UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DETERMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, PROVINCIA DE CAYLLOMA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, ABRIL - MAYO 2017

TESIS PRESENTADA POR LA BACHILLER:

MARJORIE FRANCESCA AMADO CAMARGO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

BIÓLOGO

ASESOR:

DR. GRACIANO DEL CARPIO TEJADA

AREQUIPA – PERÚ

2018

DR. GRACIANO DEL CARPIO TEJADA

ASESOR

MG. JOSÉ ZUÑIGA CALCINA

PRESIDENTE

MG. CESAR RANILLA FALCÓN

SECRETARIO

DR. GRACIANO DEL CARPIO TEJADA

INTEGRANTE

INDICE DE CONTENIDO

ABREVIATURAS III
INDICE DE TABLAS IV
INDICE DE FIGURAS V
RESUMEN VI
INTRODUCCIÓN VII
OBJETIVOS IX
CAPÍTULO I 1
MARCO TEÓRICO 1
1.1 AGUA 1
1.1.1 AGUAS SUPERFICIALES 1
1.1.2 RÍOS 2
1.1.3 CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES 2
1.1.4 AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL PERÚ 2
1.2 MICROORGANISMOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA 2
1.2.1 ENTEROBACTERIAS 3
1.2.2 BACTERIAS COLIFORMES 4
1.2.3 BACTERIAS HETERÓTROFAS 5
1.3 INDICADORES FISICO QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA 6
1.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) 6
1.3.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) 6
1.3.3 TEMPERATURA (T°) 6
1.3.4 CLORO RESIDUAL 6
1.4 NORMAS DE LA CALIDAD DEL AGUA 7
1.3.1 REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO 7
1.3.2 ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA 7
CAPÍTULO II 8
MATERIAL Y MÉTODOS 8
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 8
2.1.1 UBICACIÓN 8
2.1.2 POBLACIÓN 8
2.1.3 CLIMA 8
2.1.4 RECURSO HÍDRICO 9

2.2 PUNTOS DE MUESTREO 10
2.3 FRECUENCIA DE MUESTREO 11
2.4 MUESTRA PROBLEMA 11
2.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN 11
2.6 METODOLOGÍA DE CAMPO 12
2.6.1 EVALUACIONES IN SITU 12
2.7 METODOLOGÍA DE LABORATORIO 12
2.7.1 DETERMINACIÓN DEL RECUENTO DE BACTERIAS HETERÓTROFAS 12
2.7.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES O FECALES 13
2.7.3 IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA DE ENTEROBACTERIAS 15
2.8 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN 16
CAPÍTULO III 17
RESULTADOS 17
3.1 DETERMINACIÓN DE BACTERIAS HETERÓTROFAS EN AGUA POTABLE 18
3.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES 21
3.3 EVALUACIÓN SEGÚN LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA 30
3.4 DETERMINACIÓN DE ENTEROBACTERIAS 38
4. DISCUSIÓN 40
5. CONCLUSIONES 43
6. RECOMENDACIONES 44
7. BIBLIOGRAFÍA 45

ABREVIATURAS

µm: Micrómetro

T°: Temperatura

°C: Grados centígrados

pH: Potencial de hidrógeno

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno

NO: Noroeste

SO: Suroeste

NE: Noreste

SSO: Sur Sudeste

NNE: Norte Noreste

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

mg: Miligramos

ml: Mililitros

mm: Milímetros

m: Metro

km: Kilómetro

MMC: Millones de metros cúbicos

h: Horas

UFC: Unidades formadoras de colonias

NMP: Número más probable

LMP: Límite máximo permisible

ECA: Estándares de calidad ambiental

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Puntos de muestreo.....10
TABLA 2. Comparación de bacterias heterótrofas, en el agua potable del Distrito de Majes, según evaluación realizada por punto de muestreo.....18
TABLA 3. Comparación de coliformes totales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según evaluación realizada por punto de muestreo. 22
TABLA 4. Comparación de coliformes fecales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según evaluación realizada por punto de muestreo. 26
TABLA 5. Comparación de bacterias heterótrofas, con el LMP para agua potable del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 30
TABLA 6. Comparación de coliformes totales, con el LMP y ECA para el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 31
TABLA 7. Comparación de coliformes fecales, con el LMP y ECA para el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 32
TABLA 8. Comparacion de *Escherichia coli* con el LMP y ECA de aguas de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. .33
TABLA 9. Comparacion de cloro residual, con eL LMP para el agua potable del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 34
TABLA 10. Comparacion de la temperatura, con el LMP y ECA para el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 35
TABLA 11. Comparacion del pH. con el LMP y ECA para el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. 36
TABLA 12. Comparacion de la DBO_5 con el LMP y ECA de aguas de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, por punto de muestreo. .37
TABLA 13. Especies de enterobacterias según punto de muestreo, en aguas de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes.....38

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa del Distrito de Majes con los 15 puntos de muestreo.....11
FIGURA 2. Comparación de UFC/100ml de bacterias heterótrofas en el agua potable del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la primera evaluación.....19
FIGURA 3. Comparación de UFC/100ml de bacterias heterótrofas, en el agua potable del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la segunda evaluación.....19
FIGURA 4. Comparación de UFC/100ml de bacterias heterótrofas, en el agua potable del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la tercera evaluación.....20
FIGURA 5. Comparación del NMP/100ml de coliformes totales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la primera evaluación.....23
FIGURA 6. Comparación del NMP/100ml de coliformes totales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la segunda evaluación. 24
FIGURA 7. Comparación del NMP/100ml de coliformes totales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la tercera evaluación.....25
FIGURA 8. Comparación del NMP/100ml de coliformes fecales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la primera evaluación.....27
FIGURA 9. Comparación del NMP/100ml de coliformes fecales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la segunda evaluación. 28
FIGURA 10. Comparación del NMP/100ml de coliformes fecales, en el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes, según punto de muestreo en la tercera evaluación.....29
FIGURA 11. Especies de enterobacterias en porcentaje según punto de muestreo, en aguas de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes.....39

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la calidad bacteriológica del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales por medio de la presencia de microorganismos indicadores; coliformes totales, coliformes termotolerantes o fecales y bacterias heterótrofas en agua potable y agua cruda del Distrito de Majes. Para ello se realizaron tres muestreos con tres repeticiones por cada punto de muestreo tanto en la zona urbana (CPE, MPE, DPE) como en la zona rural (BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA) durante dos meses con una frecuencia de 15 días, en donde se recolectaron 135 muestras de agua, 108 de agua cruda y 27 de agua potable. Se determinó el recuento de bacterias heterótrofas en agua potable, obteniendo como valor mínimo 0.33 UFC/100ml en los puntos CPE Y DPE y como valor máximo 0.67 UFC/100ml en el punto MPE, no superando en ningún punto el LMP. También se determinó el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales, demostrando diferencias altamente significativas ($P<0.01$) para las tres evaluaciones realizadas; teniendo como valor mínimo para coliformes totales y fecales 0 NMP/100ml en los puntos CPE, MPE y DPE y como valor máximo 2200 NMP/100ml para el punto PPA (1ra evaluación), 3800 NMP/100ml punto CMA y 3233.33 NMP/100ml punto PPA (2da evaluación) y 4200 NMP/100ml punto PPA (3ra evaluación). Los promedios de las tres evaluaciones del (NMP/100mL) realizadas para coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* superan el LMP y el ECA CATEGORIA 1 – A1 en los puntos BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA; también se determinó que los puntos CMA, PCB y PPA para coliformes totales, el punto PPA para coliformes fecales y los puntos C3R, CMA, BL5, PCB, PPA y DPA superan el ECA CATEGORIA 3 – D1 mientras que el ECA CATEGORIA 3 – D2 no es superado en ningún punto de muestreo. Los parámetros fisicoquímicos cloro residual, T° y pH no superan ninguno de límites máximos permisibles sin embargo DBO_5 supera el ECA CATEGORIA 3 – D1 pero no el ECA CATEGORIA 3. Se han identificado 7 especies de enterobacterias en los puntos de muestreo de agua sin tratar, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter agglomerans, Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter diversus* y *Citrobacter freundii.*

Palabras clave: calidad del agua, bacterias heterótrofas, coliformes totales, coliformes fecales.

INTRODUCCIÓN

El Distrito de Majes se caracteriza por ser principalmente una zona agrícola o zona rural y el agua que se distribuye en este sector es agua cruda que no cuenta con ningún tipo de tratamiento, solo una parte de la población que es la zona urbana cuenta con agua potable.

La contaminación bacteriológica del agua es originada por las actividades humanas que contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad, principalmente con la contaminación por agentes externos con residuos orgánicos e inorgánicos; la contaminación también se debe al mal estado de los sistemas de distribución (canales, pozos, griferías) que no cuentan con mantenimiento predisponiendo el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes. Además, existen otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como la cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH. 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. 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 & MÉNDEZ, 1994).

Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial que demanda un urgente control mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de enfermedades relacionadas con la calidad del agua (VARGAS, 1996).Además existen factores secundarios que permiten el crecimiento de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías (GALARRAGA, 1984).

La determinación de microorganismos intestinales normales como indicadores de contaminación fecal, en lugar de patógenos, es un principio de aceptación universal en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana en los sistemas de abastecimiento de agua (GOEZ, 1999).

Es por ello que el presente estudio busca evaluar la calidad bacteriológica del agua determinando si es apta para consumo humano, regadío y bebida de animales; y si cumple con el Límite Máximo Permisible del Reglamento de la Calidad de agua de Consumo Humano, Decreto Supremo N° 031-2010-SA, y con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAN.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad bacteriológica del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el recuento de bacterias heterótrofas del agua potable del Distrito de Majes.
2. Determinar el número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y termotolerantes o fecales, del agua potable y agua sin tratar del Distrito de Majes.
3. Evaluar si el agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes es apta y si cumple con el Límite Máximo Permisible del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Decreto Supremo N° 031-2010-SA; y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Decreto Supremo N° 015-2015-MINAN.
4. Identificar especies de enterobacterias, presentes en el agua sin tratar del Distrito de Majes.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA

El agua, además de ser una sustancia imprescindible para la vida, por sus múltiples propiedades, es ampliamente utilizada en actividades diarias tales como la agricultura (70% al 80%), la industria (20%), el uso doméstico (6%), entre otras, convirtiéndose en uno de los recursos más apreciados en el planeta. De ahí la importancia de conservar y mantener la calidad de las fuentes naturales, de manera que se garantice su sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, 1992).

Casi toda el agua de nuestro planeta se encuentra bajo la forma de agua salada en los océanos; solo el 3% de los recursos hídricos globales son aguas dulces, dos tercios de los cuales provienen de la nieve y de los hielos polares de las regiones montañosas por tanto las aguas superficiales de los ríos y lagos, las aguas subterráneas y el agua que se encuentra en suspensión en la atmosfera son las que se encuentran a nuestro alcance. (GUINEA, SANCHO & PARÉS, 1979).

1.1.1 AGUAS SUPERFICIALES

Se llaman aguas superficiales a aquellas que discurren sobre la tierra, las cuales al caer forman las llamadas aguas de escorrentía que pueden infiltrarse o contribuir a la formación de ríos y lagos (PNUMA, 1991).

Las aguas superficiales de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de aguas públicas en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente. Una desventaja de utilizar aguas superficiales es que están expuestas a la contaminación (GLYNN & GARY, 1999).

Dentro del territorio de la región Arequipa las aguas superficiales conforman una red hídrica dulce indispensable para el desarrollo de la agricultura de valles, la actividad pecuaria y diversas actividades urbanas (DIGESA, 2006).

1.1.2 RÍOS

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad y siempre por gravedad discurre de las partes altas hacia las bajas. Posee un caudal determinado y finalmente desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en este último caso se le denomina afluente. Algunas veces terminan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación (COMUNIDAD PLANETA AZUL, 2017).

