

**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA EMPLEADA
PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO USENDA UBICADO EN EL
SECTOR RURAL DE SILVIA-CAUCA**

EVELYN MELISSA ALEGRIA VIVAS



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
POPAYÁN
2012**

**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA CRUDA EMPLEADA
PARA CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO USENDA UBICADO EN EL
SECTOR RURAL DE SILVIA-CAUCA**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Químico

MODALIDAD: PASANTÍA

EVELYN MELISSA ALEGRIA VIVAS

Director:

RICARDO BENÍTEZ BENÍTEZ, Ph.D.

Grupo de Investigación Química de Productos Naturales (QPN)

Departamento de Química

Universidad del Cauca

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
POPAYAN
2012**

Nota de aceptación:

Director de Trabajo de Grado _____
Ricardo Benítez, Ph.D.

Jurado _____
Clara Inés Hurtado, M.Sc.

Jurado _____
Fabio Cabezas, Ph.D.

Popayán, 4 de Diciembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por guiarme en cada instante de mi vida, por darme una familia maravillosa y grandes personas a mi alrededor.

A mis padres y Cami por estar siempre a mi lado apoyándome, por su amor, esfuerzo y por hacer de mi una gran persona llena de valores y sobre todo con ganas de salir adelante.

A mi tía María Elena y a un gran amiga Olga lucia porque de una u otra forma me ayudaron para que culminara mis estudios.

A mi director de trabajo de grado: Ph.D. Ricardo Benítez, por brindarme su tiempo, sus conocimientos y guiarme en el transcurso de mi trabajo de grado.

A todos los profesores que en el transcurso de mi carrera contribuyeron a mi formación académica y personal, especialmente a los del grupo de investigación, Química de Productos Naturales.

A Edier por estar a mi lado incondicionalmente brindándome grandes momentos.

A mis amigos de la universidad por su amistad sincera y por ser personas maravillosas que hicieron de mi carrera algo más divertido.

A toda mi familia y personas a mi alrededor que de una u otra forma me han apoyado en el transcurso de mi carrera.

A la alcaldía de Silvia-Cauca y el Laboratorio ambiental de la CRC, por colaborarme con algunos aspectos del trabajo de grado.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 General	21
2.2 Específicos	21
3. MARCO TEÓRICO	22
3.1 El Agua	22
3.2 Calidad del Agua	22
3.3 Análisis Físico Químico para evaluar la calidad del Agua	23
3.3.1 pH	23
3.3.2 Sulfatos	24
3.3.3 Cloruros	24
3.3.4 Nitratos	25
3.3.5 Nitritos	26
3.3.6 Hierro	26
3.3.7 Dureza Total	27
3.3.8 Sólidos Suspendedos Totales (SST)	28
3.3.9 Alcalinidad	28
3.3.10 Turbiedad	29
3.3.11 Fosfatos	30
3.3.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	30

3.3.13 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	31
3.4 Análisis Microbiológico para evaluar la calidad del agua	32
3.5 Características Generales del Muestreo	33
3.6 Análisis estadístico	34
3.6.1 Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk	34
3.6.2 Pruebas Paramétricas	35
3.6.3 Pruebas No Paramétricas	35
3.7 Normatividad de la calidad del agua de consumo en Colombia	36
4. METODOLOGÍA	37
4.1 Muestreo	37
4.2 Determinación de parámetros físico químicos	38
4.2.1 pH	39
4.2.2 Sulfatos	39
4.2.3 Cloruros	39
4.2.4 Nitratos	39
4.2.5 Nitritos	40
4.2.6 Hierro	40
4.2.7 Dureza Total	40
4.2.8 Sólidos Suspendidos Totales	40
4.2.9 Alcalinidad	40
4.2.10 Turbiedad	40
4.2.11 Fosfatos	40
4.2.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	40
4.2.13 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	41
4.3 Determinación de Parámetros Microbiológicos	41

