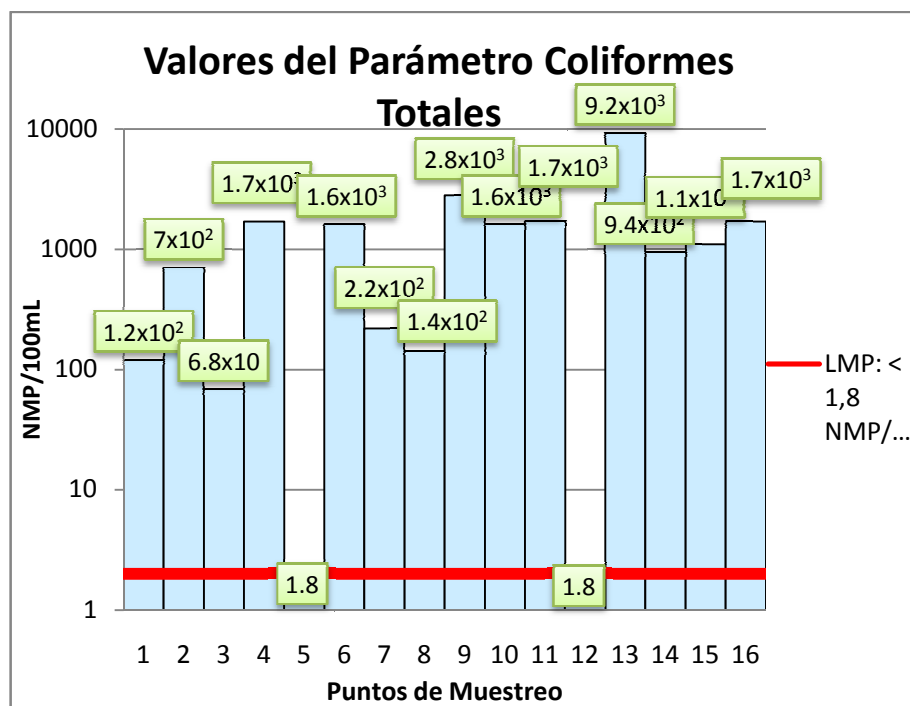


Figura 3: Recuento del NMP para coliformes totales en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según los valores mostrados en la Figura 3, las muestras de agua subterránea del punto de muestreo N° 5, perteneciente al sector agrícola Santa Rosa y del punto de muestreo N°12, perteneciente al sector Rinconada, presentaron valores inferiores a 1,8 ufc de Coliformes Totales por cada 100 ml de muestra de agua, siendo los únicos puntos de

muestreo cuyas muestras de agua se encontraron dentro de los Límites Permisibles establecidos para dicho parámetro.

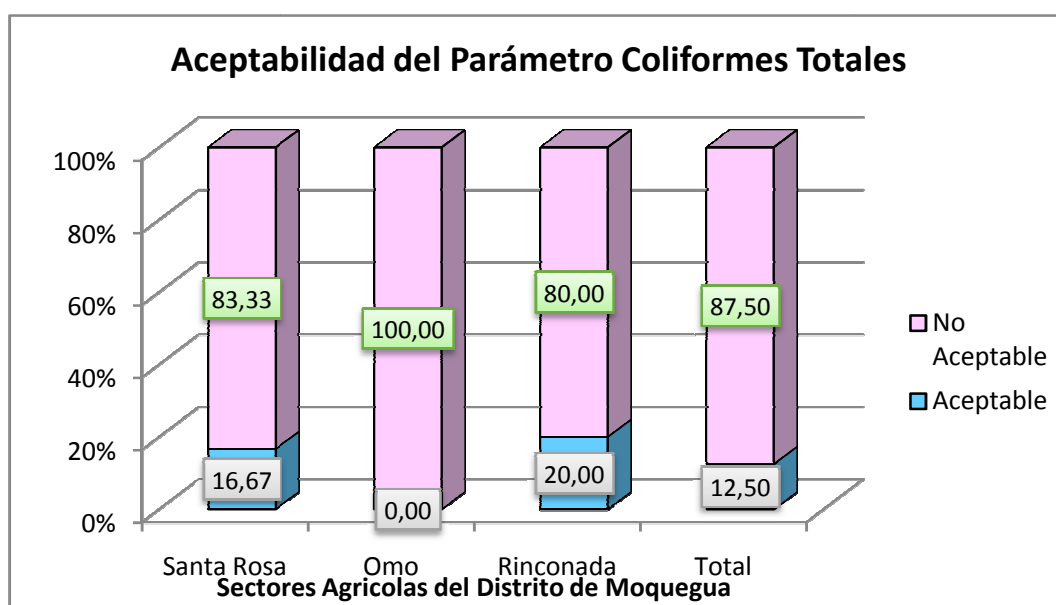


Figura 4: Porcentajes de aceptabilidad, en los 3 sectores agrícolas, para coliformes totales comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 4, el 87,5% del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable con respecto al parámetro microbiológico de Coliformes Totales en los tres sectores agrícolas muestreados.

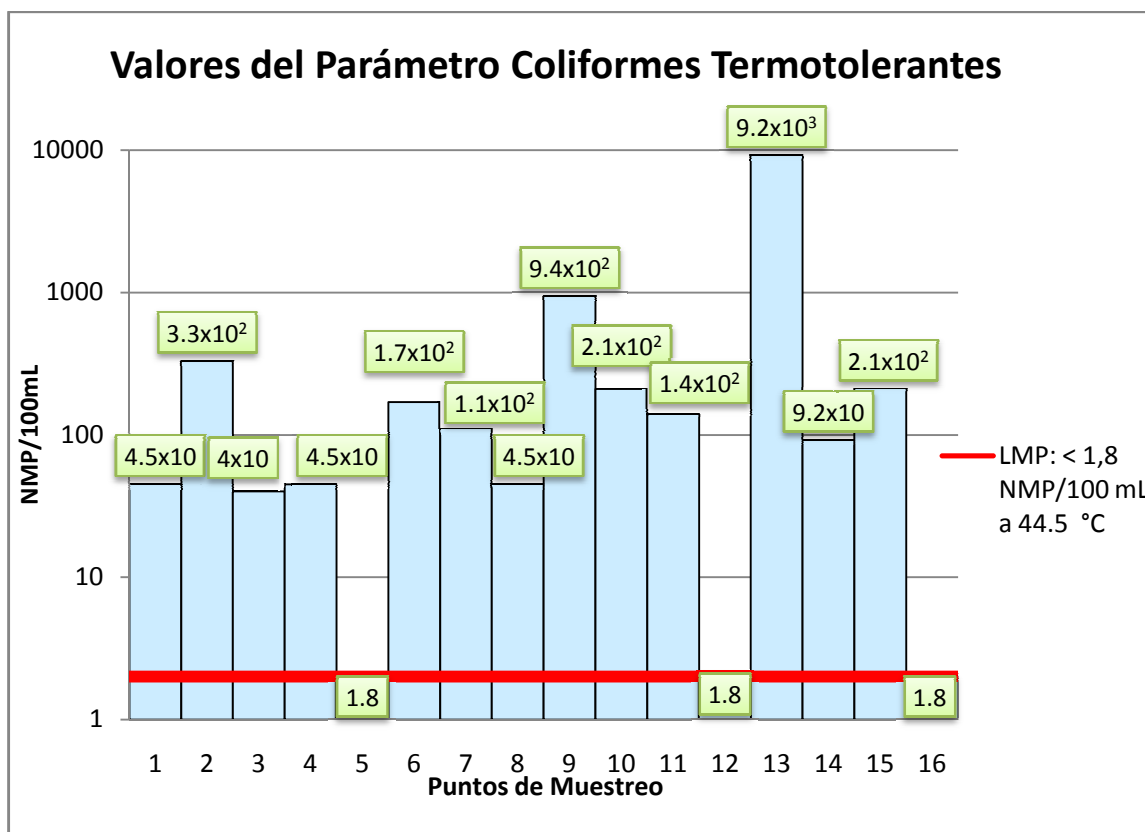


Figura 5: Recuento del Número Más Probable de Coliformes Termotolerantes en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 5, las muestras de agua subterránea del punto de muestreo N°5, perteneciente al sector agrícola Santa Rosa y de los puntos de muestreos N°12 y N°16, perteneciente al sector Rinconada, presentaron valores inferiores a 1,8 ufc de coliformes totales por cada 100 ml de muestra de agua, siendo los únicos puntos de muestreo cuyas muestras de agua se encontraron dentro de los Límites Máximo Permisibles establecidos para dicho parámetro.

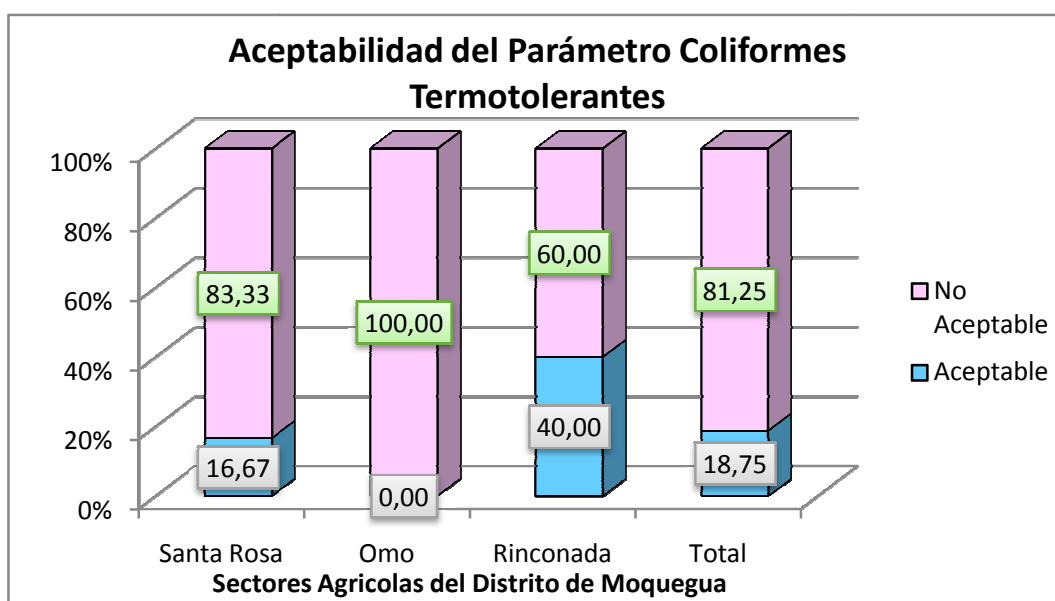


Figura 6: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Coliformes Termotolerantes comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 6, el 81,25% del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable con respecto al parámetro microbiológico de Coliformes Termotolerantes en los tres sectores agrícolas muestreados.