1.1.3 CAPTACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Un sistema de suministro de agua empieza por la captación y esta se define una vez se seleccione la fuente o fuentes. Cuando la fuente es un río o quebrada la captación se hace por una bocatoma que consiste en una estructura acoplada al canal de derivación, estos proveen rejas, tamices y compuertas para evitar el ingreso de solidos flotantes (PONGUTA, 2003).

1.1.4 AGUA DE CONSUMO HUMANO EN EL PERÚ

Según el informe de Evolución de la Pobreza para el 2010 del INEI, solo el 51% de los hogares pobres consume agua proveniente de red pública (se entiende por red pública a la red de agua dentro o fuera de la vivienda, o mediante el uso de un pilón público). El 49% restante accede al agua para consumo por medio de camiones cisterna, ríos, acequias u otros similares. Asimismo, se ha observado que en distintas zonas del país, se hace uso de aguas superficiales sin ningún tratamiento (ríos, lagos, etc.). Estas fuentes sin tratar contienen niveles elevados de bacterias, protozoarios y virus, lo que ha incrementado la incidencia de enfermedades infectocontagiosas, diarreicas y parasitarias (ENERGIA, 2012).

1.2 MICROORGANISMOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Los microorganismos indicadores de la calidad microbiológica del agua son habitantes normales del intestino del hombre y otros animales de sangre caliente; por eso, su presencia en las muestras de agua nos indica la contaminación del agua con materia fecal y en consecuencia la posibilidad de transmisión de cualquier enfermedad de origen hídrico (MORA & MATA, 2003)

1.2.1 ENTEROBACTERIAS

La familia Enterobacteriaceae pertenece al orden XII Enterobacteriales. Según la segunda edición 2001 del Manual Bergey de Bacteriología Sistemática, está conformada por 41 géneros y más de 100 especies (QUINN *et al*, 2005). Está familia incluye géneros de gran importancia a nivel epidemiológico como son *Escherichia coli*, *Shigella sp*., *Salmonella sp*., *Enterobacter sp*., *Klebsiella sp*., *Serratia sp*., *Proteus sp., Citrobacter sp*., *Edwarsiella sp*., Yersinia *sp., Morganella sp*., y *Arizona sp*. entre otras (JAWETZ, MELNICK, & ADELBERG, 2005).

Los microorganismos de esta familia son parecidos en cuanto a su morfología y caracteres tintoriales por ser bacilos pleomórficos Gram negativos y asporógenos de un tamaño de 2-3 µm por 0.4-0.6 µm, catalasa positivos y oxidasa negativo, por carecer de citocromo c, lo cual es una propiedad bioquímica útil en el aspecto diagnóstico de la familia.[29] Los representantes de este grupo de microorganismos son anaerobios facultativos; en condiciones anaerobias, su crecimiento depende de que en el medio existan carbohidratos como fuente de carbono; en aerobiosis, la gama de sustratos apropiados para su crecimiento incluye ácidos orgánicos, aminoácidos y carbohidratos (BIBERSTEIN & CHUNG ZEE, 1990).

Mediante observación microscópica resulta difícil diferenciar los representantes de un determinado género. Son clave para el diagnóstico los productos resultantes de la fermentación de azúcares; casi todos los microorganismos de este grupo fermentan la glucosa a acido pirúvico por la vía Embden Meyerhoff (glicólisis); fermentan D-glucosa a menudo con producción de gas, reducen los nitratos a nitritos y poseen un contenido de DNA del 39 al 59% de guanina más citosina (G+C), algunos poseen cápsula (STANCHI, 2007) (BIBERSTEIN & CHUNG ZEE, 1990). Las propiedades que definen a la familia deben ponerse en evidencia para afirmar que la cepa es una enterobacteria. A partir de ahí se realiza la identificación, fundamentalmente por las características bioquímicas para estudiar el metabolismo proteico (presencia de ureasa, producción de indol, degradación del triptófano), el metabolismo glucosídico (fermentación de azúcares, glucosa, lactosa, sacarosa, etc.), la capacidad de utilizar el citrato como única fuente de carbono, la presencia de enzimas descarboxilasa y desaminasas y la producción de hidrógeno sulfurado, entre las características más importantes (BIBERSTEIN & CHUNG ZEE, 1990).

Las enterobacterias pueden comportarse como apatógenas, patógenas oportunistas o patógenas importantes. Las primeras, pueden encontrarse como contaminantes de muestras clínicas, siendo aisladas del ambiente y/o materia fecal, como es el caso de *Hafnia*; las enterobacterias patógenas oportunistas ocasionalmente producen enfermedad a nivel del tracto digestivo, mientras que las patógenas importantes pueden causar daños entéricos y sistémicos, por poseer una estructura antígena compleja y producir varias toxinas y otros factores de virulencia (MUÑOZ, AGUDELO & OVALLE, 2002).

1.2.2 BACTERIAS COLIFORMES

1.2.2.1 Coliformes totales

Los coliformes totales se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento, no tienen citocromo oxidasa y son capaces de fermentar la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 °C o 37 °C, en un período de 24 a 48 horas. Por definición, las bacterias coliformes presentan actividad de la β - galactosidasa. Se pueden encontrar tanto en las heces como en el medio ambiente y en el agua para consumo con concentraciones de 1 (MORA & MATA, 2003).

1.2.2.2 Coliformes fecales

Los coliformes fecales o termotolerantes son bacterias anaeróbicas facultativas, no esporuladas, Gram negativas, que pueden fermentar la lactosa a 44,5 $\pm$ 0,2 °C, en un período de 24 horas. Comprenden el género *Escherichia* y en menor grado especies de *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. Están presentes en grandes cantidades en las heces de animales de sangre caliente y del ser humano. Su presencia en aguas o alimentos sirve de indicador indirecto de contaminación fecal y del riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas intestinales. La presencia de los coliformes termotolerantes y en especial la de *E.coli*, indica contaminación fecal reciente (MORA & MATA, 2003).

1.2.2.3 *Escherichia coli*

Escherichia coli pertenece a la familia de las enterobacterias, se caracteriza por poseer las enzimas β-galactosidasa y β-glucuronidasa. Se desarrolla a 44 - 45 °C en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 °C pero no a 44– 45 °C y algunas no liberan gas. No produce oxidasa ni hidroliza la urea (MORA & MATA, 2003).

1.2.3 BACTERIAS HETERÓTROFAS

Las bacterias heterotróficas (heterótrofas) se definen como aquellas bacterias que usan compuestos del carbono orgánico como fuente de energía y el carbono para su crecimiento, en contraposición con las bacterias autotróficas que utilizan los compuestos inorgánicos como fuente de energía y el CO2, como fuente de carbono. Esta definición de bacteria heterótrofa es amplia e incluye tanto a las bacterias saprofitas como a las patógenas. Por lo tanto, las bacterias que causan como las que no causan enfermedades son heterótrofas. (CEPIS, 2000)

Las bacterias heterótrofas abundan en el agua, incluidas el agua tratada y del grifo; poseen gran capacidad de adaptación, pueden tolerar condiciones adversas de suministro de oxígeno y permanecer más tiempo que otros microorganismos en el agua. Es un indicador de la carga total bacteriana, que favorece el recuento de bacterias viables a 37 °C en 48 h de incubación; sus resultados se expresan en UFC de los microorganismos existentes (GLASMACHER, ENGELHART, & EXNER, 2003). Mediante este indicador se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de coliformes, para controlar un determinado proceso o para verificar la calidad del tratamiento, desinfección o descontaminación (PNUMA, 2007). Se ha comprobado que el conteo total de microorganismos heterótrofos es uno de los indicadores más confiables y sensibles del tratamiento o del fracaso de la desinfección.

1.3 INDICADORES FISICO QUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA

1.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Es un parámetro que representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usada para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Se da cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Esta es una medida de la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitritos, amoniaco, sulfuro y cloruros (MEJÍA, 2005)

1.3.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos. Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales MEJÍA, 2005)

1.3.3 TEMPERATURA (T°)

Los datos sobre la temperatura del agua son necesarios cuando se utiliza como refrigerante o en procesos industriales, así como para el cálculo de la solubilidad del oxígeno y del equilibrio dióxido de carbono-bicarbonatocarbonato. Con la sola medición de la temperatura se puede identificar fuentes de agua como los pozos profundos. La temperatura del agua potable influye en su sabor. Además, es importante en relación con el uso del agua para baño y riego agrícola. (SNMPE, 2012).

1.3.4 CLORO RESIDUAL

El cloro es un producto químico utilizado en la desinfección del agua. Su medida es importante y sirve para controlar la dosificación que se está aplicando y también para seguir su evolución durante el tratamiento (SNMPE, 2012).

1.4 NORMAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

1.3.1 REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

En el 2010, con el objetivo de proteger y promover la salud y bienestar en la población, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), elaboró el "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano".

Este reglamento determina los valores máximos (o más conocidos como los límites máximos permisibles) que puede tener el agua de elementos físicos, químicos y microbiológicos, para ser considerada potable y por tanto bebible por el ser humano.

También, se establecieron las autoridades encargadas de dirigir y supervisar la gestión de la calidad del agua para consumo humano, el papel de los gobiernos regionales y locales; además de fortalecer la posición de DIGESA, como autoridad sanitaria, entre otros.

1.3.2 ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

El ministerio del ambiente mediante Decreto supremo N° 002-2008-MINAN, en conformidad con la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y decreto legislativo N° 1013; se decreta la aprobación de los "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua" los mismos que fueron modificados el año 2015 mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAN, estableciendo disposiciones complementarias para su aplicación con el objeto de establecer niveles de concentración; físico, químico y biológico presentes en el agua que no representen riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1 UBICACIÓN

El Distrito de Majes pertenece a la Provincia de Caylloma, Departamento de Arequipa; ubicado a una distancia aproximada de 100 km de la ciudad de Arequipa por la carretera Panamericana Sur, con dirección NO; geográficamente se encuentran dentro de las coordenadas 16° 15’ a 15° 20’ de latitud sur y 72° 15’ de longitud Oeste, con una altitud promedio de 1375 m.s.n.m (JUPM, 2016).

2.1.2 POBLACIÓN

La población estimada del distrito de Majes es de 62 661 habitantes para el año 2015 (INEI, 2015)

2.1.3 CLIMA

El clima de las pampas de Maje es árido, caracterizándose por los siguientes parámetros climáticos (JUPM, 2016)

- Temperatura uniforme durante todo el año, con una media anual de 19° C con un máximo de 26.5° C y un mínimo medio de 9.8° C durante el día.
- Precipitación esporádica y no significativa, llegando a tener un promedio, mensual de 0.57 mm y 7 mm anual.
- Humedad relativa baja, siendo la influencia del Océano Pacifico débil, su promedio anual es de 52% y aumenta en las épocas en que predomino “la camanchaca”, registrándose los mayores valores en verano (87%) y las menores en invierno (26%).
- Evaporación elevada, llegando al promedio anual, en desierto de 3030mm, siendo la media anual de 2226.50mm y la media diaria es de 6.1mm.
- Insolación alta, llegando a un promedio anual de 3571 horas del sol siendo, la media diaria de 9.8 horas, variando durante el año entre 8.20 a 10.70 horas de sol por día promedio mensual.

- Los vientos predominantes son los alisios del Pacifico y los provenientes de la sierra, siendo los alisios los más importantes por su constancia e intensidad, con dirección predominante de SO-SSO a NE-NNE. Los desplazamientos de masas de aire registradas son de 70 a 100 km/día a una altura de 2m, la velocidad es variable, puede sobrepasar los 60 km/hora a una altura de 7m.