4.3.1 Coliformes Totales y <i>E. coli</i>	41
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1 Puntos de Muestreo	42
5.2 Comparación de los resultados experimentales (EMAV) con los Obtenidos por el laboratorio certificado (CVC)	44
5.3 Análisis de datos de pH	46
5.4 Análisis de datos de Sulfatos	48
5.5 Análisis de datos de Cloruros	49
5.6 Análisis de datos de Nitratos	51
5.7 Análisis de datos de Nitritos	52
5.8 Análisis de datos de Hierro	54
5.9 Análisis de datos de Dureza	55
5.10 Análisis de datos de SST	57
5.11 Análisis de datos de Alcalinidad	57
5.12 Análisis de datos de Turbiedad	58
5.13 Análisis de datos de Fosfatos	60
5.14 Análisis de datos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	62
5.15 Análisis de datos de Demanda Química de Oxígeno	63
5.16 Análisis de datos de Coliformes Totales y <i>e.coli</i>	65
5.17 Determinación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA)	65
5.17.1 Cálculo IRCA (%) para T1	67
5.17.2 Cálculo IRCA (%) para T2A y T2B	67
5.17.3 Cálculo IRCA (%) para BA y BB	67
6. CONCLUSIONES	69

RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	75

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Volúmenes para dilución en la determinación de la DBO ₅	40
Tabla 2. Resultados de pH en términos de repetibilidad	46
Tabla 3. Prueba de normalidad para valores de pH	47
Tabla 4. Prueba <i>t</i> para valores de pH.....	47
Tabla 5. Prueba Duncan para valores de pH	47
Tabla 6. Resultados de Sulfatos en términos de repetibilidad.....	48
Tabla 7. Prueba de normalidad para valores de Sulfatos.....	48
Tabla 8. Prueba <i>t</i> para valores de Sulfatos	48
Tabla 9. Prueba Duncan para valores de Sulfatos	49
Tabla 10. Resultados de Cloruros en términos de repetibilidad	49
Tabla 11. Prueba de normalidad para valores de Cloruros	50
Tabla 12. Prueba <i>t</i> para valores de Cloruros.....	50
Tabla 13. Prueba Duncan para valores de Cloruros	50
Tabla 14. Resultados de Nitratos en términos de repetibilidad	51
Tabla 15. Prueba de normalidad para valores de Nitratos	51
Tabla 16. Prueba <i>t</i> para valores de Nitratos	52
Tabla 17. Prueba Duncan para valores de Nitratos.....	52
Tabla 18. Resultados de Nitritos en términos de repetibilidad	53
Tabla 19. Prueba de normalidad para valores de Nitritos	53
Tabla 20. Prueba <i>t</i> para valores de Nitritos	53
Tabla 21. Prueba Duncan para valores de Nitritos.....	54
Tabla 22. Resultados de Hierro en términos de repetibilidad.....	54
Tabla 23. Prueba de normalidad para valores de Hierro.....	55
Tabla 24. Prueba <i>t</i> para valores de Hierro.....	55
Tabla 25. Prueba Duncan para valores de Hierro	55
Tabla 26. Resultados de Dureza en términos de repetibilidad	56
Tabla 27. Prueba de normalidad para valores de Dureza	56

Tabla 28. Prueba <i>t</i> para valores de Dureza.....	57
Tabla 29. Prueba Duncan para valores de Dureza	57
Tabla 30. Resultados de Alcalinidad en términos de repetibilidad	58
Tabla 31. Prueba de normalidad para valores de Alcalinidad	58
Tabla 32. Prueba <i>t</i> para valores de Alcalinidad	58
Tabla 33. Prueba Duncan para valores de Alcalinidad.....	59
Tabla 34. Resultados de Turbiedad en terminos de repetibilidad.....	59
Tabla 35. Prueba de normalidad para valores de Turbiedad	60
Tabla 36. Prueba <i>t</i> para valores de Turbiedad	60
Tabla 37. Prueba Duncan para valores de Turbiedad.....	60
Tabla 38. Resultados de Fosfatos en términos de repetibilidad.....	61
Tabla 39. Prueba de normalidad para valores de Fosfatos	61
Tabla 40. Prueba <i>t</i> para valores de Fosfatos.....	62
Tabla 41. Prueba Duncan para valores de Fosfatos	62
Tabla 42. Resultados de DBO ₅ en términos de repetibilidad	63
Tabla 43. Prueba de normalidad para valores de DBO ₅	63
Tabla 44. Prueba <i>t</i> para valores de DBO ₅	63
Tabla 45. Prueba Duncan para valores de DBO ₅	64
Tabla 46. Resultados de DQO en términos de repetibilidad	64
Tabla 47. Prueba de normalidad para valores de DQO	65
Tabla 48. Prueba <i>t</i> para valores de DQO	65
Tabla 49. Prueba Duncan para valores de DQO.....	65