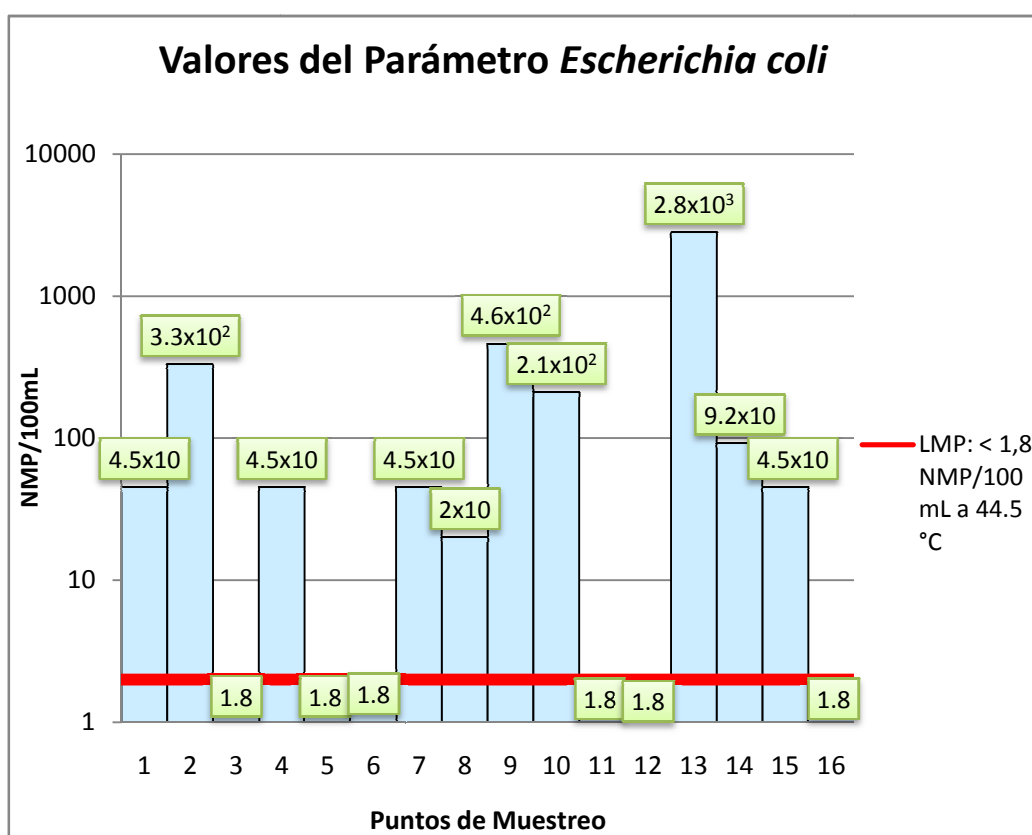


Figura 7: Recuento del Número Más Probable para *Escherichia coli* en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 7, las muestras de agua subterránea de los puntos de muestreo N°3, N°5, N°6, perteneciente al sector agrícola Santa Rosa y de los puntos de muestreo N°11, N°12 y N°16, perteneciente al sector Rinconada, presentaron valores inferiores a 1,8 ufc de *Escherichia coli* por cada 100 ml de muestra de agua, siendo los únicos puntos de muestreo cuyas muestras de agua se encontraron dentro de los Límites Máximos Permisibles establecidos para dicho parámetro.

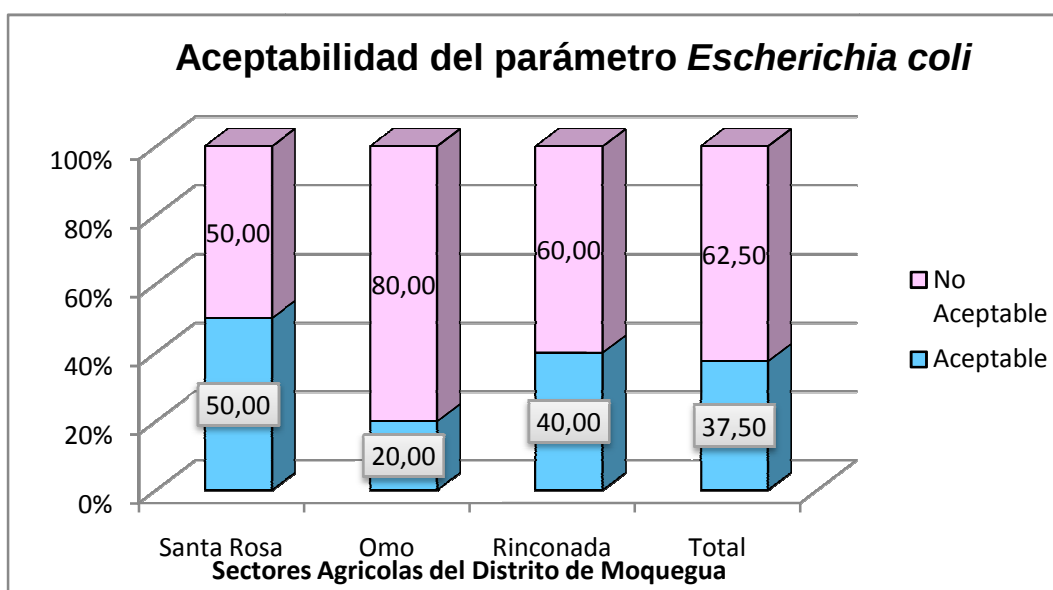


Figura 8: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para *Escherichia coli* comparados con los Límites Máximos Permisibles para los parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura8 se observa que del total de las muestras, el 62,50% no cumplieron con la norma nacional establecida para la cantidad aceptable para *Escherichia coli* en los tres sectores muestreados.

3.2. Análisis de parámetros Organolépticos

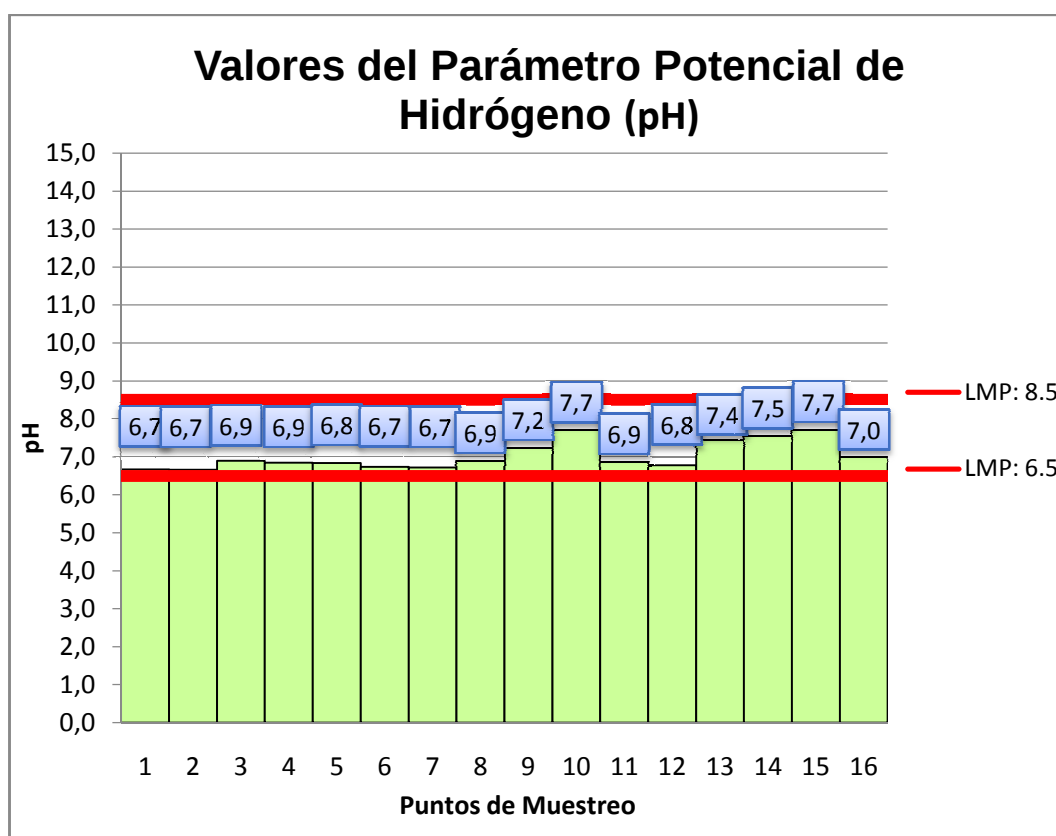


Figura 9: Valores de Potencial de Hidrógeno (pH) encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para

Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 9, las muestras de agua subterránea de todos los puntos de muestreo se encontraron dentro de los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

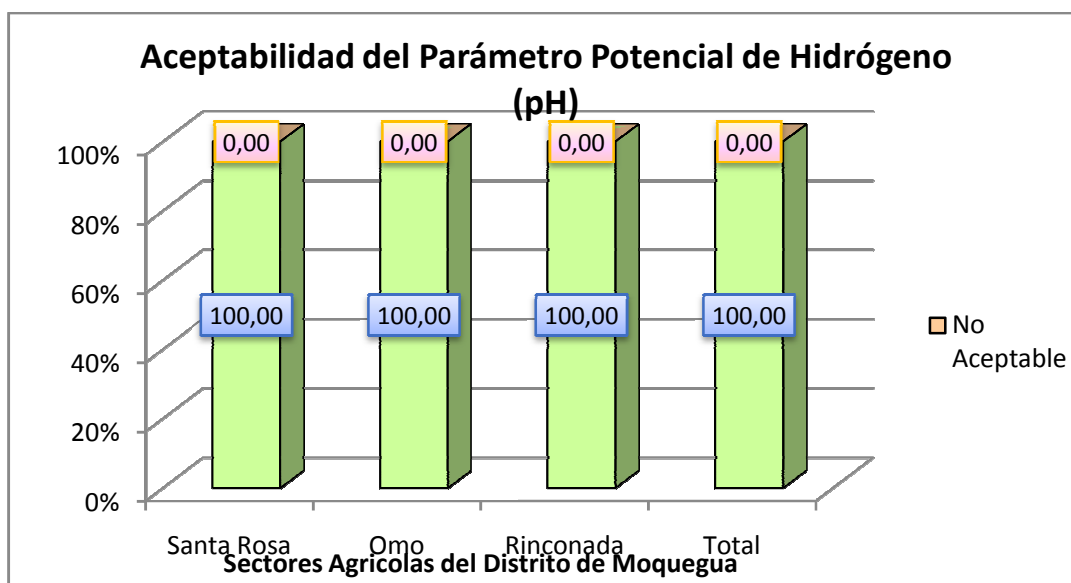


Figura 10: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores Agrícolas para Potencial de Hidrógeno (pH) comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 10 se observa que del total de las muestras el 100 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo para el parámetro del potencial de Hidrógeno (pH).