2.1.4 RECURSO HÍDRICO

Las fuentes de agua se encuentran ubicadas en las partes altas de las cuencas de los ríos Colca y Siguas, la regulación, transporte y distribución del agua se realiza mediante una infraestructura, que en conjunto comprende el sistema hidráulico Majes - Siguas. La represa de Condoroma sobre el rio Colca, tiene una capacidad de embalse total de 283 MMC y un embalse útil de 259 MMC, esta agua es conducida a través de una infraestructura hidráulica de canales y túneles de aducción, que llegan al río Siguas y que es captada por la bocatoma de Pitay y a su vez es conducido por canales de derivación hacia la Pampa de Majes, que a continuación se distribuye el agua de riego en tres canales principales; canal 1R, canal central y canal madre, que sirven a los siguientes sectores (JUPM, 2016):

- Canal 1R que conduce y distribuye el agua a la sección E.
- Canal Central que conduce y entrega agua a los canales 2R y 3R. El canal 2R abastece de agua al asentamiento la Colina de la sección A, el canal 3R distribuye el agua a los asentamientos El Alto, El Pedregal, los Molles de la sección A, zona especializada y las secciones B y C.
- Canal Madre que abastece de agua a la sección D y Pampa Baja.

De este grupo de canales principales se redistribuye el agua a través de canales y tomas a una serie de vasos de almacenamiento o regulación, desde donde nace un conjunto de redes de tuberías a presión, que permite entregar agua a una serie de 2,660 hidrantes o tomas parcelarias (JUPM,2016).

2.2 PUNTOS DE MUESTREO

Se tomaron 15 puntos de muestreo tanto en la zona urbana como rural, teniendo en cuenta la accesibilidad y representatividad de cada punto.

TABLA 1. Puntos de muestreo

N°	*PUNTO DE MUESTREO*	*DENOMINACIÓN*	*ZONA*	*TIPO DE AGUA*	*COORDENADAS UTM*
1	BPI	Bocatoma Pitay	RURAL	CRUDA	18 K 815427 8207087
2	CDT	Canal Desarenador Terminal	RURAL	CRUDA	18 K 807473 8195767
3	C1R	Canal 1R	RURAL	CRUDA	18 K 807240 8195778
4	C2R	Canal 2R	RURAL	CRUDA	18 K 805695 8192884
5	C3R	Canal 3R	RURAL	CRUDA	18 K 804710 8190580
6	CMA	Canal Madre	RURAL	CRUDA	18 K 802400 8187860
7	APT	Afluente planta de tratamiento	RURAL	CRUDA	18 K 800697 8192593
8	BL5	Bloque 5	RURAL	CRUDA	18 K 799861 8192926
9	PCA	Poza de compensación A	RURAL	CRUDA	18 K 799598 8193126
10	PCB	Poza de compensación B	RURAL	CRUDA	18 K 796350 8196523
11	PPA	Pozo Parcela	RURAL	CRUDA	18 K 794426 8193300
12	DPA	Domicilio Parcela	RURAL	CRUDA	18 K 794413 8193307
13	CPE	Colegio Pedregal	URBANA	POTABLE	18 K 800240 8189348
14	MPE	Mercado Pedregal	URBANA	POTABLE	18 K 800081 8188848
15	DPE	Domicilio Pedregal	URBANA	POTABLE	18 K 800323 8189198

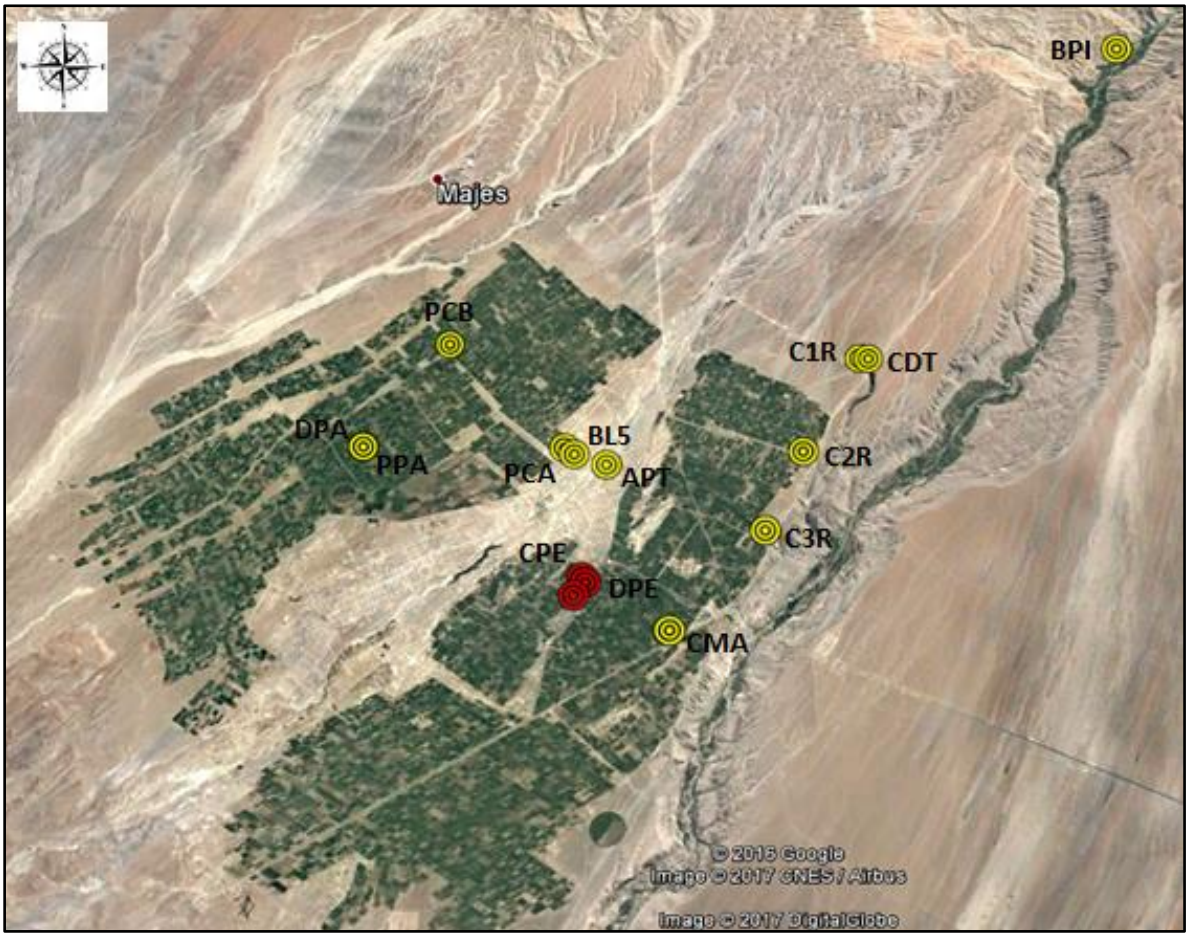


FIGURA 1. Mapa del Distrito de Majes con los 15 puntos de muestreo (Fuente: Google Earth)

2.3 FRECUENCIA DE MUESTREO

Se realizaron 3 muestreos con 3 repeticiones por cada punto de muestreo con una frecuencia de 15 días durante dos meses (abril - mayo).

2.4 MUESTRA PROBLEMA

Se analizaron 135 muestras de agua, 108 de agua cruda (zona rural) y 27 de agua potable (zona urbana).

2.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Las variables usadas para evaluar la calidad del agua se dividen en:

Biológicas: coliformes totales (NMP/100mL), coliformes fecales (NMP/100mL), bacterias heterótrofas (UFC/100mL).

Físico químicas: temperatura (°C), pH unidades pH), cloro residual (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 en mg/L).

2.6 METODOLOGÍA DE CAMPO

El muestreo se realizó de acuerdo al “Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano, Decreto Supremo N° 160-2015/DIGESA/SA”.

2.6.1 EVALUACIONES IN SITU

Para las evaluaciones se utilizó un termómetro digital (temperatura) y un pH metro digital (pH); y la técnica del DPD (N, N dietil-p-fenildiamina) para la determinación del cloro residual en agua potable.

2.7 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

2.7.1 DETERMINACIÓN DEL RECUENTO DE BACTERIAS HETERÓTROFAS

La determinación de bacterias heterótrofas se realizó por medio del método Recuento de colonias en placa según *Standard Methods for the examination of Water and* Wastewater (SMEWW, 2012)

El método consistio en agregar 1 ml de la muestra o dilución de la muestra a una placa petri estéril, por duplicado y verter un volumen adecuado de agar plate count licuado el cual debe estar a una temperatura de 45°C a 46°C; luego se realiza la homogenización, se deja solidificar e incubar a 35°C ± 0.5 °C por 48 horas.

Después de las 48 horas se realizó la lectura por medio de Unidades formadoras de colonias (UFC); que es el número mínimo de células separables sobre la superficie, o dentro de un medio de agar que da lugar al desarrollo de una colonia visible del orden de decenas de millones de células descendientes. Las unidades formadoras de colonias pueden ser pares, cadenas o racimos, así como células individuales y se miden en UFC/ml.

$$UFC/100ml = \frac{Colonias\ contadas}{Volumen\ actual\ de\ muestra\ inoculada\ en\ ml}$$

2.7.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES O FECALES

La determinación del número más probable de coliformes se realizó por medio del método de Tubos múltiples de fermentación según *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater* (SMEWW, 2012)

Esta técnica es muy útil en el caso de aguas superficiales con alta densidad de partículas, también se propone este método para análisis de agua potable.

2.7.2.1 PRUEBA PRESUNTIVA

Se utilizó caldo lauril sulfato en volúmenes de 90 ml de doble concentración (2X) para inóculos de 10 ml de muestra y 9 ml de simple concentración (X) para inóculos de 1 ml de muestra, cada frasco de la muestra fue agitado con movimientos constantes para una mayor homogenización, luego se tomó 10 ml de la muestra utilizando una pipeta estéril y se agregó directamente a cinco tubos que contenían 90 ml de caldo lauril sulfato de doble concentración (2X) con su respectiva campana de durham.

Luego se realizaron las diluciones correspondientes para las muestras de simple concentración (X), para ello se tomó 1ml de la muestra utilizando una pipeta estéril y se transfirió a un tubo de ensayo que contenía 9ml de agua de dilución, de esta forma se obtuvo una dilución al décimo de la muestra (10^{-1}) que también se homogenizo, luego con otra pipeta estéril se tomó 1 ml de la primera dilución y se pasó a otro tubo con agua de dilución con lo que la muestra original fue diluida al centésimo (10^{-2}) y así sucesivamente hasta llegar a la dilución conveniente (10^{-n}), las diluciones se harán de acuerdo al grado de contaminación de la muestra.

Se empleó la dilución (10^{-1}) como muestra, con ayuda de una pipeta estéril se retiró 1ml y se transfirió a cinco tubos que contenían 9 ml de caldo lauril sulfato de simple concentración (X) con su respectiva campana de durham; se continuó la serie con la siguiente dilución (10^{-2}) hasta que la dilución final rinda resultados negativos.

Luego de inoculada la muestra los tubos de ensayo fueron llevados a la incubadora a 35°C ± 0.5°C por un periodo de 24 a 48 h, al cabo de 24 horas de incubación los tubos fueron examinados, si no se ha producido gas se vuelve a examinar a las 48 horas. Los tubos que resultaron positivos presentaron producción de gas, como resultado de la fermentación se enturbió el caldo y se agitó suavemente con movimientos de rotación donde se observó la aparición continua de pequeñas burbujas de gas en el medio; posteriormente se realizó la prueba confirmativa con los tubos que dieron positivo.

2.7.2.2 PRUEBA CONFIRMATIVA

Consistió en la confirmación de la presencia de organismos coliformes y *Escherichia coli* que al crecer sobre medios selectivos eliminan los resultados de la prueba presuntiva, y se realizó mediante un subcultivo de cada tubo positivo en medios de confirmación líquidos o sólidos.

Para la determinación de coliformes totales se utilizaron tubos con caldo lactosado verde brillante bilis (BRILA) y en su interior un tubo durham invertido; a partir de los tubos positivos de caldo lauril sulfato (tubos con presencia de gas y acidez), se tomó con el asa de siembre dos asadas y se inoculó en el caldo lactosado verde brillante bilis; terminada la siembra se incubó a 35°c ± 0.5°c por un periodo de 24 a 48 h horas, luego del periodo de incubación la prueba se consideró positiva si presentó producción de gas y acidez.