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Equipos.....	37
Cuadro 2. Condiciones de muestreo	37
Cuadro 3. Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos	38
Cuadro 4. Comparación de los resultados obtenidos en la CVC y los experimentales (EMAV).....	44
Cuadro 5. Valores de significancia de los resultados de pH	44
Cuadro 6. Valores de significancia de los resultados de Sulfatos.....	44
Cuadro 7. Valores de significancia de los resultados de Cloruros	45
Cuadro 8. Valores de significancia de los resultados de Nitratos	45
Cuadro 9. Valores de significancia de los resultados de Nitritos.....	45
Cuadro 10. Valores de significancia de los resultados de Hierro	45
Cuadro 11 Valores de significancia de los resultados de Dureza	45
Cuadro 12. Valores de significancia de los resultados de Alcalinidad.....	45
Cuadro 13. Valores de significancia de los resultados de Turbiedad	45
Cuadro 14. Valores de significancia de los resultados de Fosfatos	45
Cuadro 15. Valores de significancia de los resultados de DBO ₅	45
Cuadro 16. Valores de significancia de los resultados de DQO	45
Cuadro 17. Resultados experimentales de los parámetros microbiológicos	65
Cuadro 18. Puntajes de riesgo para características fisicoquímicas y microbiológicas	65
Cuadro 19. Valores aceptables para cada característica comparados con los obtenidos experimentalmente en cada punto de muestreo	66

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Bocatoma.....	42
Figura 2. Punto de muestreo BA.....	42
Figura 3. Tanques de almacenamiento	42
Figura 4. Punto de muestreo BB.....	42
Figura 5. Punto de muestreo T1	43
Figura 6. Toma de muestras	43
Figura 7. Punto de muestreo T2	43
Figura 8. Toma de muestras	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Histograma para valores de pH en T1	76
Anexo 2. Histograma para valores de pH en T2A	76
Anexo 3. Histograma para valores de pH en T2B	76
Anexo 4. Histograma para valores de pH en BA	76
Anexo 5. Histograma para valores de pH en BB	77
Anexo 6. Histograma para valores de Sulfatos en T1	77
Anexo 7. Histograma para valores de Sulfatos en T2A	77
Anexo 8. Histograma para valores de Sulfatos en T2B	77
Anexo 9. Histograma para valores de Sulfatos en BA	78
Anexo 10. Histograma para valores de Sulfatos en BB	78
Anexo 11. Histograma para valores de Cloruros en T1	78
Anexo 12. Histograma para valores de Cloruros en T2A	78
Anexo 13. Histograma para valores de Cloruros en T2B	79
Anexo 14. Histograma para valores de Cloruros en BA	79
Anexo 15. Histograma para valores de Cloruros en BB	79
Anexo 16. Histograma para valores de Nitratos en T1	79
Anexo 17. Histograma para valores de Nitratos en T2A	80
Anexo 18. Histograma para valores de Nitratos en T2B	80
Anexo 19. Histograma para valores de Nitratos en BA	80
Anexo 20. Histograma para valores de Nitratos en BB	80
Anexo 21. Histograma para valores de Nitritos en T1	81
Anexo 22. Histograma para valores de Nitritos en T2A	81
Anexo 23. Histograma para valores de Nitritos en T2B	81
Anexo 24. Histograma para valores de Nitritos en BA	81
Anexo 25. Histograma para valores de Nitritos en BB	82