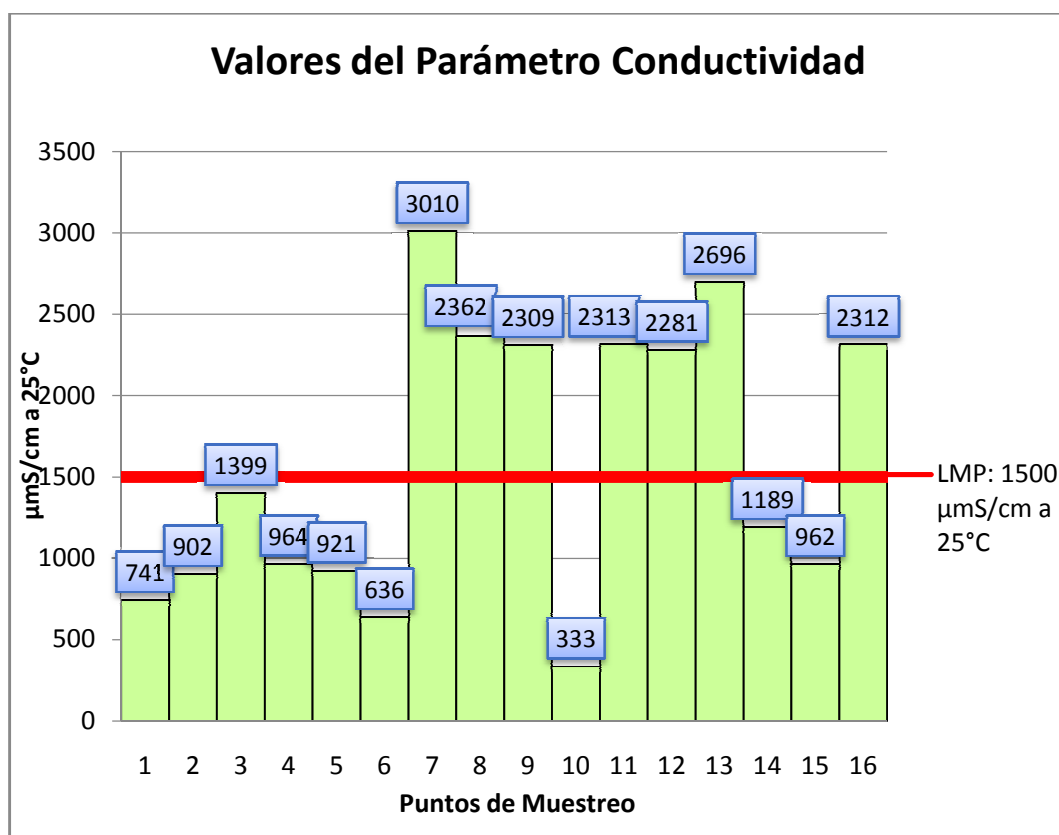


Figura 11: Valores de Conductividad encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 11, las muestras de agua subterránea de los puntos de muestreo N°7, N°8, N°9, y N°11, pertenecientes al sector agrícola Omo y de los puntos de muestreos N°12, N°13 y N°16, pertenecientes al sector Rinconada, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

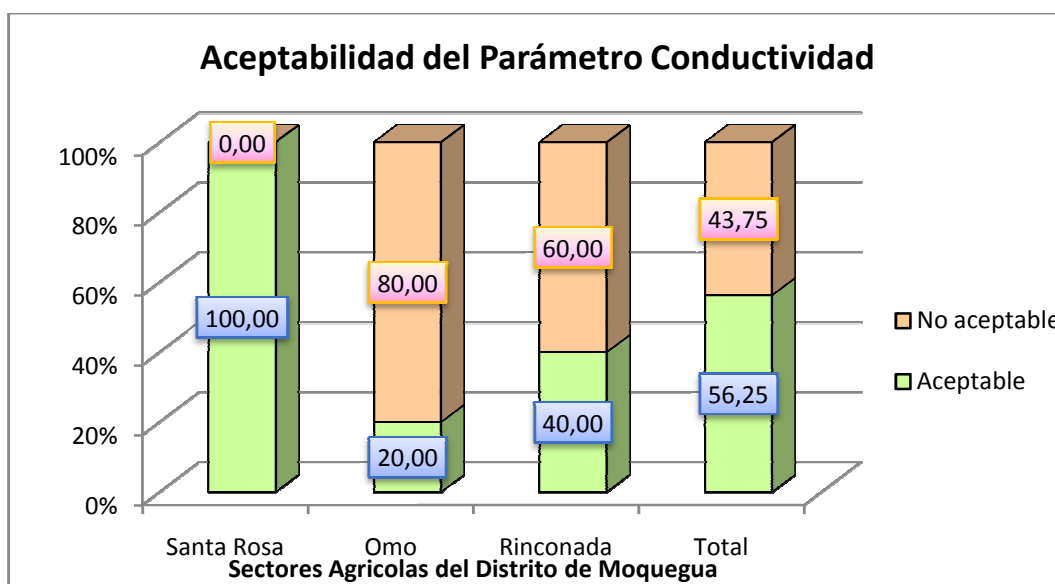


Figura 12: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores Agrícolas para Conductividad comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 12 se observa que del total de las muestras, el 56,25 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo para el parámetro conductividad.

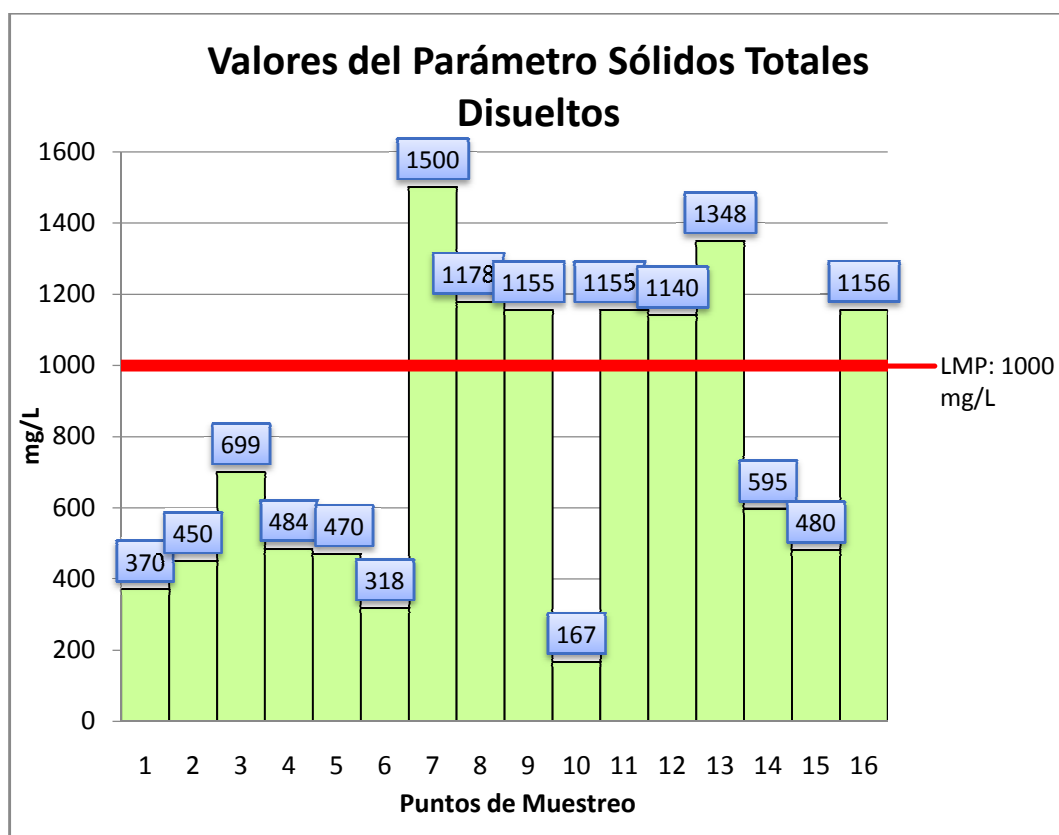


Figura 13: Concentraciones de Sólidos Totales Disueltos encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 13, las muestras de agua subterránea de los puntos de muestreo N°7, N°8, N°9, y N°11, perteneciente al sector agrícola Omo y de los puntos de muestreos N°12, N°13 y N°16, perteneciente al sector Rinconada, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles para el parámetro Sólidos Disueltos Totales establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

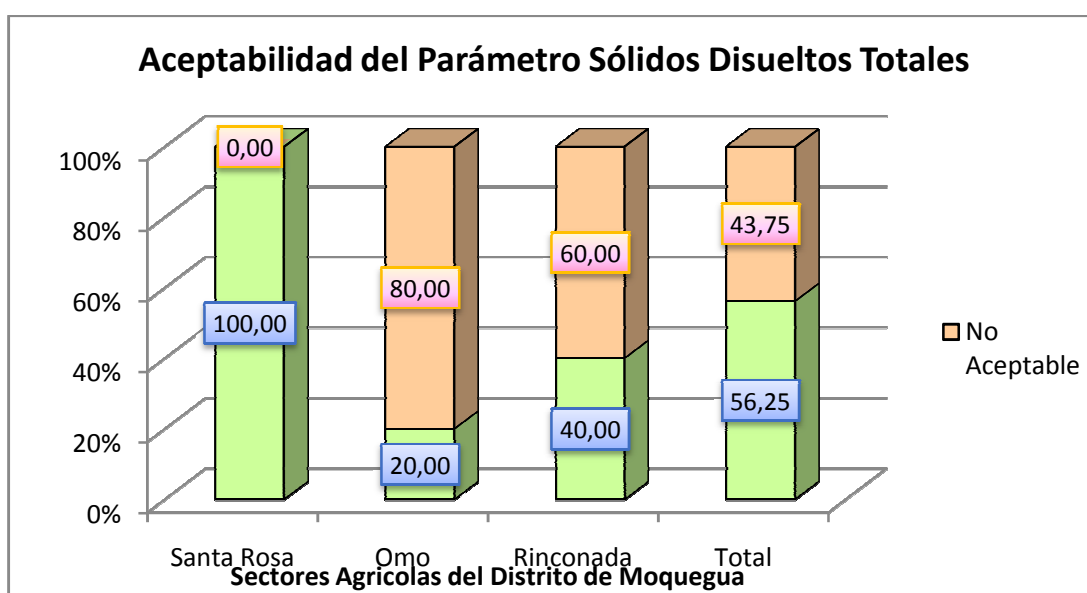


Figura 14: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 Sectores Agrícolas para Sólidos Totales Disueltos comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para

Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 14 se observa que del total de las muestras el 56,25 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo para el parámetro Sólidos Totales Disueltos.

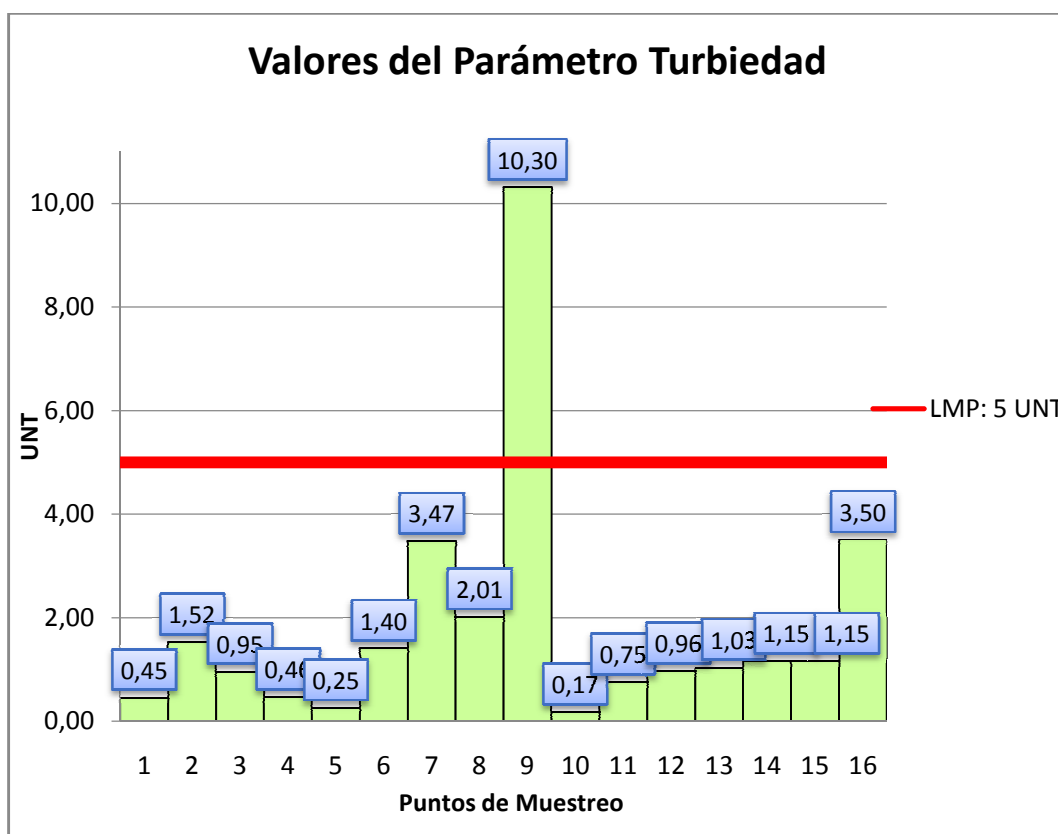


Figura 15: Valores de Turbiedad encontrados en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el

Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano
aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 15, las muestra de agua subterránea del punto de muestreo N°9 perteneciente al sector agrícola Omo, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

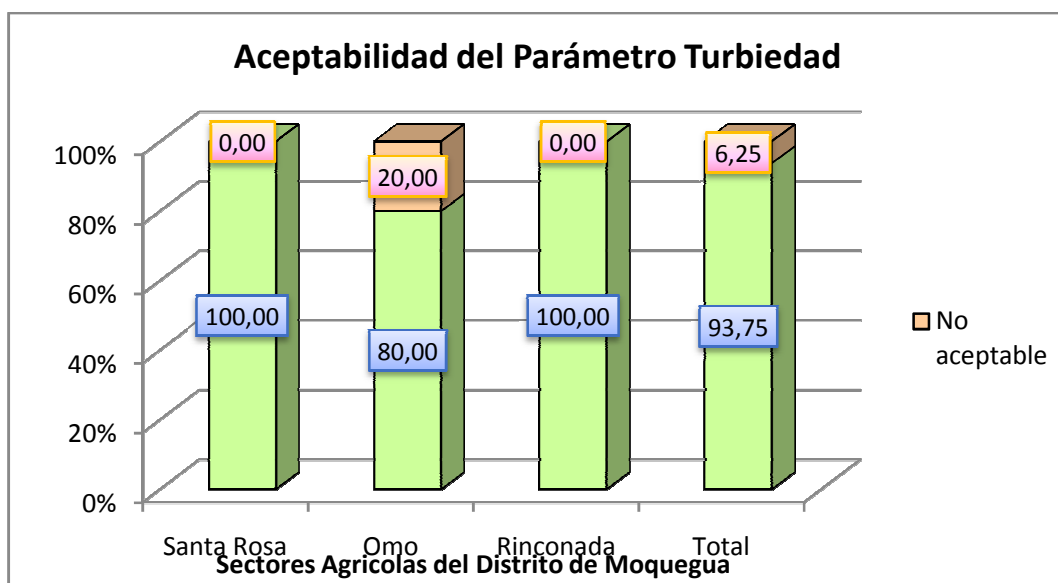


Figura 16: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Turbiedad comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 16 se observa que del total de las muestras el 93,75 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo para el parámetro Turbiedad.

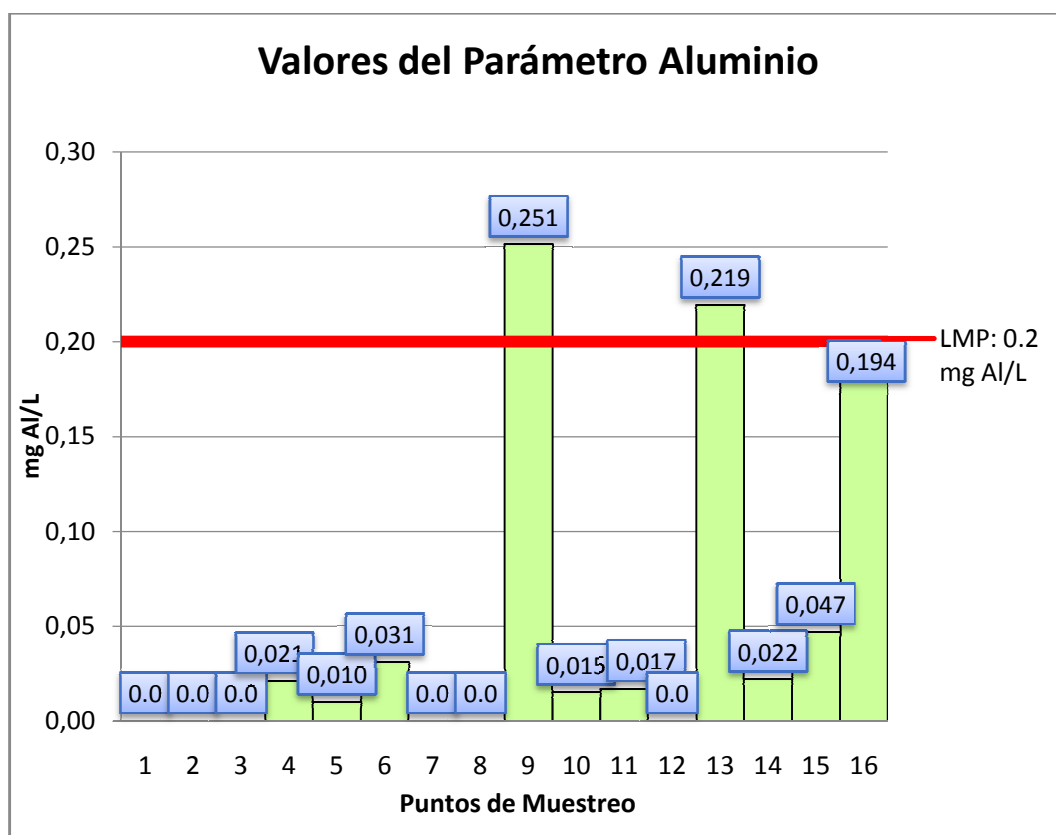


Figura 17: Concentraciones de Aluminio encontradas en las muestras de agua subterránea comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 17, las muestras de agua subterránea del punto de muestreo N°9, perteneciente al sector agrícola Omo y el punto de muestreo N°13 perteneciente al sector Rinconada, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

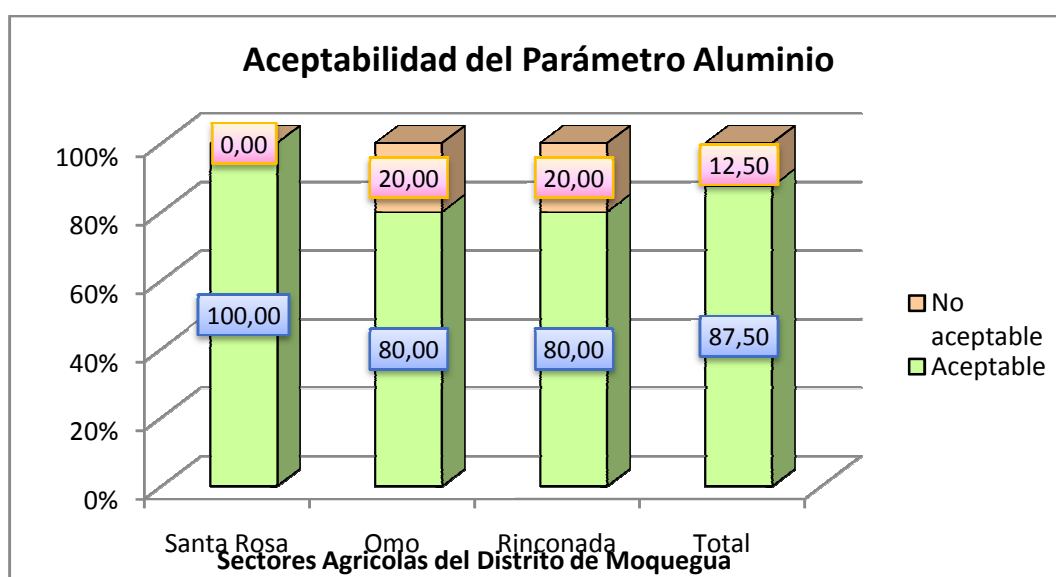


Figura 18: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Aluminio comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura18 se observa que del total de las muestras el 87,50 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo con respecto al parámetro Aluminio.

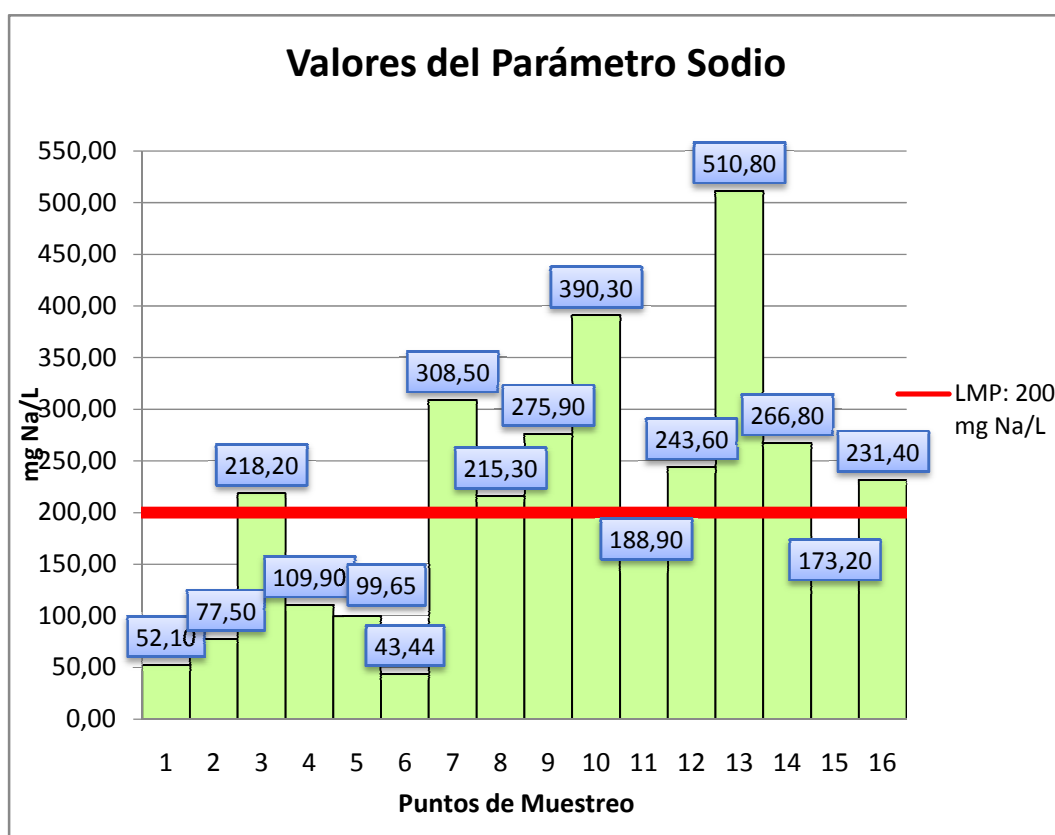


Figura 19: Concentraciones de Sodio encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 19, las muestras de agua subterránea en punto de muestreo N°3 del Sector Santa Rosa, de los puntos de muestreo N°7, N°8, N°9, N°10 perteneciente al sector agrícola Omo y los puntos de muestreo N°12, N°13, N°14 y N°16 perteneciente al sector Rinconada, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