Para la determinación de coliformes fecales o termotolerantes se usaron tubos de fermentación con caldo EC-MUG, en el interior se colocó un tubo de Durham invertido. A partir de los tubos con gas y acidez del Caldo Lauril Sulfato (Prueba Presuntiva) se extrajeron dos asadas con el asa bacteriológica y se inoculó en los tubos de fermentación que contenían caldo EC, luego se incubó a 44.5 ± 0.2°C por 24 horas en baño María; pasadas las 24 horas se retiraron los tubos del baño María y se observó si hay producción de gas y turbidez. Para el cálculo del NMP de Coliformes fecales se contabilizó como positivos aquellos tubos de la serie que dieron prueba de confirmación positiva. [2]

2.7.2.3 CALCULO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP)

El método de NMP (Numero Más Probable) proporciona una estima de los organismos viables existentes en un sustrato. Es un concepto estadístico derivado de la teoría de probabilidades aplicable a la enumeración de microorganismos bajo ciertas condiciones.

Se calculó el NMP basándose en las combinaciones de tubos positivos y negativos en cada dilución, reportando los resultados de coliformes totales y fecales. La densidad de las bacterias coliformes se expresó como NMP de coliformes totales por 100ml y NMP de Coliformes Fecales por 100ml. El NMP se obtuvo a través de tablas en las que se presentan el límite de confianza de 95% para cada valor de NMP determinado.

$$\frac{Valor\ de\ la\ Tabla\ NMP\ x\ 10}{Volumen\ de\ la\ dilución\ inicial} = NMP/100ml$$

2.7.3 IDENTIFICACIÓN BIOQUÍMICA DE ENTEROBACTERIAS

Las pruebas bioquímicas se basan en la determinación de la presencia o ausencia de diferentes enzimas codificadas por el material genético del cromosoma bacteriano. Estas enzimas (catalasas, coagulasas, decarboxilasas, desaminasas, ureasas, peroxidasas, etc.) involucradas en el metabolismo bacteriano, pueden ser evidenciadas en medios de cultivo especiales que contienen los substratos (DNA, hidratos de carbono, aminoácidos, etc.) sobre los cuales ellas actúan, junto con un sistema indicador que va a poner de manifiesto la degradación del substrato o la presencia de un metabolito específico (ácido fórmico, ácido láctico, ácido succínico, indol, etc.) (MURCIA, 2011). Algunas de las pruebas más usadas son:

TSI (triple azúcar hierro): es un agar diferencial basado en la fermentación de azúcares y la producción de H2S y gas. Contiene glucosa, sacarosa y lactosa; estas últimas en una concentración 10 veces mayor a la glucosa. El indicador de pH es el rojo de fenol, el cual vira a amarillo por formación de ácido a partir del carbohidrato, el sulfato ferroso es un detector de la producción de ácido sulfhídrico (MacFADDIN, 2000).

LIA (agar lisina hierro): El fundamento de esta prueba es que los procesos de descarboxilación y desaminación en el medio de cultivo tienen lugar con la previa fermentación del carbohidrato que contiene el medio (glucosa) y la acidez producida por esta reacción, si el microorganismo posee las descarboxilasas necesarias, se produce la descarboxilación liberándose como producto final las aminas que alcalinizan el medio de cultivo, por otro lado si el microorganismo posee las desaminasas se efectúa la desaminación y el producto final son los ácidos orgánicos que acidifican el medio de cultivo.

Prueba INDOL: Esta prueba se desarrolla para determinar si la bacteria en estudio está en capacidad de desdoblar el indol de la molécula de triptófano; el indol es uno de los componentes de la degradación metabólica del aminoácido triptófano. Las bacterias que poseen la triptofanasa son capaces de hidrolizar y desanimar el triptófano con producción de indol, ácido pirúvico y amoniaco. La prueba se basa en la formación de un complejo rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del p-dimetilaminobenzaldehido. Este es el principio activo de los reactivos de kovacs y Ehrlich, utilizados para la identificación de producción de indol por parte de los microorganismos (MacFADDIN, 2000).

2.8 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Los resultados del NMP de Coliformes Totales y Fecales, serán ordenados en cuadros y se procederá a realizar el análisis de varianza, una vez desarrollado el ANOVA se verificará la existencia de diferencias significativas entre las fuentes de variación mediante la prueba significativa de Tuckey.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

Se analizaron 135 muestras de agua, 108 de agua cruda (zona rural) y 27 de agua potable (zona urbana) del Distrito de Majes.

Las muestras derivan de tres muestreos con una frecuencia de 15 días durante los meses de abril y mayo del 2017.

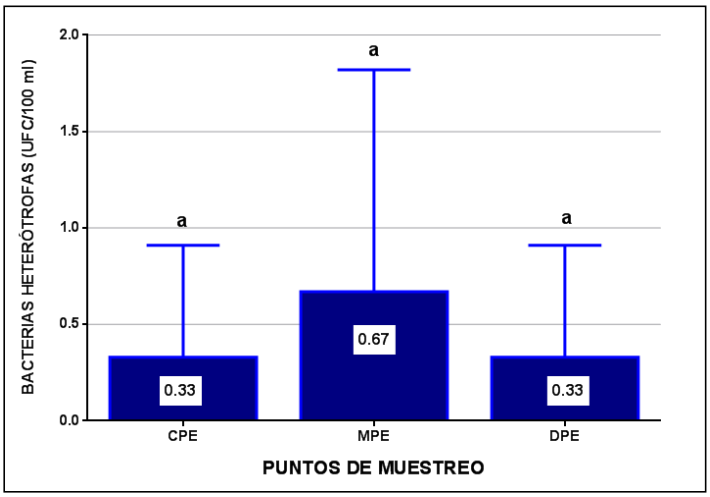
3.1 DETERMINACIÓN DE BACTERIAS HETERÓTROFAS EN AGUA POTABLE

Un total de 27 muestras de agua potable fueron recolectadas de la zona urbana del Distrito de Majes tomando tres puntos de muestreo representativos; CPE (colegio pedregal), MPE (mercado pedregal) y DPE (domicilio pedregal).

TABLA 2. COMPARACIÓN DE BACTERIAS HETERÓTROFAS, EN EL AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN EVALUACIÓN REALIZADA POR PUNTO DE MUESTREO

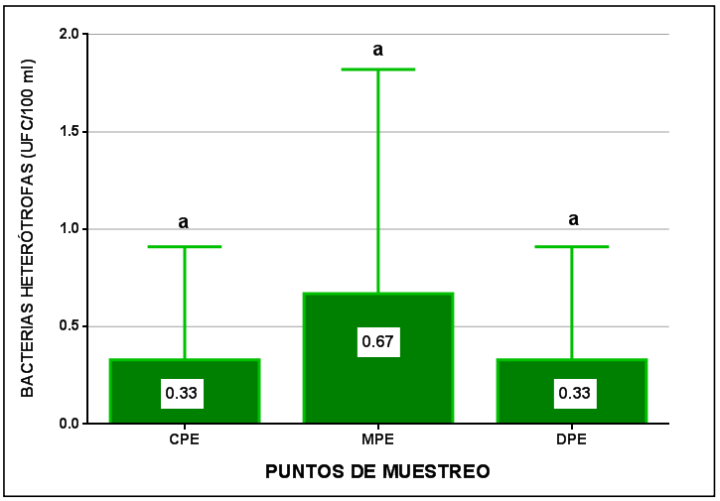
PUNTO DE MUESTREO	BACTERIAS HETERÓTROFAS (UFC/100 ml)		
	1ra EVALUACIÓN	2da EVALUACIÓN	3ra EVALUACIÓN
	$\overline{X} \pm S$	$\overline{X} \pm S$	$\overline{X} \pm S$
CPE	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58
MPE	0.67 ± 1.15	0.67 ± 1.15	0.33 ± 0.58
DPE	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58	0.33 ± 0.58
ANOVA (F)	0.115	0.115	0.000
SIGNIFICANCIA (p)	0.893 (P>0.05) (N.S.)	0.893 (P>0.05) (N.S.)	1.000 (P>0.05) (N.S.)

Se observa en la Tabla 2 los promedios de UFC/100mL de bacterias heterótrofas y sus respectivas desviaciones estándar, del agua potable del Distrito de Majes por punto de muestreo para las tres evaluaciones realizadas**,** se detalla también los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de comparación de ANOVA por evaluación, que demuestran que no existen diferencias significativas (P>0.05) en las UFC/100mL de bacterias heterótrofas.



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a)

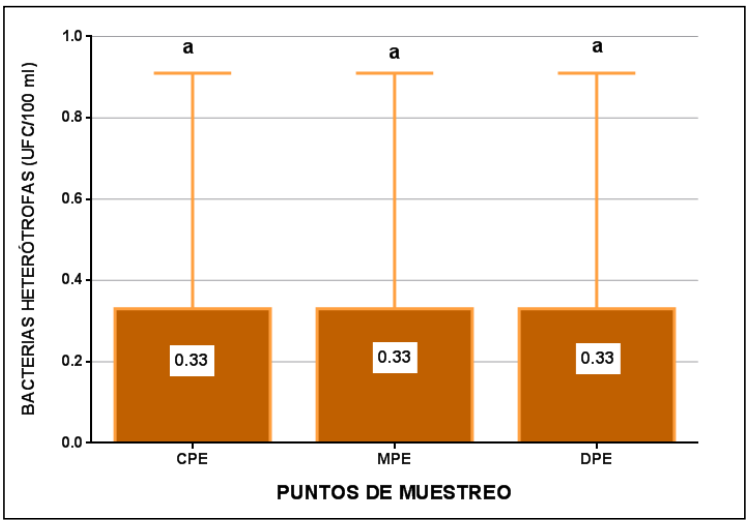
FIGURA 2. COMPARACIÓN DE UFC/100mL DE BACTERIAS HETERÓTROFAS EN EL AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA PRIMERA EVALUACIÓN. La Figura 2 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de un grupo estadísticamente similar con 0.67, 0.33 y 0.33 UFC/100mL de bacterias heterótrofas, en los puntos MPE, CPE y DPE respectivamente (a).



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a)

FIGURA 3. COMPARACIÓN DE UFC/100mL DE BACTERIAS HETERÓTROFAS, EN EL AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA SEGUNDA EVALUACIÓN. La Figura 3 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de un grupo estadísticamente similar con 0.67, 0.33 y 0.33 UFC/100mL de

bacterias heterótrofas, en los puntos MPE, CPE y DPE respectivamente (a).



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a)

FIGURA 4. COMPARACIÓN DE UFC/100mL DE BACTERIAS HETERÓTROFAS, EN EL AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA TERCERA EVALUACIÓN. La Figura 4 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de un grupo estadísticamente similar con 0.33, 0.33 y 0.33 UFC/100mL de bacterias heterótrofas, en los puntos MPE, CPE y DPE respectivamente (a).