Anexo 26.	Histograma para valores de Hierro en T1	82
Anexo 27.	Histograma para valores de Hierro en T2A	82
Anexo 28.	Histograma para valores de Hierro en T2B	82
Anexo 29.	Histograma para valores de Hierro en BA	83
Anexo 30.	Histograma para valores de Hierro en BB	83
Anexo 31.	Histograma para valores de Dureza en T1	83
Anexo 32.	Histograma para valores de Dureza en T2A	83
Anexo 33.	Histograma para valores de Dureza en T2B	84
Anexo 34.	Histograma para valores de Dureza en BA	84
Anexo 35.	Histograma para valores de Dureza en BB	84
Anexo 36.	Histograma para valores de Alcalinidad en T1	84
Anexo 37.	Histograma para valores de Alcalinidad en T2A	85
Anexo 38.	Histograma para valores de Alcalinidad en T2B	85
Anexo 39.	Histograma para valores de Alcalinidad en BA	85
Anexo 40.	Histograma para valores de Alcalinidad en BB	85
Anexo 41.	Histograma para valores de Turbiedad en T1	86
Anexo 42.	Histograma para valores de Turbiedad en T2A	86
Anexo 43.	Histograma para valores de Turbiedad en T2B	86
Anexo 44.	Histograma para valores de Turbiedad en BA	86
Anexo 45.	Histograma para valores de Turbiedad en BB	87
Anexo 46.	Histograma para valores de Fosfatos en T1	87
Anexo 47.	Histograma para valores de Fosfatos en T2A	87
Anexo 48.	Histograma para valores de Fosfatos en T2B	87
Anexo 49.	Histograma para valores de Fosfatos en BA	88
Anexo 50.	Histograma para valores de Fosfatos en BB	88
Anexo 51.	Histograma para valores de DBO ₅ en T1	88
Anexo 52.	Histograma para valores de DBO ₅ en T2A	88
Anexo 53.	Histograma para valores de DBO ₅ en T2B	89
Anexo 54.	Histograma para valores de DBO ₅ en BA	89
Anexo 55.	Histograma para valores de DBO ₅ en BB	89

Anexo 56. Histograma para valores de DQO en T1	89
Anexo 57. Histograma para valores de DQO en T2A.....	90
Anexo 58. Histograma para valores de DQO en T2B.....	90
Anexo 59. Histograma para valores de DQO en BA	90
Anexo 60. Histograma para valores de DQO en BB	90
Anexo 61. Tanques de almacenamiento	91
Anexo 62. Tanques de almacenamiento	91
Anexo 63. Bocatoma	91
Anexo 64. Bocatoma	91

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

BA	Punto A de muestreo en Bocatoma
BB	Punto B de muestreo en Bocatoma
CRC	Corporación Autónoma Regional del Cauca
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno después de cinco días
Dec 475/98	Decreto 475 de 1998
DQO	Demanda Química de Oxígeno
E.coli	<i>Escherichia coli</i>
EMAV	Resultados experimentales Evelyn Alegria
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
IRCA	Índice del Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano
OMS	Organización Mundial de la Salud
SM	Standard Methods for Water and Wastes
SPSS	Statistical Product and Service Solutions
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
T1	Punto de muestreo Tanque 1
T2A	Punto de muestreo A en Tanque 2
T2B	Punto de muestreo B en Tanque 2

RESUMEN

En este trabajo se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua cruda empleada para consumo humano en el centro poblado Usenda, ubicado en el sector rural del municipio de Silvia-Cauca.

Para dicho análisis se determinó las propiedades fisicoquímicas como alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos, cloruros, sólidos totales, sulfatos, turbidez, hierro total, fosfatos y pH; además se realizó el análisis microbiológico, la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno.

Los resultados se analizaron estadísticamente con el programa SPSS y se compararon con las normas establecidas para aguas de consumo humano en la resolución 2115 de 2007 y los decretos 475 de 1998, 3930 de 2010, 1594 de 1984 y 1575 de 2007; con el fin de estimar la calidad preliminar del agua cruda empleada en los centros poblados del municipio de Silvia-Cauca.