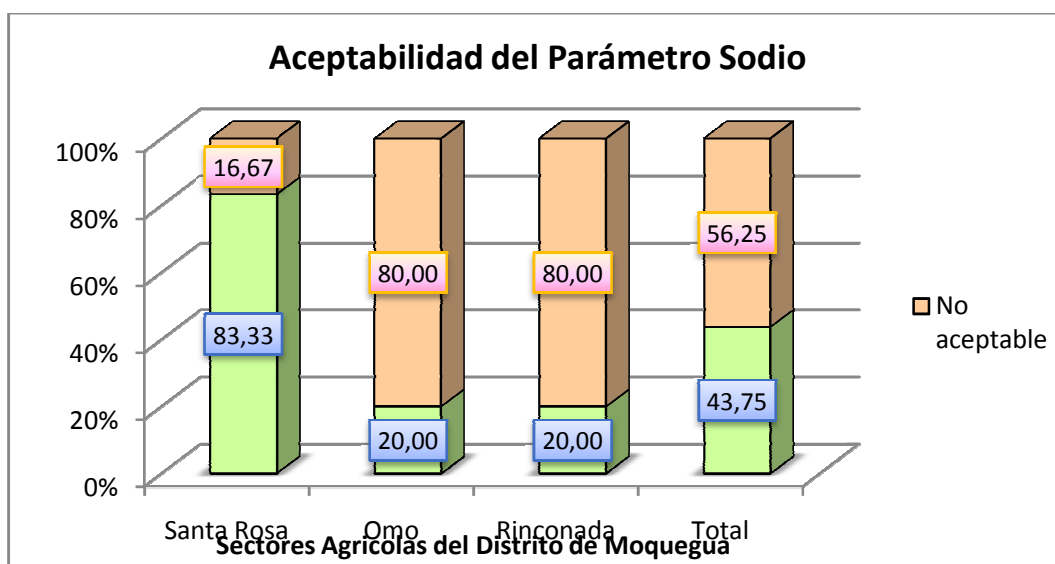


Figura 20: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Sodio comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura20 se observa que del total de las muestras el 56,25 % no cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo con respecto al parámetro Sodio.

3.3. Análisis de parámetros Químico Inorgánicos

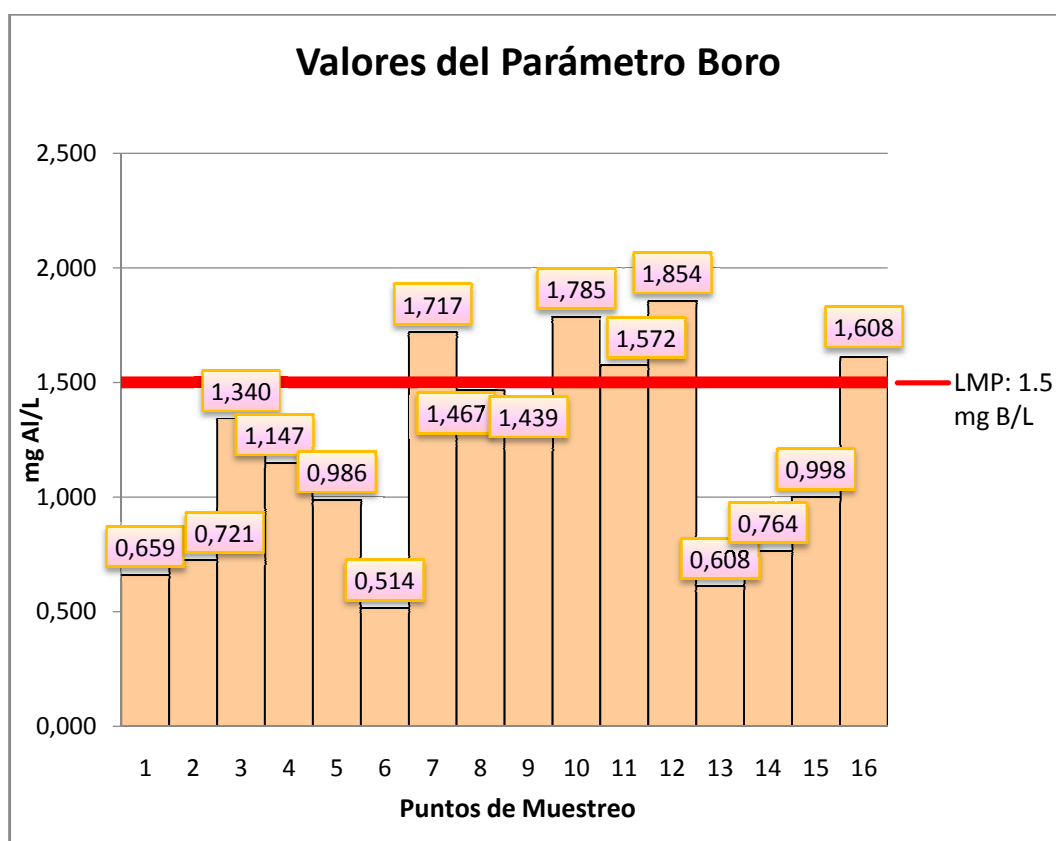


Figura 21: Concentraciones de Boro encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo

Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 21, las muestras de agua subterránea de los puntos de muestreo N°7, N°10, N°11 perteneciente al sector agrícola Omo y los puntos de muestreo N°12, N°16 perteneciente al sector Rinconada, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

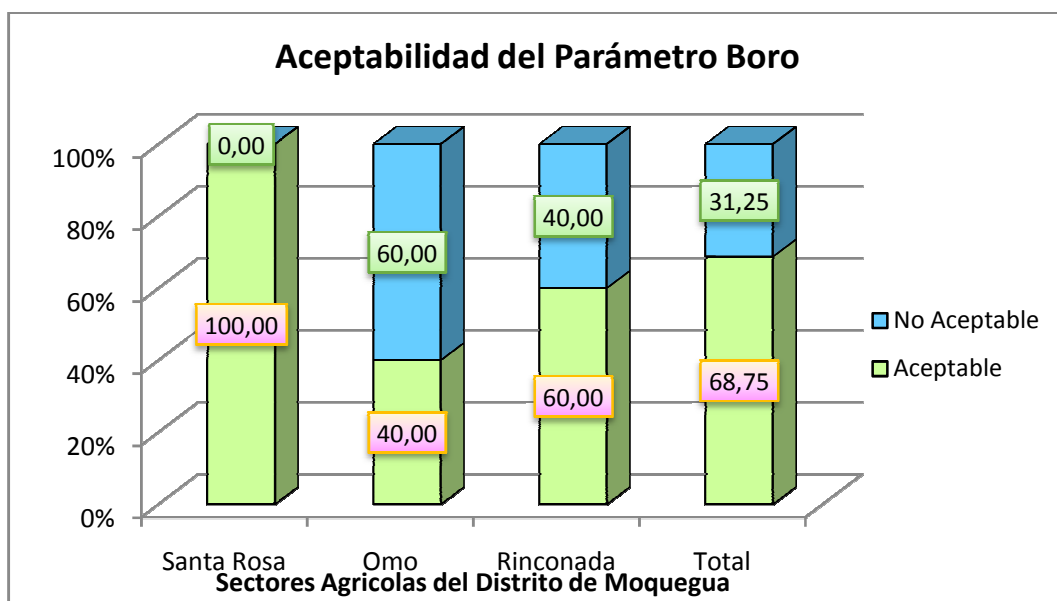


Figura 22: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Boro según los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 22 se observa que del total de las muestras el 68,75 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo con respecto al parámetro Boro.

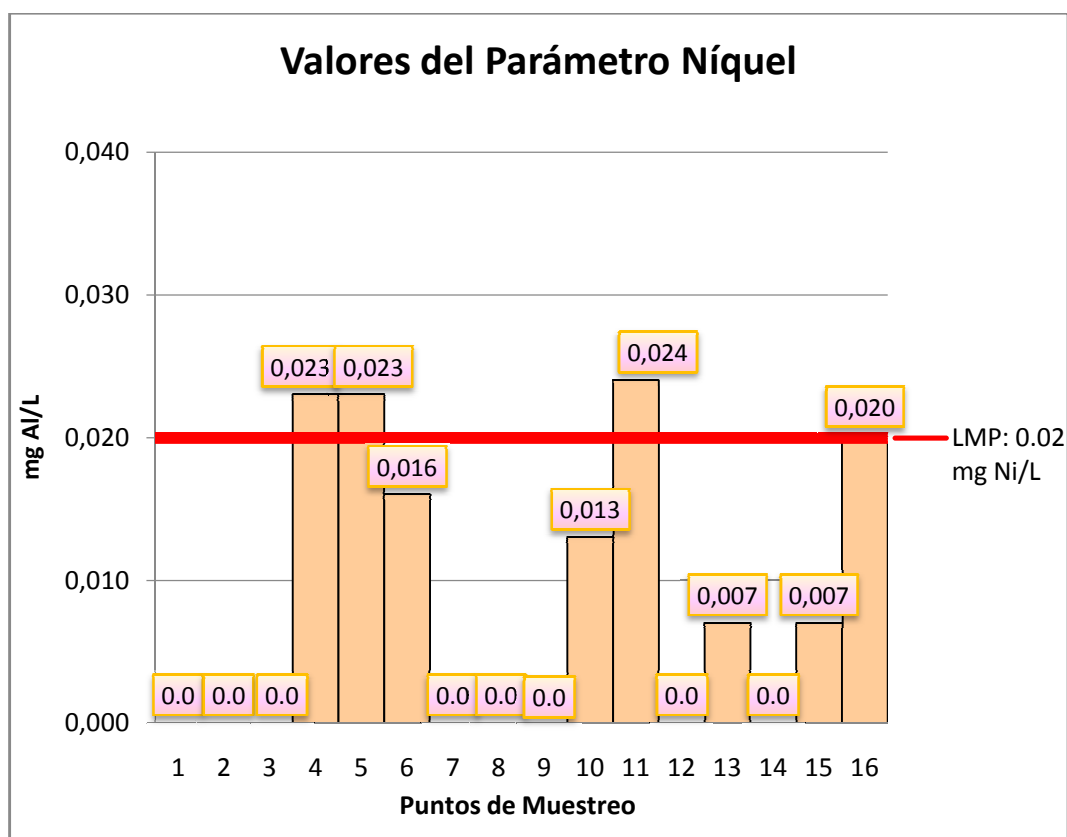


Figura 23: Concentraciones de Níquel encontradas en las muestras de agua subterránea comparadas con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 23, las muestras de agua subterránea de los puntos de muestreo N°4, N°5 perteneciente al sector Santa Rosa, y el punto de muestreo N°11 perteneciente al sector agrícola Omo, excedieron en sobremanera los Límites Máximos Permisibles establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano.