3.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES Y COLIFORMES FECALES

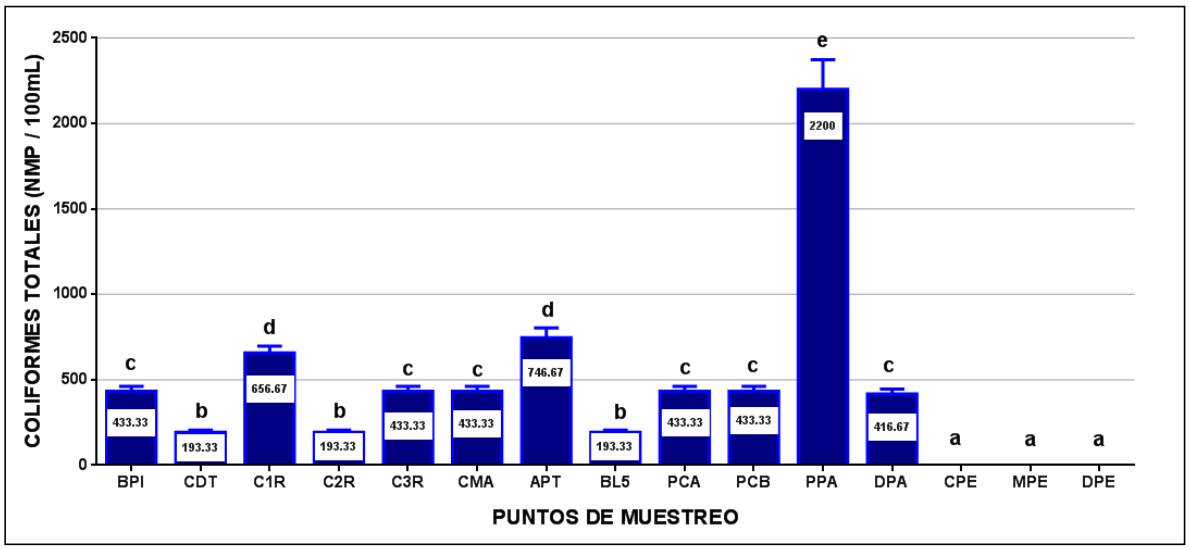
Un total de 135 muestras agua, 108 de agua cruda (zona rural) y 27 de agua potable (zona urbana) fueron recolectadas del Distrito de Majes, tomando 15 puntos de muestreo representativos (BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA, CPE, MPE, DPE).

TABLA 3. COMPARACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN EVALUACIÓN REALIZADA POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTO DE MUESTREO	COLIFORMES TOTALES (NMP / 100mL)		
	1ra EVALUACIÓN	2da EVALUACIÓN	3ra EVALUACIÓN
	$\overline{X} \pm S$	$\overline{X} \pm S$	$\overline{X} \pm S$
BPI	433.33 ± 28.87	193.33 ± 11.55	433.33 ± 28.87
CDT	193.33 ± 11.55	746.67 ± 57.74	416.67 ± 28.87
C1R	656.67 ± 40.41	1233.33 ± 115.47	233.33 ± 28.87
C2R	193.33 ± 11.55	926.67 ± 5.77	216.67 ± 28.87
C3R	433.33 ± 28.87	976.67 ± 106.93	216.67 ± 28.87
CMA	433.33 ± 28.87	3800.00 ± 4763.40	416.67 ± 28.87
APT	746.67 ± 57.74	433.33 ± 28.87	216.67 ± 28.87
BL5	193.33 ± 11.55	1500.00 ± 200.00	433.33 ± 28.87
PCA	433.33 ± 28.87	416.67 ± 28.87	746.67 ± 57.74
PCB	433.33 ± 28.87	1566.67 ± 115.47	1200.00 ± 100.00
PPA	2200.00 ± 173.21	3233.33 ± 115.47	4200.00 ± 608.28
DPA	416.67 ± 28.87	746.67 ± 57.74	216.67 ± 28.87
CPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
MPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
DPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
ANOVA (F)	715.576	9.914	359.453

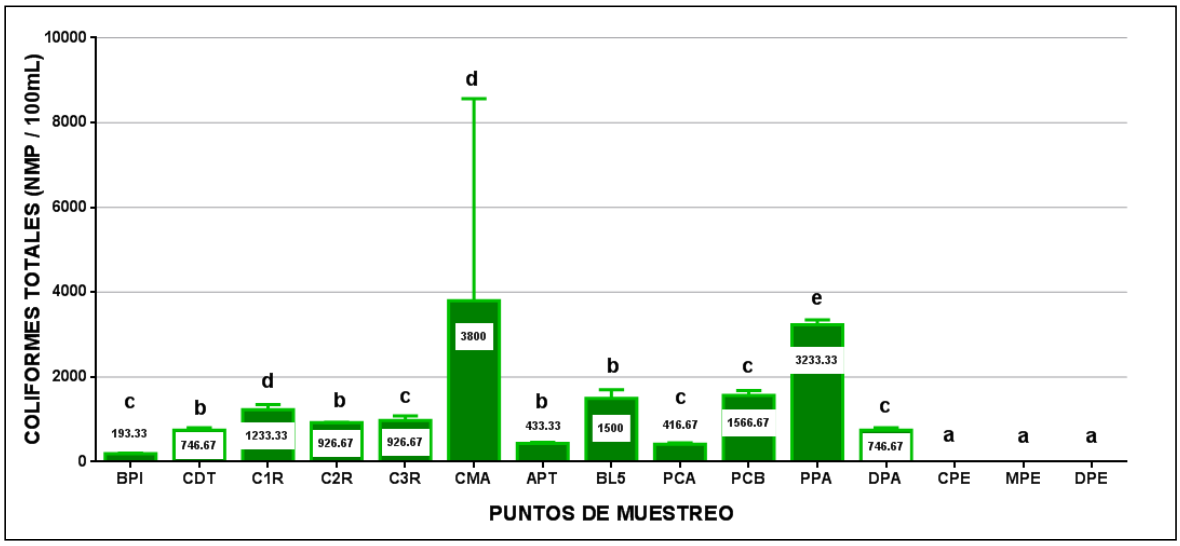
SIGNIFICANCIA (p)	0.000… (P<0.01) (A.S.)	0.000… (P<0.01) (A.S.)	0.000… (P<0.01) (A.S.)

Se observa en la Tabla 3 los promedios del NMP/100mL de coliformes totales y sus respectivas desviaciones estándar, del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes por punto de muestreo para las tres evaluaciones realizadas**,** se detalla también los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de comparación de ANOVA por evaluación, que demuestran diferencias altamente significativas (P<0.01) en el NMP/ 100 mL de coliformes totales.



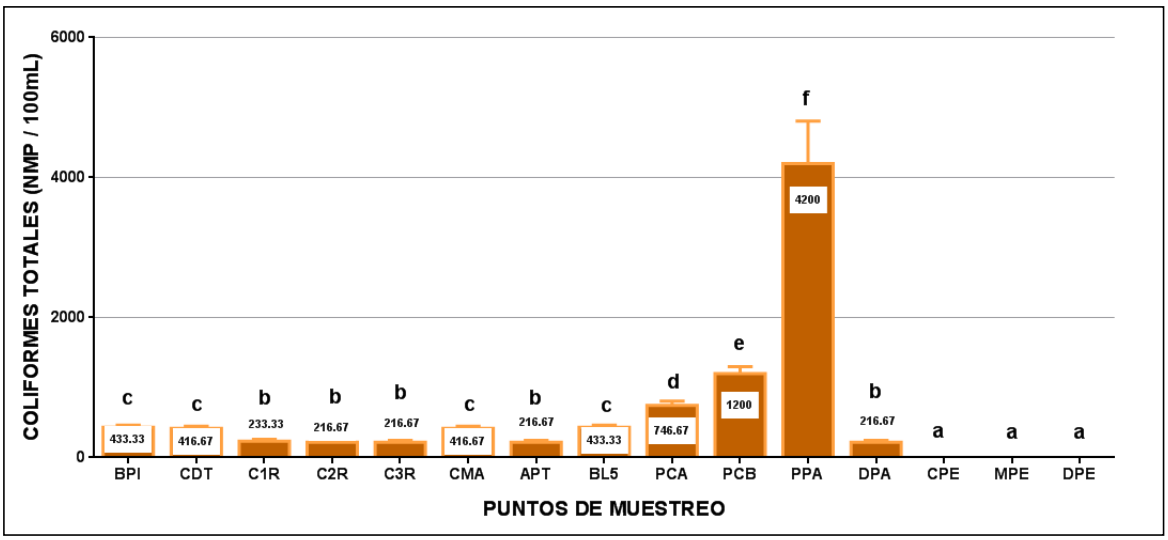
PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e)

FIGURA 5. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES TOTALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA PRIMERA EVALUACIÓN. La Figura 5 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de cinco grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes totales promedio en el punto de muestreo PPA, con 2200 (e) respectivamente, en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes totales (a).



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e, f)

FIGURA 6. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES TOTALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA SEGUNDA EVALUACIÓN. La Figura 6 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de cinco grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes totales promedio en los puntos de muestreo CMA y PPA, con 3800 y 3233.33 respectivamente (e), en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes totales (a).



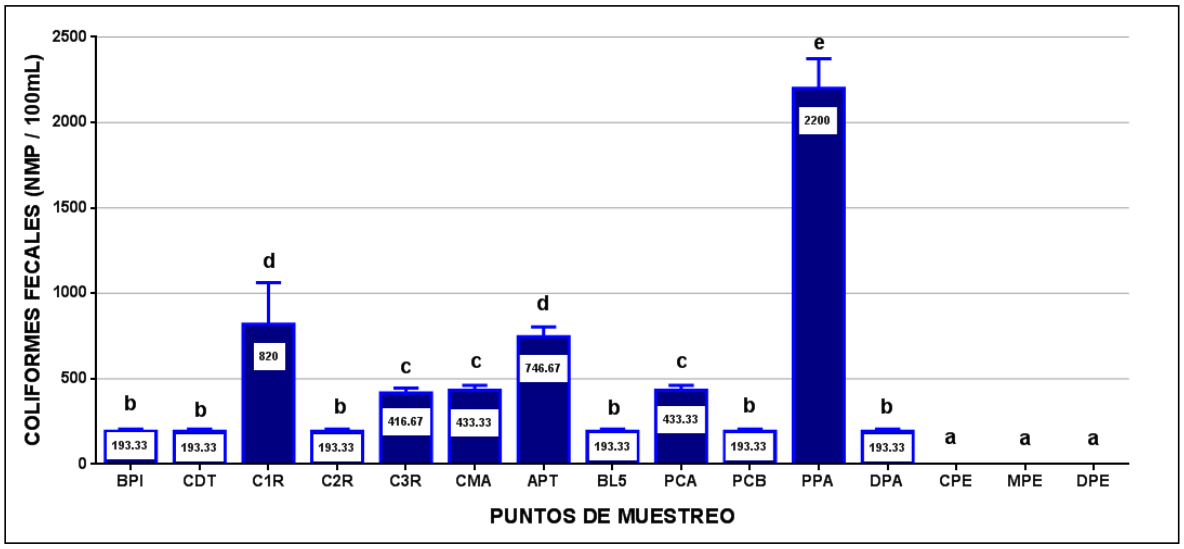
PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e, f)

FIGURA 7. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES TOTALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA TERCERA EVALUACIÓN. La Figura 7 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de seis grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e, f), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes totales promedio en el punto de muestreo PPA, con 4200 (f), en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes totales (a).

TABLA 4. COMPARACIÓN DE COLIFORMES FECALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN EVALUACIÓN REALIZADA POR PUNTO DE MUESTREO.