Palabras clave: Usenda, análisis fisicoquímico, microbiológico, calidad del agua, agua cruda.

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible.

El agua de consumo inocua (agua potable), según se define en las normas, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños de corta edad, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas y los ancianos.

La finalidad hoy en día, es apoyar el desarrollo y la ejecución de estrategias de gestión de riesgos que garanticen la inocuidad del abastecimiento de agua por medio del control de los componentes peligrosos del agua. Estas estrategias pueden incluir normas nacionales o regionales desarrolladas basándose en la información científica que son proporcionadas, con el fin de proteger la salud de los consumidores, y determinar «valores de referencia» numéricos de los componentes del agua o los indicadores de la calidad del agua.

Los requisitos básicos y esenciales para garantizar la seguridad del agua de consumo son: un «marco» para la seguridad del agua que comprenda metas de protección de la salud establecidas por una autoridad con competencia en materia de salud, sistemas adecuados y gestionados correctamente (infraestructuras adecuadas, monitoreo correcto, planificación y gestión eficaces), y un sistema de vigilancia independiente.

La aplicación de un enfoque integral a la evaluación y la gestión de los riesgos de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo, aumenta la confianza en la inocuidad del agua. Este enfoque conlleva la evaluación sistemática de los riesgos en la totalidad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo desde el agua de origen y la cuenca de captación al consumidor y la determinación de las medidas que pueden aplicarse para gestionar estos riesgos, así como de métodos para garantizar el funcionamiento eficaz de las medidas de control. De igual forma incorporar estrategias para abordar la gestión cotidiana de la calidad del agua y hacer frente a las alteraciones y averías.

Lo anterior debe aplicarse a los sistemas de abastecimiento de agua de consumo entubada, tanto de grandes ciudades como de pequeñas comunidades, y a los sistemas de abastecimiento de agua sin tuberías en comunidades y viviendas individuales.

La gran mayoría de los problemas de salud relacionados de forma evidente con el agua se deben a la contaminación por microorganismos (bacterias, virus, protozoos u otros organismos). No obstante, existe un número considerable de problemas graves de salud que pueden producirse como consecuencia de la contaminación química del agua de consumo.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligadas a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear lo que produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos.

En el municipio de Silvia- Cauca se ve la necesidad de velar por la salud de la población, la vida silvestre y los ecosistemas que dependen de suministros adecuados de agua limpia. Sin embargo, a medida que las poblaciones crecen y se expanden hacia zonas antes no urbanizadas, los gobiernos enfrentan cada vez mayores dificultades para asegurar la calidad del agua. Las consecuencias de este crecimiento generan un aumento de escorrentías, aguas residuales, infraestructura inadecuada, desmonte de tierras que de una u otra forma plantean riesgos para la calidad del agua. Además, la urbanización puede perjudicar el auto mantenimiento de los recursos hídricos a través de humedales e infiltración del agua en el suelo, que son los procesos naturales mediante los cuales el agua se purifica. El dragado y la desecación de los humedales, así como la pavimentación impermeable, reducen estos procesos de purificación.

Además es importante destacar que en el sector rural de dicho municipio no se cuentan con plantas adecuadas y óptimas para hacer los tratamientos de agua y poder potabilizarla, como tampoco se tienen datos referentes a la calidad y pureza del agua, es por esta razón que se requiere hacer un análisis de las fuentes de agua que llegan a la bocatoma y que abastecen a la población de Usenda, de manera que se pueda identificar las condiciones en las que se encuentra el agua empleada para consumo humano en dicho sector y poder a largo plazo corregir falencias en el suministro de agua a la comunidad y de tal forma garantizar agua saludable para el consumo.

Teniendo presente la necesidad de tener un conocimiento del estado del agua empleada para consumo humano en la comunidad de Usenda, se evaluará las propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Los parámetros a analizar corresponden a los establecidos en los Decretos 1575 de 2007, 475 de 1998, y en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y Vivienda y Desarrollo Territorial que reglamenta la calidad del agua potable en Colombia.