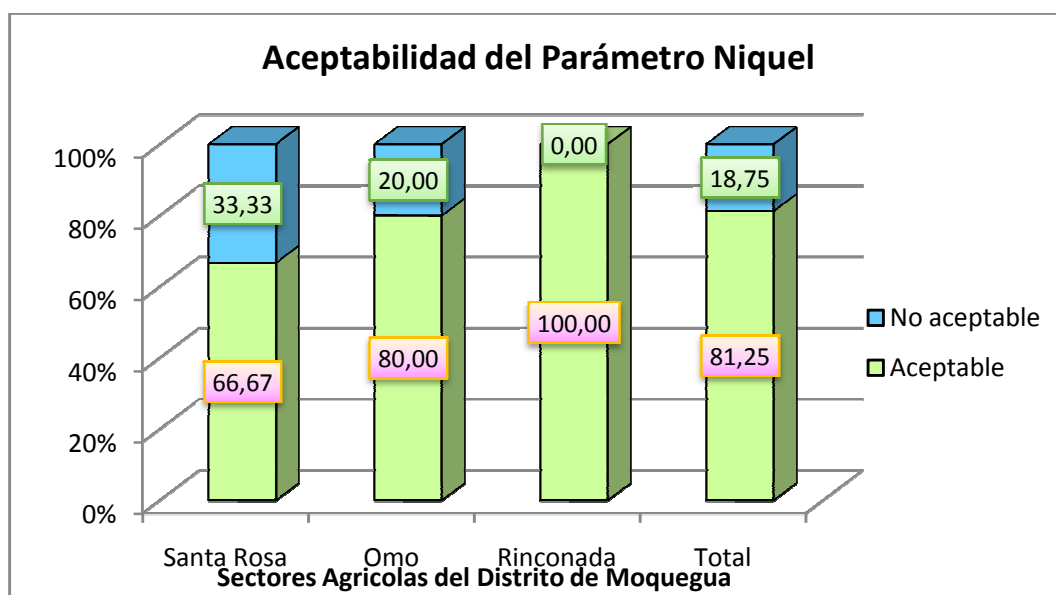


Figura 24: Porcentajes de aceptabilidad en los 3 sectores Agrícolas para Níquel comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

En la Figura 24 se observa que del total de las muestras el 81,25 % cumplieron con la norma nacional establecida para agua de consumo con respecto al parámetro Níquel.

3.4. Evaluación de la calidad microbiológica

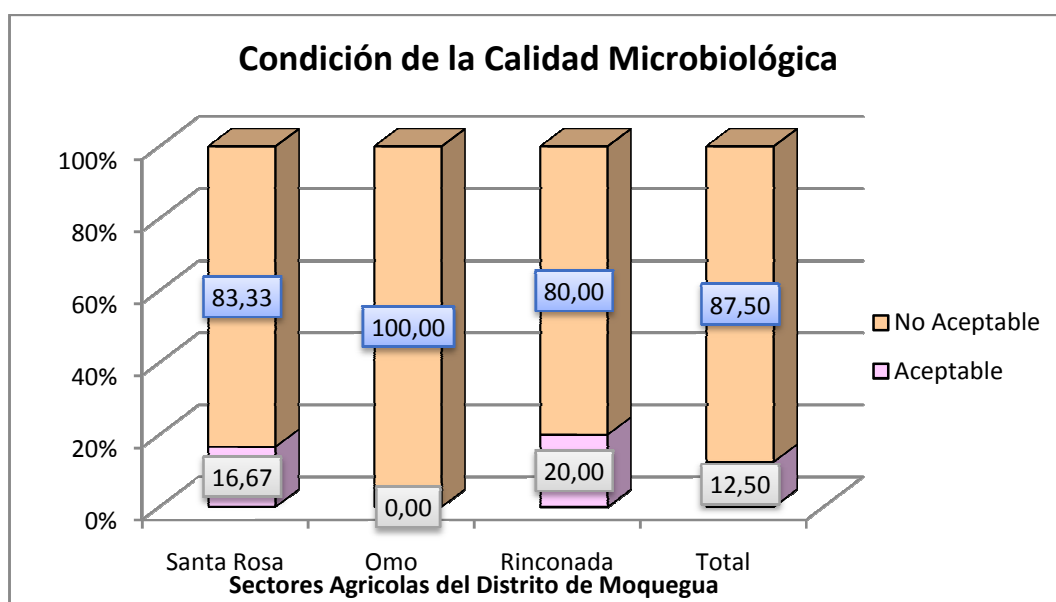


Figura 25: Valoración porcentual de la condición de la calidad microbiológica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros microbiológicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 25, el 87,5% del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable con respecto a la evaluación microbiológica en conjunto de los tres sectores agrícolas muestreados.

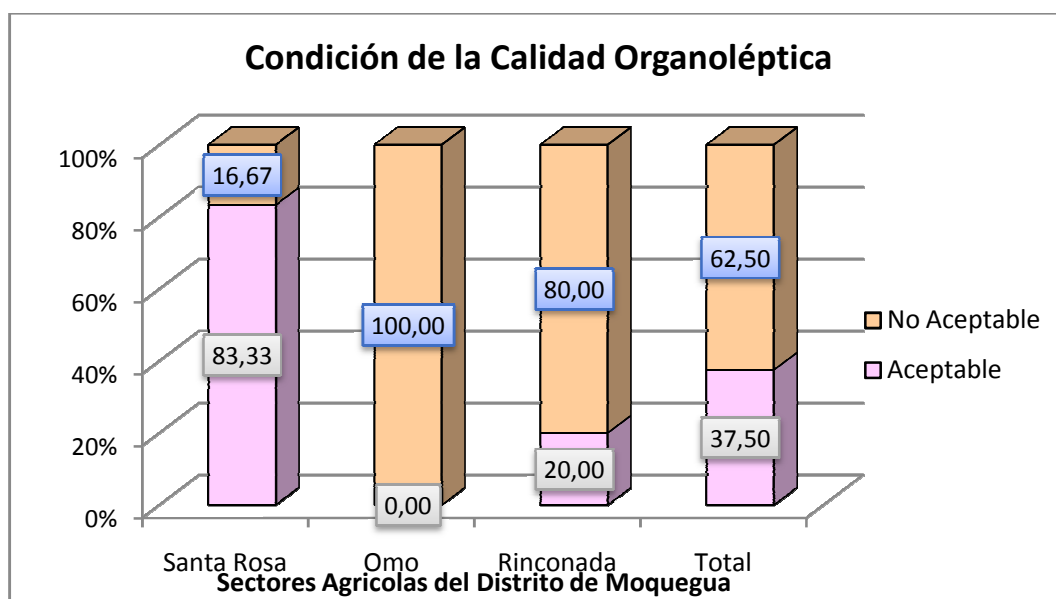


Figura 26: Valoración porcentual de la condición de la calidad Organoléptica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximo Permisibles de parámetros organolépticos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 26, el 62,5% del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable con respecto a la evaluación Organoléptica en conjunto de los tres sectores agrícolas muestreados.

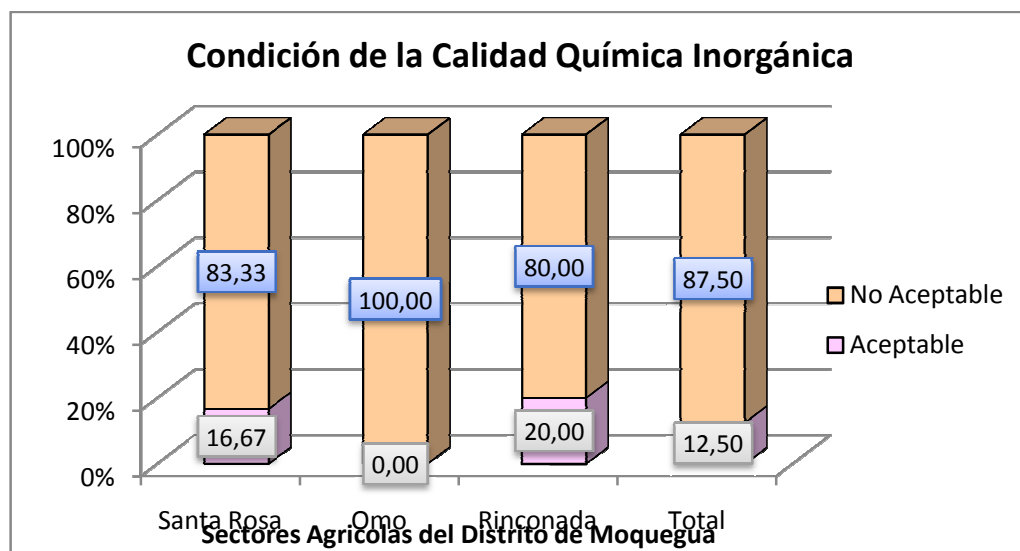


Figura 27: Valoración porcentual de la condición de la calidad Químico Inorgánica en los 3 sectores Agrícolas comparados con los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecidos en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 27, el 87,5 % del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable con respecto a la evaluación Químico Inorgánica en conjunto de los tres sectores agrícolas muestreados.

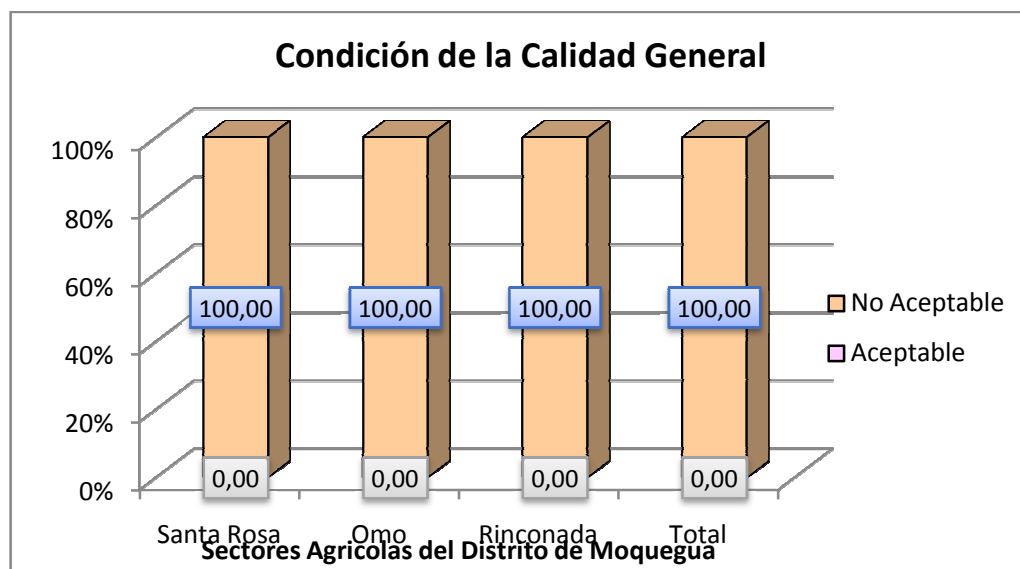


Figura 28: Valoración porcentual de la condición de la calidad General en los 3 sectores Agrícolas según los Límites Máximos Permisibles de parámetros químico inorgánicos establecido en el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

Según la Figura 28, el 100 % del total de las muestras analizadas presentaron una calidad no aceptable debido a que por lo menos en uno de los parámetros cada una de las muestras no cumplieron con los criterios establecidos por el Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano aprobado por D.S. N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados se compararon con el Decreto Supremo N° 031-2010- SA, reglamento que tiene como requisitos para la calidad del agua de consumo humano tres parámetros fundamentales que son: Parámetros Microbiológicos, Parámetros de calidad Organoléptica y Parámetros Químico Inorgánicos evaluados en 16 puntos de muestreo escogidos.

Según el Estudio Hidrogeológico del Valle Moquegua – Ilo, 2003, donde se registró que existen en el área de estudio un total de 37 manantiales, de los cuales 23 son utilizados con fines agrícolas y domésticos; predominando este último con 13 manantiales para uso domésticos. En el 2014 se evidenció que existen 16 manantiales de uso doméstico, siendo así el volumen total explotado del recurso hídrico subterráneo mediante manantiales de 1 683275,60 m³. Del total de agua explotada con manantiales el mayor porcentaje (99,22 %), es utilizado con fines de riego con 1 669857,00 m³, seguido por el uso doméstico con 13418,60 m³ (0,78 %).