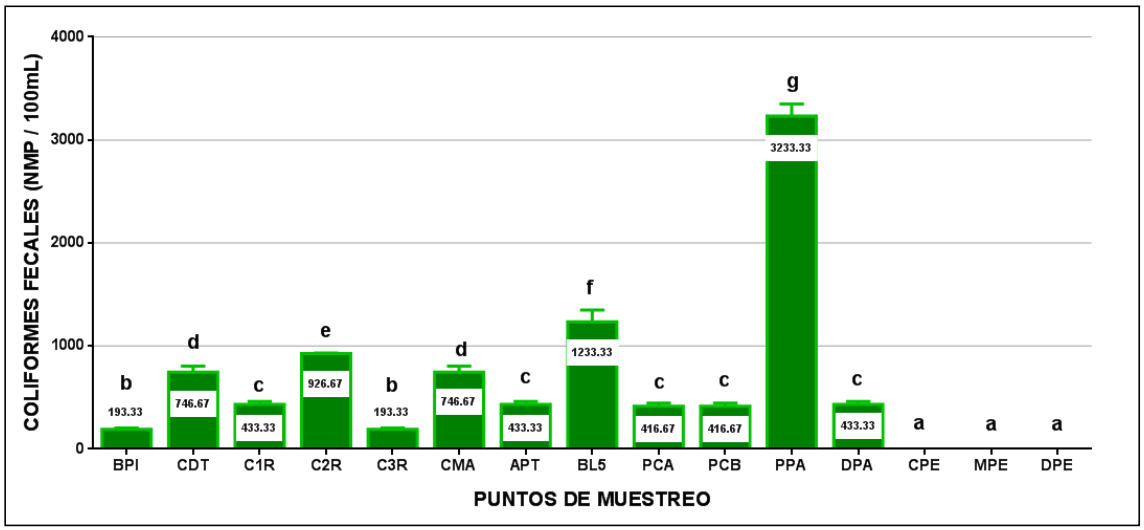
PUNTO DE MUESTREO	COLIFORMES FECALES (NMP / 100mL)		
	1ra EVALUACIÓN	2da EVALUACIÓN	3ra EVALUACIÓN
	$\overline{X} \pm$ S	$\overline{X} \pm$ S	$\overline{X} \pm$ S
BPI	193.33 ± 11.55	193.33 ± 11.55	433.33 ± 28.87
CDT	193.33 ± 11.55	746.67 ± 57.74	416.67 ± 28.87
C1R	820.00 ± 242.49	433.33 ± 28.87	193.33 ± 11.55
C2R	193.33 ± 11.55	926.67 ± 5.77	193.33 ± 11.55
C3R	416.67 ± 28.87	193.33 ± 11.55	416.67 ± 28.87
CMA	433.33 ± 28.87	746.67 ± 57.74	193.33 ± 11.55
APT	746.67 ± 57.74	433.33 ± 28.87	193.33 ± 11.55
BL5	193.33 ± 11.55	1233.33 ± 115.47	433.33 ± 28.87
PCA	433.33 ± 28.87	416.67 ± 28.87	693.33 ± 98.15
PCB	193.33 ± 11.55	416.67 ± 28.87	1333.33 ± 57.74
PPA	2200.00 ± 173.21	3233.33 ± 115.47	4833.33 ± 115.47
DPA	193.33 ± 11.55	433.33 ± 28.87	193.33 ± 11.55
CPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
MPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
DPE	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
ANOVA (F)	268.633	1065.819	1663.850
SIGNIFICANCIA (p)	0.000… (P<0.01) (A.S.)	0.000… (P<0.01) (A.S.)	0.000… (P<0.01) (A.S.)

Se observa en la Tabla 4 los promedios del NMP/100mL de coliformes fecales y sus respectivas desviaciones estándar, del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes por punto de muestreo para las tres evaluaciones realizadas**,** se detalla también los valores del estadístico de Fisher (F) de la prueba estadística de comparación de ANOVA por evaluación, que demuestran diferencias altamente significativas (P<0.01) en el NMP/ 100 mL de coliformes fecales.



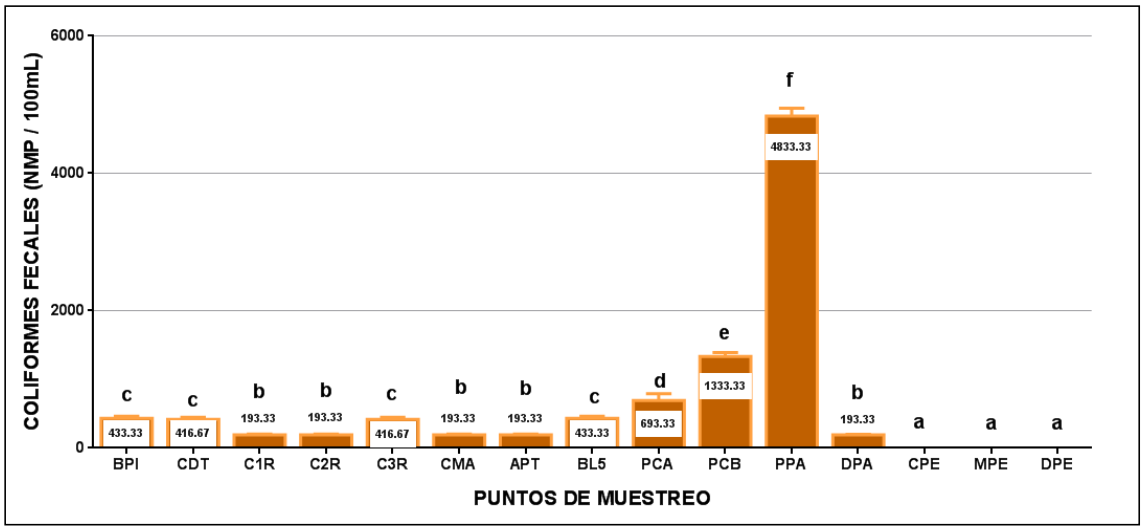
PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e)

FIGURA 8. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES FECALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA PRIMERA EVALUACIÓN. La Figura 8 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de cinco grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes fecales promedio en el punto de muestreo PPA, con 2200 (e) respectivamente, en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes fecales (a).



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e, f, g)

FIGURA 9. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES FECALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA SEGUNDA EVALUACIÓN. La Figura 9 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de siete grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e, f, g), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes fecales promedio en el punto de muestreo PPA, con 3233.33 (g) respectivamente, en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes fecales (a).



PRUEBA DE ESPECIFICIDAD DE TUKEY (a, b, c, d, e, f)

FIGURA 10. COMPARACIÓN DEL NMP/100mL DE COLIFORMES FECALES, EN EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, SEGÚN PUNTO DE MUESTREO EN LA TERCERA EVALUACIÓN. La Figura 10 muestra los resultados de la prueba de Tukey, que indica la presencia de seis grupos estadísticamente diferentes (a, b, c, d, e, f), presentándose mayor NMP/100mL de coliformes fecales promedio en el punto de muestreo PPA, con 4833.33 (f) respectivamente, en comparación con los puntos CPE, MPE y DPE en los que no se presentó coliformes fecales (a).

3.3 EVALUACIÓN SEGÚN LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AGUA

Un total de 135 muestras agua, 108 de agua cruda (zona rural) y 27 de agua potable (zona urbana) fueron recolectadas del Distrito de Majes, tomando 15 puntos de muestreo representativos (BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA, CPE, MPE, DPE) que fueron evaluados de acuerdo al límite máximo permisible (LMP) del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, Decreto Supremo N° 031-2010-SA; y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA), Decreto Supremo N° 015-2015-MINAN,cuyas categorías a evaluar son las siguientes; CATEGORIA 1 – A1 (Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable – Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección), CATEGORIA 3 – D1 (Agua para riego de vegetales – Riego de cultivos de tallo alto y bajo) CATEGORIA 3 – D2 (Agua para bebida de animales).

TABLA 5. COMPARACIÓN DE BACTERIAS HETERÓTROFAS, CON EL LMP PARA AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	BACTERIAS HETERÓTROFAS (UFC/100 mL) $\overline{X} \pm S$	LMP 500 (UFC/100 mL)
CPE	0.33 ± 0.33	**No Supera**
MPE	0.56 ± 0.51	**No Supera**
DPE	0.33 ± 0.00	**No Supera**

Se observa en la Tabla 5, los promedios de las tres evaluaciones del (UFC/100mL) realizadas para bacterias heterótrofas y sus respectivas desviaciones estándar para el agua potable del Distrito de Majes por punto de muestreo**,** no superando el LMP en ningún punto de muestreo.

TABLA 6. COMPARACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, CON EL LMP y ECA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	COLIFORMES TOTALES (NMP/100mL) $\overline{X} \pm S$	LMP < 1.8 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 1 – A1 50 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 3 - D1 1000 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 3 – D2 5000 (NMP/100mL)
BPI	353.33 ± 23.09	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CDT	452.22 ± 25.02	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C1R	707.78 ± 47.88	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C2R	445.56 ± 6.94	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C3R	542.22 ± 38.63	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CMA	1550.00 ± 1588.06	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**No Supera**
APT	465.56 ± 19.25	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
BL5	708.89 ± 78.62	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCA	532.22 ± 19.25	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCB	1066.67 ± 72.65	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**No Supera**
PPA	3211.11 ± 258.92	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**No Supera**
DPA	460.00 ± 0.00	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
MPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
DPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 6, los promedios de las tres evaluaciones del (NMP/100mL) realizadas para coliformes totales y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes por punto de muestreo**,** superando el LMP y el ECA CATEGORIA 1 – A1 para aguas de consumo humano en los puntos BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA, también se observa que en los puntos de muestreo CMA, PCB y PPA se supera el ECA CATEGORIA 3 – D1 para riego de vegetales, , mientras que el ECA CATEGORIA 3 – D2 para bebida de animales, no es superado en ningún punto de muestreo.

TABLA 7. COMPARACIÓN DE COLIFORMES FECALES, CON EL LMP y ECA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	COLIFORMES FECALES (NMP/100mL) $\overline{X} \pm S$	LMP < 1.8 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 1 - A1 20 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 3 – D1 1000 (NMP/100mL)	ECA CATEGORIA 3 – D2 1000 (NMP/100mL)
BPI	273.33 ± 17.32	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CDT	452.22 ± 22.69	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C1R	482.22 ± 73.21	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C2R	437.78 ± 6.94	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C3R	342.22 ± 8.39	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CMA	457.78 ± 17.11	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
APT	457.78 ± 20.09	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
BL5	620.00 ± 33.83	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCA	514.44 ± 32.72	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCB	647.78 ± 13.47	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PPA	3422.22 ± 134.72	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
DPA	273.33 ± 12.02	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
MPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
DPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 7, los promedios de las tres evaluaciones del (NMP/100mL) realizadas para coliformes fecales y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes por punto de muestreo**,** superando el LMP y el ECA CATEGORIA 1 – A1 para aguas de consumo humano en los puntos BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA, también se observa que en el punto de muestreo PPA se supera el ECA CATEGORIA 3 – D1 para riego de vegetales y el ECA CATEGORIA 3 – D2 para bebida de animales.

TABLA 8. COMPARACION DE *Escherichia coli* CON EL LMP y ECA DE AGUAS DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	*Escherichia coli (NMP/100mL)* $\overline{X} \pm S$	*LMP < 1.8 (NMP/100mL)*	*ECA CATEGORIA 1 - A1 0 (NMP/100mL)*	*ECA CATEGORIA 3 – D1 100 (NMP/100mL)*	*ECA CATEGORIA 3 – D2 100 (NMP/100mL)*
BPI	56.22 ± 0.19	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CDT	43.11 ± 1.17	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C1R	37.33 ± 1.20	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C2R	56.56 ± 1.35	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C3R	107.67 ± 1.15	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
CMA	125.67 ± 1.73	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
APT	79.89 ± 0.19	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
BL5	123.64 ± 8.58	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
PCA	65.78 ± 2.99	**Supera**	**Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCB	266.67 ± 17.32	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
PPA	880.00 ± 40.41	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
DPA	417.78 ± 25.02	**Supera**	**Supera**	**Supera**	**Supera**
CPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
MPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
DPE	0.00 ± 0.00	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 8, los promedios de las tres evaluaciones del (NMP/100mL) realizadas para *Escherichia coli* y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del distrito de Majes por punto de muestreo, superando el LMP y l ECA CATEGORIA 1 - A1 para aguas de consumo humano en los puntos de muestreo BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA, también se observa que en los puntos de muestreo C3R, CMA, BL5, PCB, PPA y DPA se superan el ECA CATEGORIA 3 – D1 para regadío y el ECA CATEGORIA 3 – D2 para bebida de animales.