La salud de la población del centro poblado Usenda será menos riesgosa, si se logra identificar el estado del agua de consumo humano y controlar su calidad. Esto es viable si se cuenta en primer lugar con herramientas que permitan hacer un seguimiento de las condiciones en que se encuentra el agua que están empleando, por lo que es indispensable hacer un análisis que establezca la calidad del agua en el sector mencionado y se pueda velar por el cumplimiento de las normas complementarias en

relación con el tema de la calidad del agua, de manera que se logre proponer planes y programas de suministro de agua de mejor calidad o agua potable a la población.

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Determinar los parámetros de calidad del agua cruda, empleada para el consumo humano en el centro poblado Usenda del sector rural de Silvia – Cauca, de acuerdo con los Decretos 1575 de 2007, 475 de 1998 y en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social y Vivienda y Desarrollo Territorial que reglamenta la calidad del agua potable en Colombia.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades físico-químicas de las muestras de agua tomadas en el centro poblado Usenda del municipio de Silvia-Cauca.
- Determinar la calidad microbiológica de las muestras de agua tomadas en el centro poblado Usenda del municipio de Silvia-Cauca.
- Analizar los resultados estadísticamente con el programa SPSS.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 EL AGUA

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía. El agua es el compuesto químico más abundante del planeta y resulta indispensable para el desarrollo de la vida. El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar contaminada por las actividades humanas.

Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas; sin embargo hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda, lo que ha permitido evidenciar que entre los factores o agentes que causan su contaminación están: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor.

La contaminación del agua es el grado de impurificación, que puede originar efectos adversos a la salud de un número representativo de personas durante períodos previsibles de tiempo. Se considera que el agua está contaminada, cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar, en su estado natural o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas, biológicas y/o su composición. En general, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. [1]

Para evitar las consecuencias del uso del agua contaminada se han ideado mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. Cada país debe tener una institución que se encargue de dicho control.

A pesar del control y prevención que se persigue en muchos países, se reportan aguas contaminadas con Coliformes lo que hace que la calidad del agua no sea la deseada, si bien muchos países tienen agua en grandes cantidades, el aumento poblacional, la contaminación de las industrias, el uso excesivo de agroquímicos, la falta de tratamiento de aguas negras y la erosión de suelos por la deforestación hacen que ese recurso sea escaso.

3.2 CALIDAD DEL AGUA

El agua para consumo humano es aquella que está libre de patógenos y de sustancias tóxicas que puedan constituir factor de riesgo para el individuo. Las características

biológicas, químicas y físicas del agua afectan su capacidad para sustentar la vida y su idoneidad para consumo y uso humanos. De ahí que una de las obligaciones del estado social de derecho, señalada en la carta política, es velar por el bienestar y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos, lo que es sinónimo de salud.

El control de calidad del agua consiste en un conjunto de actividades permanentes que tienen como resultado garantizar que el agua para consumo humano cumpla con los requisitos que establece la norma vigente de Calidad de Agua para Consumo Humano. El control de calidad es esencialmente un proceso estratégico de evaluación y control. Las principales etapas del control son la planificación, la verificación de la aplicación de los procedimientos establecidos y su evaluación, la verificación de los resultados y su evaluación, y la formulación y aplicación de medidas correctivas. [2,3]

3.3 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA

El análisis físico químico es de gran importancia para determinar las condiciones en que se encuentra el agua y por tanto permite determinar su calidad. Para su análisis se requiere determinar varios parámetros como: Alcalinidad, cloruros, nitritos, nitratos, hierro, sulfatos, pH, turbidez, dureza, sólidos, DQO, DBO₅. [4]

3.3.1 pH

El término pH es una forma de expresar la concentración de ión hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez es importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH.

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado. La fuerza electromotriz (fem) producida por el sistema electroquímico varía linealmente con el pH y puede verificarse por la obtención de una gráfica de pH vs. fem para diferentes soluciones de pH conocido. El pH de la muestra se determina por interpolación. Casi todos los aparatos usados hoy en día utilizan el electrodo de vidrio, en combinación con un electrodo de calomel, empleado como electrodo de referencia, para medir el pH. El potencial entre los

electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución. El sistema de electrodos se calibra siempre con soluciones de pH conocido. De acuerdo con el fabricante y el tipo de medidor de pH, cada aparato posee sus propias características e instrucciones de uso.