Actualmente, está vigente el Decreto Supremo N° 031-2010-SA la cual menciona que el agua para el consumo humano debe estar exenta de microorganismos patógenos y presenta como parámetro microbiológicos a los coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E. coli.*, según los resultados obtenidos en este trabajo el 87,5 % de la calidad microbiológica general se encontraron inaceptables (Figura 25) , comparados con el año 2003 donde se realizó el estudio Hidrogeológico del Valle Moquegua – Ilo, donde indicaron que las aguas subterráneas generalmente variaban de regular a mala, aunque en ciertos sectores del valle se presentaron aguas entre buena a mala y de regular a mala calidad, es decir, bacteriológicamente superaron los límites máximos permisibles de los coliformes totales y termotolerantes.

Según el ANA-ALA-Moquegua en su informe de Monitoreo de Calidad de Agua de la cuenca Moquegua –Ilo de los años 2011,2012, 2013 y 2014 en el cual detallan como resultados de su análisis microbiológico al incremento de coliformes termotolerantes que sobrepasa los límites máximos permisibles en tres puntos río Otorá que está antes del Sector Santa Rosa, río Moquegua en el cual se encuentran los tres sectores (Santa Rosa, Omo y Rinconada) y río Osmore que está después

del Sector Rinconada, evidenciando la influencia directa que tiene con el agua subterránea en los puntos muestreados en el presente trabajo.

La contaminación del agua subterránea y, la supervivencia de microorganismos indicadores patógenos puede depender de varios factores como: la actividad agrícola, la temperatura ambiental, la cercanía a basurales y letrinas, el recubrimiento de su infraestructura, la presencia de vectores, la crianza de animales y, las aguas residuales. Se conoce que existen lagunas de oxidación repletas y con evidencia de deterioro ubicadas en el Sector Santa Rosa lo que hace que estén en contacto con los acuíferos. La supervivencia y multiplicación de los organismos patógenos en el agua subterránea, están regidos por varios factores entre los que se mencionan: la disponibilidad de nutrientes que determina la supervivencia y multiplicación de las bacterias, ya que cuando existe materia orgánica, los organismos abundan y cuando no, éstos mueren.

Los indicadores bacteriológicos se emplean para determinar si el agua para consumo humano está libre de microorganismos infecciosos. Las Guías para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud indican que no es nada práctico monitorear el agua potable para cada agente microbiano y que un enfoque más lógico sería detectar

los microorganismos que, por lo general, se encuentran presentes en las heces de los seres humanos y otros animales de sangre caliente, es por eso que es de gran importancia evaluar la cantidad de coliformes termotolerantes ya que provocan principalmente enfermedades.

Los resultados respecto a la Calidad Bacteriológica del Agua Subterránea presentaron contaminación microbiana, encontrándose valores por encima de los parámetros que contempla el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Esta situación es riesgosa para los pobladores de la zona porque son susceptibles a una epidemia que afectaría directamente su calidad de vida. También es necesario resaltar que la población del lugar consume el agua directamente en el mismo lugar de afloramiento del agua subterránea, siendo preocupante ya que podrían consumir agua contaminada.

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino et al., 2002). Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en

diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova et al., 2004). Los metales pesados pueden incorporarse a un sistema de abastecimiento de agua por medio de residuos industriales que son vertidos sin previos tratamientos, los que posteriormente se depositan en lagos, ríos y distintos sistemas de aguas subterráneas (García et al., 2005).

El Aluminio fue uno de los elementos que sobrepasó en un 12,50 % (Figura 18) los estándares para agua de consumo (Anexo 3), se conoce que este metal es el más abundante y el tercer elemento más común después del oxígeno y del silicio. Sin embargo, estos resultados son importantes, ya que la presencia de Al ha sido correlacionado con cáncer de estómago así como de cáncer en el tracto digestivo. Además, algunos estudios han mostrado que existe una relación entre el Al y la presencia de la enfermedad de Alzheimer (Martyn et al. 1989) así como con las enfermedades de Lou Gehrig y Parkinson (Uversky et al., 2002). La mayoría de personas que habitan continuamente en los tres sectores de estudio son personas de avanzada edad, algunos estudios han mostrado

que este elemento les puede ocasionar alteraciones de comportamiento, problemas de coordinación y trastornos de la memoria (Bunce, 1991).

El Sodio ocupa el sexto lugar en abundancia de todos los elementos en la corteza terrestre y es el segundo en abundancia en el agua de mar después del cloro. El sodio reacciona rápidamente con el agua para producir hidróxido de sodio e hidrógeno. El hidróxido de sodio formado se filtra rápidamente en el suelo y puede contaminar las reservas de agua. Según nuestros resultados el exceso en el contenido de sodio 56,25 %(Figura 20), asociados con alta salinidad y conductividad 43,75% (Figura 12) supera los estándares permitidos según el reglamento para agua de consumo (Anexo 3), pueden complicar la salud de animales jóvenes y afectar la asimilación de otros nutrientes, además de limitar su uso en la agricultura por parte de los pobladores, debido a que provoca disminución de la absorción del agua por las raíces, una concentración alta de sales tiene como resultado potencial osmótico alto de la solución del suelo, por lo que la planta tiene que utilizar más energía para absorber el agua, también puede provocar toxicidad por iones específicos cuando la planta absorbe agua, que contiene iones de sales perjudiciales (por ejemplo, sodio, cloruro, exceso de boro etc.), síntomas visuales pueden

aparecer, tales como puntas y bordes de las hojas quemadas, deformaciones de las frutas etc. (Goykovic, 2007).

El Níquel es un elemento que excedió la cantidad permitida en un 18,75 % (Figura 24) del total de las muestras analizadas según los estándares para agua de consumo (Anexo 4). Se conoce que este elemento es abundante ya que constituye cerca del 0,008% de la corteza terrestre y 0,01% de las rocas ígneas. Existe documentación que prueba que la inhalación de este elemento es cancerígeno (Grandjean et al.1988) y que al estar en contacto con este elemento puede provocar una dermatitis (Thulin, 1976) y daño en la sangre y riñones (Malo et al., 1982).

El Boro es un elemento que excedió la cantidad permitida en un 31,25 % (Figura 22) del total de las muestras analizadas según los estándares para agua de consumo (Anexo 4), este elemento causa síntomas de toxicidad provocando graves daños a las plantas debido, por ejemplo, al uso de agua de riego contaminada con una alta concentración de este elemento. Dicha contaminación puede ser provocada por vertidos urbanos (ricos en detergentes y productos de limpieza) (Martínez J.L, 1999). Este dato pone en evidencia la consecuencia provocada de las

lagunas de oxidación repletas y con deterioro ubicadas en el Sector Santa Rosa.

Cuando los humanos consumen grandes cantidades de comida que contenga Boro, la concentración de Boro en sus cuerpos puede aumentar a niveles que causan problemas de salud. El Boro puede infectar el estómago, hígado, riñones y cerebro y puede eventualmente llevar a la muerte. Cuando la exposición es con pequeñas cantidades de Boro tiene lugar la irritación de la nariz, garganta y ojos, (ATSDR, 2010).

Comparando con los resultados obtenidos de la segunda campaña de monitoreo de agua superficial y subterránea marzo-abril 2014 realizado por el Gobierno Regional de Moquegua obtenidos del Laboratorio (CORPLAB), presentados en el informe de análisis, el punto 13172MOQU2 perteneciente al agua superficial aledaña a los puntos de muestreo de este trabajo, presentó valores superiores al ECA 3 en cuanto a los parámetros Boro, Sodio, conductividad eléctrica y coliformes termotolerantes esto indica que está relacionado directamente con los resultados presentados en el presente trabajo.

Los altos niveles de metales pesados en el agua, utilizada para consumo y riego agrícola, radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. En las últimas dos décadas, surge un particular interés de establecer lineamientos básicos de gestión y manejo ambiental de los cultivos. Resulta de particular interés, el desarrollo y crecimiento de una agricultura sostenible, que a su vez lleve un estricto control del manejo de plagas, producción de semillas certificadas y sobre todo conservación del recurso hídrico. Las necesidades del desarrollo agrícola han conllevado al uso y aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas, controles fitosanitarios y de enfermedades en cultivos. Todo esto, está relacionado con la necesidad de hacer frente al deterioro ambiental que se viene presentando y reconvertir sus procesos de producción e integrando a su misión la protección de los recursos naturales. Lo anterior se debe a que se ha reportado por diferentes autores el problema que ha venido surgiendo con el abuso de las actividades del hombre sin controles adecuados desde décadas, como lo son las contaminaciones emitidas por la industria, la minería y el uso de aguas residuales sin tratamiento previo, para riego agrícola y lo que es peor, la tendencia de los contaminantes en los suelos que tienden a aumentar con todas estas prácticas.

Fundamentalmente la contaminación de suelos, agua y plantas por presencia de metales no esenciales o tóxicos para los cultivos, tiene sus orígenes en las actividades antropogénicas. Todo ello además, asociado al carácter acumulativo y bioacumulativo así como no biodegradable de los mismos. A consecuencia de estos incrementos de concentraciones de metales en los suelos por prácticas inapropiadas, el aumento de la biodisponibilidad de los mismos para los múltiples cultivos ha estado causando daños, fitotoxicidad y con ello están provocando un riesgo latente para la salud de animales y los hombres.

Los resultados de este estudio comprobaron la persistencia de la contaminación de aguas subterráneas, principalmente de coliformes totales y termotolerantes además de metales como Na, Al, Bo, Ni. Estos elementos existen en niveles que pueden provocar daños en el ser humano a mediano o largo plazo. Como este estudio es descriptivo, no permite establecer asociaciones entre los hallazgos y su efecto en la salud de los habitantes de la región, ni se detectaron las fuentes antropogénicas contaminantes, sin embargo, constituye una base para dirigir estudios posteriores.

V. CONCLUSIONES

La calidad bacteriológica y físico química del agua subterránea de los sectores Santa Rosa, Omo y Rinconada, según el Decreto Supremo N° 031-2010-SA/Ministerio de Salud, todas las muestras analizadas resultaron ser no aptas para el consumo humano debido a que por lo menos en un parámetro una de más muestras no cumplió con el reglamento.

Los resultados de los análisis bacteriológicos se determinaron mediante el Método del Número Más Probable (NMP/100ml), el 87,5 % de los puntos muestreados se encuentran inaceptables, esto indica que están siendo sometidos a contaminación de origen fecal (coliformes totales 87,5 % coliformes termotolerantes 81,25 % y *E. coli* 62,5 %).

Los resultados en cuanto a la calidad fisicoquímica de todas las muestras analizadas, el 62,5 % no cumplieron con las características de calidad organoléptica destacando el elevado contenido de Sólidos Totales Disueltos (43,75 %), Aluminio (12,50 %), Conductividad (43,75 %) y de Sodio (56,25 %), además el 87,5 % no cumplieron con la calidad Química

Inorgánica establecida con una cantidad excesiva de Boro (31,25 %) y Níquel (18,75 %).

VI. RECOMENDACIONES

Dada la importancia de este tipo de estudios se recomiendan las siguientes acciones:

- Llevar a cabo estudios que identifiquen las posibles fuentes de contaminación.
- Fomentar la instalación de plantas de depuración de aguas residuales en localidades que generen los mayores desechos residuales.
- Realizar estudios para identificar daños posibles en la población.
- Implementar un plan constante de monitoreo de los contaminantes.
- Establecer un control en las fuentes contaminantes.
- Ejecutar esquemas de prevención sanitaria con programas de información a la comunidad en general.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. ALLEN, M. 1996.** La Importancia para la Salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del Agua Potable. CEPIS.OPS.OMS. Lima, Perú.
- 2. APHA, 2005.** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. E.E.U.U.
- 3. ATSDR, 2010.** Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Departamento de Salud y Servicio humano de los EE.UU.
- 4. BUNCE N, 1993.** Environmental chemistry, Wertz Publishing Ltd. Winnipeg, Canada. 559 pp.
- 5. DS N° 031- 2010-SA. 2011.** Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Ministerio de Salud. Dirección de Salud Ambiental – Lima: Ministerio de Salud. Perú.