TABLA 9. COMPARACION DE CLORO RESIDUAL, CON EL LMP PARA EL AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	CLORO RESIDUAL (mg/L) $\overline{X} \pm S$	LMP 5 (mg/L)
CPE	0.53 ± 0.03	**No Supera**
MPE	0.56 ± 0.04	**No Supera**
DPE	0.53 ± 0.03	**No Supera**

Se observa en la Tabla 9, los promedios de las tres evaluaciones de la concentración de cloro residual y sus respectivas desviaciones estándar del agua del agua potable del Distrito de Majes por punto de muestreo**,** no superando el LMP en ningún punto de muestreo.

TABLA 10. COMPARACION DE LA TEMPERATURA, CON EL LMP y ECA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	TEMPERATURA (°C) $\overline{X} \pm$ S	ECA CATEGORIA 1 – A1 (16 -22 °C)	ECA CATEGORIA 3 (16 -22 °C)
BPI	18.48 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
CDT	18.76 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
C1R	19.28 ± 0.04	**No Supera**	**No Supera**
C2R	19.56 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
C3R	19.83 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**
CMA	19.93 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**
APT	20.46 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
BL5	20.21 ± 0.04	**No Supera**	**No Supera**
PCA	20.46 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
PCB	20.32 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**
PPA	20.06 ± 0.05	**No Supera**	**No Supera**
DPA	21.03 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**
CPE	21.38 ± 0.05	**No Supera**	**No Supera**
MPE	20.86 ± 0.04	**No Supera**	**No Supera**
DPE	20.71 ± 0.04	**No Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 10 los promedios de las tres evaluaciones realizadas para la temperatura y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del distrito de Majes por punto de muestreo**;** no superando el ECA CATEGORIA 1 – A1 para consumo humano, y tampoco superando el ECA CATEGORIA 3 para regadío y bebida de animales en todos los puntos de muestreo.

TABLA 11. COMPARACION DEL pH. CON EL LMP y ECA PARA EL AGUA DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	pH (unidades de pH) $\overline{X} \pm S$	LMP (6.5 - 8.5)	ECA CATEGORIA 1 – A1 (6.5 - 8.5)	ECA CATEGORIA 3 - D1 (6.5 - 8.5)	ECA CATEGORIA 3 - D2 (6.5 - 8.4)
BPI	7.34 ± 0.05	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CDT	7.74 ± 0.05	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C1R	7.56 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C2R	7.80 ± 0.07	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
C3R	7.88 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CMA	7.93 ± 0.07	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
APT	7.83 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
BL5	7.98 ± 0.05	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCA	7.66 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PCB	7.70 ± 0.06	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
PPA	8.03 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
DPA	7.77 ± 0.03	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
CPE	7.39 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
MPE	7.44 ± 0.07	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**
DPE	7.42 ± 0.02	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 11, los promedios de las tres evaluaciones realizadas para el pH y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del distrito de Majes por punto de muestreo**,** no superando el LMP, ECA CATEGORIA 1 - A1 para consumo humano en todos los puntos de muestreo, y tampoco superando el ECA CATEGORIA 3 – D1 y el ECA CATEGORIA 3 – D2 para regadío y bebida de animales en todos los puntos de muestreo.

TABLA 12. COMPARACION DE LA DBO_5 CON EL LMP y ECA DE AGUAS DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES, POR PUNTO DE MUESTREO.

PUNTOS DE MUESTREO	DBO_5 (mg/L) $\overline{X} \pm S$	ECA CATEGORIA 1 - A1 (3 mg/L)	ECA CATEGORIA 3 (15 mg/L)
BPI	5.39 ± 0.02	**Supera**	**No Supera**
CDT	5.54 ± 0.21	**Supera**	**No Supera**
C1R	5.86 ± 0.02	**Supera**	**No Supera**
C2R	4.80 ± 0.03	**Supera**	**No Supera**
C3R	5.30 ± 0.03	**Supera**	**No Supera**
CMA	5.79 ± 0.12	**Supera**	**No Supera**
APT	5.08 ± 0.04	**Supera**	**No Supera**
BL5	5.01 ± 0.07	**Supera**	**No Supera**
PCA	5.88 ± 0.05	**Supera**	**No Supera**
PCB	7.24 ± 0.04	**Supera**	**No Supera**
PPA	8.36 ± 0.04	**Supera**	**No Supera**
DPA	7.83 ± 0.09	**Supera**	**No Supera**

Se observa en la Tabla 12, los promedios de las tres evaluaciones realizadas para la demanda bioquímica de oxígeno media (DBO_5) y sus respectivas desviaciones estándar del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del Distrito de Majes por punto de muestreo**,** superando el ECA CATEGORIA 1 - A1 para consumo humano en todos los puntos de muestreo, sin embargo no supera el ECA CATEGORIA 3 para regadío y bebida de animales en todos los puntos de muestreo.

3.4 DETERMINACIÓN DE ENTEROBACTERIAS

TABLA 13. ESPECIES DE ENTEROBACTERIAS SEGÚN PUNTO DE MUESTREO, EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES

PUNTO DE MONITOREO	*Escherichia coli*	*Enterobacter aerogenes*	*Enterobacter agglomerans*	*Citrobacter diversus*	*Citrobacter freundii*	*Proteus mirabilis*	*Proteus vulgaris*
BPI	x	x					
CDT	x						
C1R	x		x	x			
C2R	x	x		x			
C3R	x		x		x		
CMA	x		x				
APT	x				x		
BL5	x		x				x
PCA	x	x	x			x	x
PCB	x	x				x	
PPA	x	x	x	x	x		
DPA	x	x					

La tabla 13 muestra la presencia de enterobacterias por punto de muestreo siendo la especie *Escherichia coli* la que está presente en todos los puntos de muestreo, seguido de las especies *Enterobacter aerogenes* y *Enterobacter agglomerans* que están presentes en 6 puntos de muestreo BPI, C2R, PCA, PCB, PPA, DPA y C1R, C3R, CMA, BL5, PCA, PPA respectivamente, mientras que las especies *Proteus mirabilis* y *Proteus vulgaris* solamente están presentes en dos puntos de muestreo PCA, PCB y BL5, PCA. Los puntos que presentaron mayor número de especies de bacterias fueron PCA con las especies; *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter agglomerans, Proteus mirabilis* y *Proteus vulgaris*, y el punto PPA con las especies; *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter agglomerans, Citrobacter diversus* y *Citrobacter freundii.*

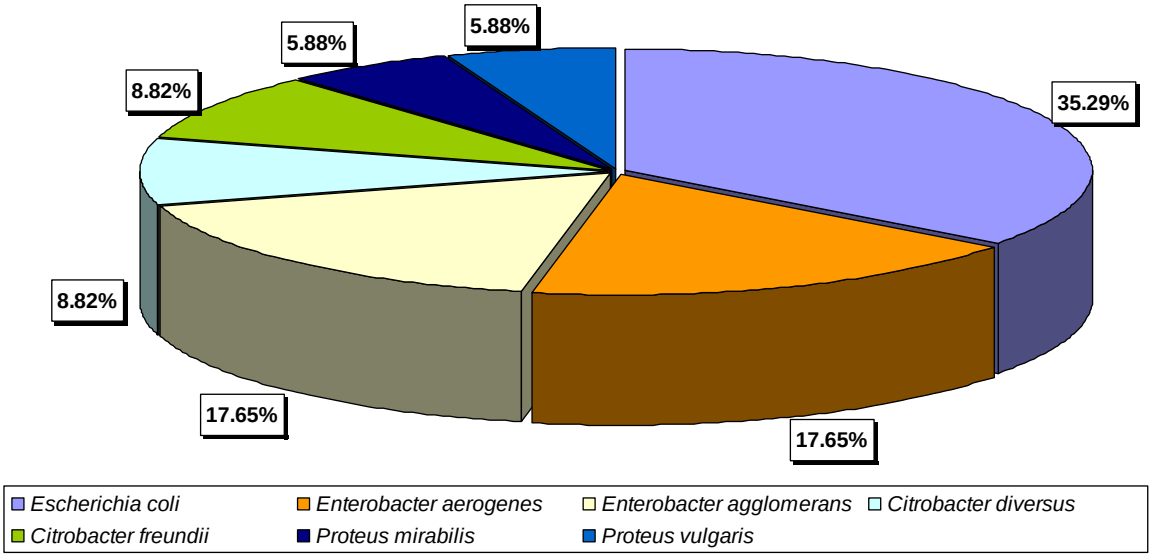


FIGURA 11. ESPECIES DE ENTEROBACTERIAS EN PORCENTAJE SEGÚN PUNTO DE MUESTREO, EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO, REGADÍO Y BEBIDA DE ANIMALES DEL DISTRITO DE MAJES. En la figura 11 se muestra que la especie de enterobacteria *Escherichia coli* presentó mayor representatividad con 35.29% por punto de muestreo, seguida de las especies *Enterobacter aerogenes* y *Enterobacter agglomerans* con 17.65% en ambos casos, mientras que las especies menos representadas fueron las especies *Proteus mirabilis* y *Proteus vulgaris* con 5.88%.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación, se determinó la calidad bacteriológica del agua de consumo humano, regadío y bebidas de animales por medio de indicadores microbiológicos tales como bacterias heterótrofas, coliformes totales y coliformes fecales en quince puntos de muestreo, tanto en la zona urbana (CPE, MPE, DPE) como en la zona rural (BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA) del Distrito de Majes.

Se realizó el recuento de bacterias heterótrofas, obteniendo resultados menores a 1 unidades formadoras de colonias (UFC/100ml) por punto de muestreo para las tres evaluaciones realizadas, obteniendo como valor mínimo 0.33 unidades formadoras de colonias (UFC/100ml) en los puntos CPE Y DPE y como valor máximo 0.67 unidades formadoras de colonias (UFC/100ml) en el punto MPE, no superando el límite máximo permisible (LMP) del Reglamento de la Calidad del agua para Consumo Humano que tiene como límite máximo permisible (LMP) de 500 UFC/100ml. Estos resultados concuerdan con Tejada (2014), en su estudio denominado “Análisis Bacteriológico de la calidad del agua de consumo humano y regadío del Distrito de Santa Rita de Siguas, Provincia de Arequipa, Setiembre del 2014” menciona que el 100% de sus muestras de agua potable en los puntos, efluente de la planta de tratamiento de agua potable y conexiones domiciliarias no superan el límite máximo permisible (LMP) siendo estas aptas para consumo humano con valores menores a 30 unidades formadoras de colonias (UFC/100ml); esto nos indica que el tratamiento para la potabilización del agua cruda es el adecuado, distribuyendo agua de calidad a la zona urbana tanto del Distrito de Santa Rita como del Distrito de Majes.

Con respecto a la calidad bacteriológica del agua según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua CATEGORIA 1 – A1 para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable que pueden ser potabilizadas con desinfección, se determinó que los puntos de agua cruda de la zona rural BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA superan el límite máximo permisible (LMP) tanto para coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*; también se determinó que el ECA CATEGORIA 3 – D1 para riego de vegetales es superado en los puntos de CMA, PCB y PPA para coliformes totales, el punto PPA para coliformes fecales y los puntos C3R, CMA, BL5, PCB, PPA y DPA para

Escherichia coli; mientras que el ECA CATEGORIA 3 – D2 para bebida de animales no es superado en ningún punto de muestreo, estos resultados guardan relación con Huillca (2017), que en su investigación "Evaluación de la calidad Bacteriológica de agua en la Bocatoma de Pitay, Desarenador Terminal, Vasos de Compensación T-11/12, T-13 y vaso regulador VR-4 del Distrito de Majes, Provincia de Caylloma, Región Arequipa, durante los meses de noviembre a Diciembre 2016" determinó que en los resultados en los vasos T-11/12, T-13 y VR-4, el punto que obtuvo mayor grado de contaminación en coliformes totales fue el vaso de compensación T11/12, del cual cuatro de seis muestreos semanales superaron los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales ECA CATEGORIA 3 – D1, sin embargo el vaso de compensación T-13 y el vaso regulador VR-4 no superaron en ninguno de los seis muestreos los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales ECA CATEGORIA 3 – D; de igual modo para el caso de coliformes fecales ninguno de los 5 puntos de muestreo superaron los límites máximos permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales ECA CATEGORIA 3 – D1.