El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito. Electrodo de referencia, consiste en una semi-celda que provee un potencial de electrodo constante; los más comúnmente usados son electrodos de calomel y plata: cloruro de plata. El electrodo sensor es un bulbo de vidrio especial que contiene una concentración fija de HCl o una solución tamponada de cloruro en contacto con un electrodo de referencia interno. Los electrodos combinados incorporan los electrodos de vidrio y de referencia en uno solo. El método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida. [5]

3.3.2 Sulfatos

El sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos miligramos por litro hasta algunos gramos por litro. Algunos drenajes de minería pueden contribuir con grandes cantidades de sulfatos a través de la oxidación de piritas.

Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido es también importante, porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor.

El ion SO_4^{2-} forma una suspensión con cloruro de bario (BaCl_2) en presencia de ácido acético para formar cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de tamaño uniforme. Se mide la dispersión de luz de la suspensión de BaSO_4 con un turbidímetro, y la concentración de SO_4^{2-} se determina por comparación de la lectura contra una curva estándar. [5,6]

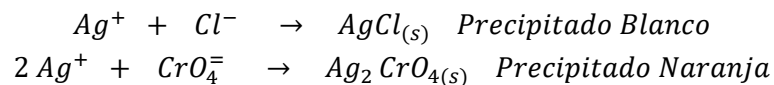
3.3.3 Cloruros

El ion cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde unos pocos ppm hasta varios gramos por litro. Este ión ingresa al agua en forma natural mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo; sin embargo, como quiera que la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo es relativamente baja en las aguas superficiales, la concentración de

cloruros en estos cuerpos de agua tiende a ser también, relativamente baja, salvo que estas hayan sido afectadas por eventos antrópicos.

Los métodos de análisis de cloruros mas frecuentes en los laboratorios de calidad de aguas, son el método de medición por electrodo específico, el método de titulación con nitrato de mercurio y el método de titulación con nitrato de plata. Se enfatizará en este último, ya que es el más utilizado y ademas el que se empleo en este trabajo.[7]

El método se basa en la titulación de un volumen de muestra, con una solución patrón de nitrato de plata, generalmente en concentración 0.05N, utilizando cromato de potasio como indicador del punto final de la reacción, como se muestra en la siguiente ecuacion:



Ya que el cromato de plata, ($K_{PS}=10^{-11.89}$), es mucho mas soluble que el cloruro de plata, ($K_{PS}=10^{-9.75}$), mientras que exista ión cloruro en el medio, no se formara cromato de plata y en consecuencia el sistema reaccionante lucirá como un flock acuoso de color amarillo, hasta justo antes de alcanzar el punto de equivalencia.

Sin embargo, una vez que se agota el ion cloruro en la muestra, la siguiente gota de agente titulante producirá un precipitado de cromato de plata, que tiñe de color ladrillo la mezcla titulante. Así, el punto final de la titulación se alcanza justo cuando la mezcla adquiere el primer tinte marrón. Cualquier adición posterior de agente titulante implica error en la medida. [8]

3.3.4 Nitratos

Los NO_3^- existentes en el agua, son habitualmente, consecuencia de una nitrificación del N orgánico o proceden de la disolución de los terrenos atravesados por el agua. Pueden provenir de la contaminación orgánica (ej. aguas residuales) o de la contaminación por abonos químicos.

La OMS incluye a los nitratos entre los componentes que pueden ser nocivos para la salud: En determinadas circunstancias los NO_3^- pueden ser peligrosos para los niños cuando su concentración es mayor de 45 ppm. El efecto perjudicial de los NO_3^- se debe a que por acción bacteriana se reducen a NO_2^- en el estómago, estos pasan a la sangre y son responsables de la metahemoglobinemia, con lo que el poder de absorción del oxígeno por la sangre disminuye, produciendo asfixia interna. Se conoce además que *in vitro* los NO_3^- reducidos a NO_2^- pueden formar nitrosaminas de conocida acción cancerígena.