6. **EASTON, J. 1998.** The Development of a Risk Assessment Methodology to evaluate the adverse human health effect of pathogens found in servage contaminate waters. Enviromental Health Engineering program. University of Alabama at Birmingham.
7. **FOSTER, STEPHEN, ET AL. BANCO MUNDIAL, 2003.** Protección de la calidad del agua subterránea.
8. **GUINEA, J. SANCHO, J. PARES, R. 1979.** Análisis Microbiológico de Aguas. Ediciones Omega. Barcelona – España.
9. **GRAY. N, 1996.** Calidad del Agua Potable, problemas y soluciones Editorial Acribia S. A. Zaragoza – España
10. **GOYKOVIC CORTÉS, V., & SAAVEDRA DEL REAL, G., 2007.** Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. Idesia (Arica), 25(3), 47-58.

- 11. GRANDJEAN P, ANDERSEN O, NIELSEN G, 1988.** Carcinogenicity of occupational nickel exposures: an evaluation of the epidemiological evidence. *Am. J. Ind. Med* 13:193-209
- 12. HERNANDEZ SAMPIERI ROBERTO, FERNÁNDEZ COLLADO CARLOS, BAPTISTA LUCIO PILAR. 2010.** Metodología de la Investigación. Tercera Edición. México Edit. McGraw Hill.
- 13. HIRATA, R., GOMES, D., DÉLIA, M., & PARIS, M. 2003.** Protección de la calidad del agua subterránea.
- 14. IPCS, 1999.** *Manganese and its compounds*. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (Documento internacional conciso sobre evaluación de sustancias químicas n.º 12).
- 15. MALO J, CARTIER A, DOEPNER ET AL, 1982.** Occupational asthma caused by nickel sulfate. *J. Allerg. Clin. Immunol.* 69:55-59.
- 16. MARTYN CN, BARKER DSP, OSMOND C, HARRIS EC, EDWARDSON JA, LACEY RF, 1989.** Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet* 1:59-62.

17. **MARTÍNEZ J.L., DE LA FUENTE M.M., MUÑOZ E, 1999.** El boro en los vertidos industriales. *Ingeniería Química* 9: 163-169.
18. **MINSA, 1997.** Curso Formación de Técnicos en Saneamiento Ambiental. Módulo I Abastecimiento de Agua. Escuela Nacional de Salud Pública. Ministerio de Salud. Lima – Perú.
19. **OMS, 1995 (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD),** Guías para la calidad de agua potable, segunda edición, volumen I, Washintong DC.
20. **OMS, 2003.** *Boron in drinking-water.* Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/54).
21. **OMS, 2003.** *Cadmium in drinking-water.* Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/80).
22. **OMS, 2003.** *Manganese in drinking-water.* Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua

potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud
(WHO/SDE/WSH/03.04/10)

- 23. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2008.** Guías para la Calidad del Agua Potable. Primer apéndice a la tercera edición, volumen 1. Edición de la OMS. Ginebra - Suiza.
- 24. OPS, 1997.** Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento. OPS.
- 25. OPS/OMS, 1996.** La calidad del agua potable en América Latina, ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química, Argentina, Washington D.C.
- 26. OPS – AIISA – LACAR, 1997.** Día Interamericano del Agua la Calidad y su Salud, agua segura - fuente de vida. Organización Panamericana de la Salud, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental .Asociación Caribeña de agua y aguas residuales .Caribe.

- 27. OPS, 1993.** Nuestro planeta, nuestra Salud. Informe de la comisión de salud y Medio Ambiente de la OMS. Publicación Científica N° 544, Organización Panamericana de la Salud Washington. USA.
- 28. REBOUCAS, A., 2001.** La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. Sao Paulo, Brasil.
- 29. STANDARD METHODS, 2005** .For The Examination of Water & Wastewater.
- 30. THULLIN H.1976.** The leukocyte migration test in nickel contact dermatitis. Acta Dermatovener 56:377-383.
- 31. UVERSKY VN, LI J, BOWER K, FINK A.,2002.** Synergistic effects of pesticides and metals on the fibrillation of alpha-synuclein: implications for Parkinson's disease. Neurotoxicology 5:527-536.
- 32. VARGAS,1996.** Control de Calidad del Agua en la Red de Distribución. CEPIS. 6p.

- 33. VARÓ G., P.; M. F. CHILLÓN ARIAS y D., PRAT R. 2004.**
Características fisicoquímicas de las aguas ablandadas, nueva normativa española del agua de consumo humano. Alicante- España.
- 34. VARGAS GARCÍA CARMEN, ROJAS RICARDO Y JOSELY JUAN, 1996.** Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo humano. Textos Completos. CEPIS. 27p.
- 35. VIVIENDA, DS 021-2009,** Anexo N°1 y N°2 VMA de descargas de aguas residuales en el sistema de alcantarillado.
- 36. YOKEL R, 2000.** The toxicology of aluminum in the brain: a review.
Neurotóxico.
- 37. ZORRILLA SANTIAGO, 1999.** Introducción a la Metodología de la Investigación. México. Cal y Arena.

ANEXOS

ANEXO 1: Número Más Probable de bacterias por 100 ml de muestra
agua empleando cinco tubos inoculados con 10, 1 y 0,1 ml
(diluciones) de muestra.

Tubos + * 10;1;0,1	NMP	Tubos + * 10;1;0,1	NMP	Tubos + * 10;1;0,1	NMP	Tubos +* 10;1;0,1	NMP	Tubos +* 10;1;0,1	NMP	Tubos +* 10;1;0,1	NMP
000	<1.8	100	2	200	4.5	300	7.8	400	13	500	23
001	1.8	101	4	201	6.8	301	11	401	17	501	31
002	3.6	102	6	202	9.1	302	13	402	21	502	43
003	5.4	103	8	203	12	303	16	403	25	503	58
004	7.2	104	10	204	14	304	20	404	30	504	76
005	9	105	12	205	16	305	23	405	36	505	95
010	1.8	110	4	210	6.8	310	11	410	17	510	33
011	3.6	111	6.1	211	9.2	311	14	411	21	511	46
012	5.5	112	8.1	212	12	312	17	412	26	512	64
013	7.3	113	10	213	14	313	20	413	31	513	84
014	9.1	114	12	214	17	314	23	414	36	514	110
015	11	115	14	215	19	315	27	415	42	515	130
020	3.7	120	6.1	220	9.3	320	14	420	22	520	49
021	5.5	121	8.2	221	12	321	17	421	26	521	70
022	7.4	122	10	222	14	322	20	422	32	522	95
023	9.2	123	12	223	17	323	24	423	38	523	120
024	11	124	15	224	19	324	27	424	44	524	150
025	13	125	17	225	22	325	31	425	50	525	180
030	5.6	130	8.3	230	12	330	17	430	27	530	79
031	7.4	131	10	231	14	331	21	431	33	531	110
032	9.3	132	13	232	17	332	24	432	39	532	140
033	11	133	15	233	20	333	28	433	45	533	180
	13	134	17	234	22	334	31	434	52	534	210
035	15	135	19	235	25	335	35	435	59	535	250
040	7.5	140	11	240	15	340	21	440	34	540	130
041	9.4	141	13	241	17	341	24	441	40	541	170
042	11	142	15	242	20	342	28	442	47	542	220
043	13	143	17	243	23	343	32	443	54	543	280
044	15	144	19	244	25	344	36	444	62	544	350
045	17	145	22	245	28	345	40	445	69	545	440
050	9.4	150	13	250	17	350	25	450	41	550	240
051	11	151	15	251	20	351	29	451	48	551	350
052	13	152	17	252	23	352	32	452	56	552	540
053	15	153	19	253	26	353	37	453	64	553	920

ANEXO 2: Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos
del Decreto Supremo Nacional de Calidad de Agua para el
Consumo Humano N° 031-2010-SA

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

ANEXO 3: Límites máximos permisibles de parámetros de Calidad Organoléptica según el Decreto Supremo Nacional de Calidad de Agua para el Consumo Humano N° 031-2010-SA.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

ANEXO 4: Límites máximos permisibles de los parámetros de Químicos
Inorgánicos según el Decreto Supremo Nacional de Calidad
de Agua para el Consumo Humano N° 031-2010-SA.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS**

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F ⁻ L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015

ANEXO 5: Fotografía verificando parámetros fisicoquímicos



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 6: Fotografía de pozo del Sector Santa Rosa (La Condesa)



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7: Fotografía de los equipos de medición para análisis fisicoquímicos en campo



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: Fotografía del Sector Omo, Fundo Zapata



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 9: Fotografía de manantial en cueva -Sector Rinconada



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10: Fotografía afloramiento de un manantial -Sector Rinconada



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 11: Fotografía del sector Rinconada



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12: Fotografía transporte y material de toma de muestra



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 13: Fotografía Ácido Nítrico que se utiliza para preservar metales.



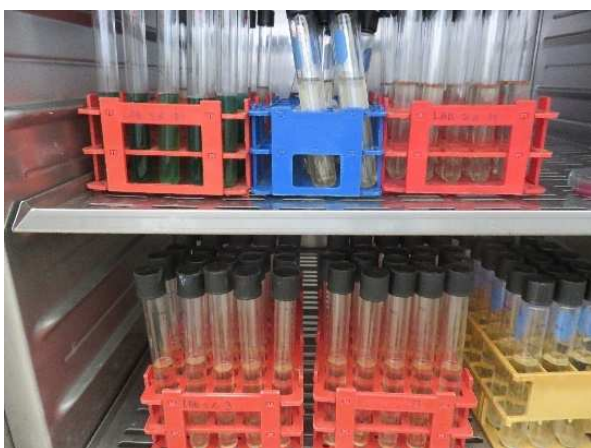
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14: Fotografía de análisis en el laboratorio



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 15: Fotografía muestras en incubadora a 35 °C



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 16: Fotografía equipo baño maría a 44,5°C



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 17: Fotografía de medio EC positivo para coliformes termotolerantes



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 18: Fotografía verificando resultados en laboratorio



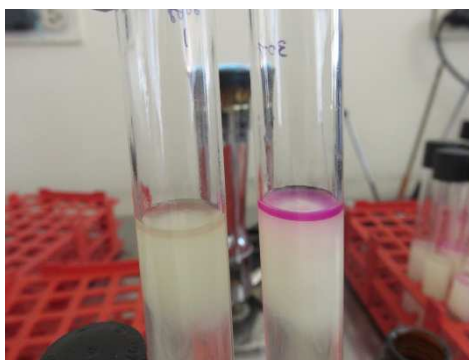
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 19:Fotografía que indica la prueba para la confirmación de *Escherichiacoli* utilizando reactivo de kovac.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 20:Fotografía que demuestra que el tubo del lado derecho presenta un halo rojo lo que indica prueba positiva para *Escherichiacoli*



Fuente: Elaboración propia

Dr. Cesar Julio Cáceda Quiroz
ASESOR

Bach. Marianela Maribel Ventura Candia
TESISTA