Según los resultados de Tejada (2014) el 66.67% de las muestras que corresponden al agua sin tratar de la zona rural del Distrito de Santa Rita superan el límite máximo permisible (LMP) al observar el número más probable (NMP) para coliformes totales y el 10 % para coliformes fecales, siendo no aptas para consumo humano, pero si para riego de vegetales y bebida de animales por lo tanto guarda relación con los resultados encontrados en el Distrito de Majes, Marín (2013) en su estudio "Evaluación de la calidad bacteriológica en agua y cultivos de vegetales de tallo bajo, en la margen derecha del Rio Chili, durante los meses de Agosto – Setiembre, Arequipa 2012" determinó que sus resultados superaron los parámetros establecidos 5000 NMP/100ml (Coliformes Totales) y 1000 NMP/100ml (Coliformes Termotolerantes), con valores promedio entre 10^4 – 10^7 NMP/100ml; dichos valores sobrepasan a los valores encontrados en el Distrito de Majes debido a que la contaminación por parte de la población es menor que la Ciudad de Arequipa.

El crecimiento de la población a nivel mundial ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con el vertido de agua de desecho de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de desecho, requiere de análisis

dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos; los agentes involucrados en la transmisión hídrica son las bacterias, virus y protozoos, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simple hasta casos fatales de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. (Arcos et al, 2005).

El agua apta para consumo humano puede contaminarse cuando entra al sistema de distribución, a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad. De igual manera, la construcción defectuosa en las estructuras de pozos o depósitos y ausencia o irregular mantenimiento de estas instalaciones son causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes. Además, existen otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías (Galarraga, 1984)

También se identificaron especies de enterobacterias en todos los puntos de muestreo de agua cruda en la zona rural del Distrito de Majes (BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA), seguido de las especies *Enterobacter aerogenes, Enterobacter agglomerans, Citrobacter diversus, Citrobacter freundii, Proteus mirabilis, Proteus vulgaris;* sin embargo Huillca (2017) solo identificó a *Escherichia coli, Citrobacter diversus, Enterobacter aerogenes y Enterobacter agglomerans como bacterias fecales indicadoras de contaminación*; Tejada (2014) identificó las especies *Escherichia coli, Enterobacter agglomerans y Citrobacter sp. e*n las muestras de agua sin tratar del Distrito de Santa Rita de Siguas y Colque (2008) en su investigación “Estudio bacteriológico del Río Tambo en seis zonas de muestreo, Provincia de Islay, Región Arequipa (Agosto – Diciembre 2007)” encontró los géneros *Klebsiella*, *Escherichia coli*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; en cada uno de los estudios encontramos como especie representativa del grupo coliformes a *Escherichia coli*.

CONCLUSIONES

1. La determinación del recuento de bacterias heterótrofas del agua potable del Distrito de Majes demuestra que no existe diferencias significativas (P>0.05) en las UFC/100mL de bacterias heterótrofas por punto de muestreo para las tres evaluaciones realizadas, obteniendo como valor mínimo 0.33 UFC/100ml en los puntos CPE Y DPE y como valor máximo 0.67 UFC/100ml en el punto MPE.

2. La Determinación del número más probable (NMP) de bacterias coliformes totales y fecales, del agua potable y agua sin tratar del Distrito de Majes demuestra diferencias altamente significativas (P<0.01) para las tres evaluaciones realizadas; teniendo como valor mínimo para coliformes totales y fecales 0 NMP/100ml en los puntos CPE, MPE y DPE y como valor máximo 2200 NMP/100ml para el punto PPA (1ra evaluación), 3800 NMP/100ml punto CMA y 3233.33 NMP/100ml punto PPA (2da evaluación) y 4200 NMP/100ml punto PPA (3ra evaluación).

3. Los promedios de las tres evaluaciones del (NMP/100mL) realizadas para coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* superan el LMP y el ECA CATEGORIA 1 – A1 para aguas de consumo humano en los puntos BPI, CDT, C1R, C2R, C3R, CMA, APT, BL5, PCA, PCB, PPA, DPA; también se determina que los puntos CMA, PCB y PPA para coliformes totales, el punto PPA para coliformes fecales y los puntos C3R, CMA, BL5, PCB, PPA y DPA para *Escherichia coli* superan el ECA CATEGORIA 3 – D1 para riego de vegetales, mientras que el ECA CATEGORIA 3 – D2 para bebida de animales, no es superado en ningún punto de muestreo. Los parámetros fisicoquímicos cloro residual, T° y pH no superan ninguno de límites máximos permisibles sin embargo DBO_5 supera el ECA CATEGORIA 3 – D1 pero no el ECA CATEGORIA 3.

4. Se han identificado 7 especies de enterobacterias en el agua sin tratar del Distrito de Majes, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter agglomerans, Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter diversus* y *Citrobacter freundii;* siendo *Escherichia coli* la especie que estuvo presente en todos los puntos de muestreo.

RECOMENDACIONES

1. Para un posterior estudio realizar muestreos periódicos durante el año, a la vez realizar evaluaciones más completas a nivel biológico, químico y físico debido a la contaminación presente en el área.

2. Gestionar el servicio del agua potable a la zona rural ya que el agua inocua es un derecho al acceso del servicio de todo poblador.

3. Concientizar a la población que vive cerca a los canales de derivación del agua para evitar que la contaminen con residuos orgánicos e inorgánicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA. AWWA. WEF (2012). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (Part. 9221 B 22nd ed.). Multiple tube fermetation technique for members of the coliform group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.

2. APHA. AWWA. WEF (2012). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (22 nd ed.). Multiple Tube fermentation Technique for members of the coliform group: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate.

3. APHA. AWWA. WEF (2012). Standard Methods for the examitaniton of Water and Wastewater (Part. 9525 B 22nd ed.). Heterotrophic Plate Count. Pour Plate method.

4. ARCOS P., ÁVILA N., ESTUPIÑÁN T., GÓMEZ P. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. División de Investigaciones, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf

5. BIBERSTEIN, E., & CHUNG ZEE, Y. (1990). Tratado de Microbiológia Veterinaria (Primera ed.). Zaragoza, España: ACRIBIA S.A.

6. CEPIS. (2000). Centro Peruano de Ingenieria. Historia y aplicación de normas microbiológicas de calidad de agua en el medio marino. Organización Mundial de la Salud (OMS).

7. COLQUE, E. 2008. Estudio bacteriológico del Río Tambo en seis zonas de muestreo, Provincia de Islay, Región Arequipa (Agosto – Diciembre 2007). Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

8. COMUNIDAD PLANETA AZUL. Obtenido de http://comunidadplanetaazul.com/agua/aprende-mas-acerca-del-agua/aguas-superficiales/

9. DIGESA. (2015). Dirección General de Salud Ambiental. Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano. Lima, Perú.

10. DIGESA. (2006).Dirección General de Salud Ambiental. Análisis de la Situación de Salud . Arequipa, Perú.

11. FUNASA. (2013). Fundación Nacional de Salud. Manual Práctico de análisis de agua (Cuarta ed.). Brasilia, Brasil: Fundación Nacional de Salud.

12. GALARRAGA, E. (1984). Algunos aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. Revista politécnica de información técnica científica.

13. GLASMACHER, A., ENGELHART, S., & EXNER, M. (2003). Infections form HPC organisms in drinking water amongst immunocompromised. Heterotrophic plate counts and drinking - water safety. Londres: WHO IWA Publishing.

14. GLYNN, J., & GARY, H. (1999). Ingenieria ambiental. México: Pretince Hall.

15. GOEZ. (1999). Determinación y diferenciación de E. coli y Coliformes Totales usando un mínimo sustrato cromogénico. CEPIS.

16. GUINEA, J., SANCHO, J., & PARÉS, R. (1979). Análisis Microbiológico de Aguas . Barcelona: Omega.

17. HUILLCA M. (2017). que en su investigación “Evaluación de la calidad Bacteriológica de agua en la Bocatoma de Pitay, Desarenador Terminal, Vasos de Compensación T-11/12, T-13 y vaso regulador VR-4 del Distrito de Majes, Provincia de Caylloma, Región Arequipa, durante los meses de noviembre a Diciembre 2016. Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

18. INEI (2015). Instituto Nacional de Estadística e Informatica. PERÚ: Población total al 30 de Junio, por grupos quinqueniales de edad, según Departamento, Provincia y Distrito. Obtenido de https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/

19. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. (2003). Red Nacional de Laboratorios. Grupo de Microbiología. Manual de Procedimientos para el diagnostico bacteriológico de

Enfermedad Diarreica Bacteriana Aguda. Identificación de Salmonella, Shigella y Vibrio cholerae. Bogotá.

20. JAWETZ, E., MELNICK, J., & ADELBERG, E. (2005). Microbiología Médica (18° ed.). México: El Manual Moderno.

21. JUPM (2016). Junta de Usuarios Pampa de Majes. Diagnóstico del sector hidráulico Majes. Majes, Arequipa.

22. MacFADDIN, J. (2000). Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica. (Tercera ed.). Buenos Aires, Argentina: Panamericana.

23. MARÍN, A. 2013. Evaluación de la calidad bacteriológica en agua y cultivos de vegetales de tallo bajo, en la margen derecha del Rio Chili, durante los meses de Agosto – Setiembre, Arequipa 2012. Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

24. MEJÍA CLARA, M. R. (2005). Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnológias apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras. Turrialba, Costa Rica.

25. MORA ALVARADO, D., & MATA SOLANO, A. V. (2003). Conceptos básicos de aguas para consumo y disposición de aguas residuales. Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio Nacional de Aguas . Obtenido de https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20aguas%20para%20consumo%20humano%20y%20disposici%C3%B3n%20de%20aguas%20residuales.pdf

26. MUÑOZ, N., AGUDELO, C., & OVALLE, M. (2002). Vigilancia en red de serotipos y la suceptibilidad antimicrobiana de Salmonella spp., Shigella spp. y Vibrio cholerae. Instituto Nacional de Salud. Informe Quincenal de Epidemiología.

27. MURCIA ARANGUREN, M. (2011). SCRIBD. Obtenido de Identificación de Enterobacterias: https://es.scribd.com/document/49996765/IDENTIFICACION-DE-ENTEROBACTERIAS1

28. ONU (1992). Organización de las Naciones Unidas. Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el Desarrollo Sostenible. Agenda 21. Obtenido de

http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter18.htm

29. PNUMA. (1991). Estado de desertificación y apliacación del Plan de Acción de las Naciones Unidas para combatir la desertificación. Informe del Director ejecutivo. Nairobe, UNEP: GCSS.

30. PNUMA. (2007). Programa Global de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente. Agua. Programa Mundial de Evaluación de Recursos Hídricos WWAP. Cánada. Obtenido de http://www.gemswater.org/

31. PONGUTA, J. (2003). Guía para el almacenamiento , Manejo y Conducción del Agua. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

32. SNMP (2012). Sociedad Nacional de Mineria Petroleo Y Energia Informe quincenal de la SNMPE. Perú. Obtenido de http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-transversal/1893-agua-para-consumo-humano-publicado-febrero-de-2012.html

33. QUINN, P., MARKEY, B., CARTER, M., DONNEL, W., & LEONARD, F. (2002). Microbiología y Enfermedades Infecciosas Veterinarias. España: ACRIBIA S.A.

34. STANCHI, O. (2007). Microbiología Veterinaria (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Intermedica.

35. TEJADA, F. (2014). Análisis bacteriológico de la calidad del agua de consumo humano y regadío del Distrito de Santa Rita de Siguas, Provincia Arequipa, Setiembre del 2014. Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

36. VERGARAY, G., & MÉNDEZ, C. (1994). Eficacia de un programa, Revista Peruana de Epidemiología. Perú.