El nitrato es una de las formas oxidadas del nitrógeno que se encuentra en las aguas residuales, su presencia está relacionada con la oxidación del nitrógeno orgánico y su carácter de nutriente en el agua. El método espectrofotométrico ultravioleta selectivo mide la absorción UV del ión nitrato a 220 nm, pero la materia orgánica disuelta puede absorber también a esta longitud de onda, y como el ión nitrato no lo hace a 275 nm, se puede utilizar una segunda medición a 275 nm para corregir el valor de nitrato. Esta corrección empírica dependerá de la naturaleza y concentración de la materia orgánica y puede variar de unas aguas a otras. [5,9]

3.3.5 Nitritos

El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0.1 mg/L. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato.

Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con amidas y aminas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno.

El nitrito (NO_2^-) se determina mediante la formación de un colorante azo de color púrpura rojizo por reacción de diazotación-copulación de sulfanilamida con di clorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED di clorhidrato) a pH entre 2,0 y 2,5.

Según el Standard Methods este método es adecuado para determinar nitrito en concentraciones de 10 a 1000 $\mu\text{g NO}_2^-$ -N/L. El sistema de color obedece la ley de Beer en concentraciones hasta de 180 $\mu\text{g NO}_2^-$ -N/L a 543 nm si se emplea celda de 1 cm de longitud; se pueden hacer mediciones en el intervalo de 5 a 50 $\mu\text{g NO}_2^-$ -N/L con una celda de 5 cm de paso de luz y un filtro de color verde. Si se requiere determinar concentraciones más altas, se realizan por dilución de la muestra. [9]

3.3.6 Hierro

La forma y solubilidad del hierro en aguas naturales es fuertemente dependiente del pH y del potencial de oxidación del agua. El hierro se encuentra con forma de Fe^{2+} y Fe^{3+} . En un ambiente reducido y bajo pH, abunda como Fe^{2+} que es relativamente soluble, siendo común en aguas subterráneas y en drenajes ácidos de minas de carbón. Un incremento en el potencial de oxidación del hierro ferroso lo convierte en Fe^{3+} , el cual se hidroliza y precipita como óxido férrico. En muestras de agua, el hierro puede presentarse en un estado coloidal acomplejado por la materia orgánica, formando compuestos orgánicos o inorgánicos, o como partículas suspendidas relativamente gruesas.[10]

El método de determinación de hierro consiste en disolver y reducir al estado ferroso por ebullición con ácido, de manera que pueda hacerse reaccionar con la fenantrolina a valores de pH de 3,2 a 3,3. El complejo rojo-naranja que se forma es un quelato de tres moléculas de fenantrolina por cada átomo de hierro ferroso. [5,7]

Se prepara curva de calibración y la cantidad total de hierro en la muestra se determina por extrapolación en la curva patrón.

3.3.7 Dureza Total

En la práctica se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta. El límite para dureza en agua potable es de 160 mg CaCO_3/L . Para aguas de caldera de presión intermedia el límite es 1 mg/L y de presión alta, 0.07 mg CaCO_3/L , en aguas de enfriamiento 650 mg CaCO_3/L . [11]

El método de determinación de dureza por volumetría con EDTA es aplicable a aguas potables, superficiales, contaminadas y aguas residuales. El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Cuando se añade EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio. De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en miligramos por litro.

La nitidez del punto final en el método volumétrico de EDTA, aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) o hidróxido magnésico, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, y por que la titulación cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de 10 constituye una solución satisfactoria.

3.3.8 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos son materiales suspendidos y disueltos en el agua. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro de varias maneras.

Las aguas altamente mineralizadas no son adecuadas para muchas aplicaciones industriales o incluso resultan estéticamente insatisfactorias para bañarse. El análisis de sólidos es importante en el control de procesos de tratamientos biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertimiento.

El contenido de materia en suspensión es muy variable según los cursos de agua. Para cada uno de ellos está en función de la naturaleza de los terrenos atravesados, de la estación, la pluviometría, los trabajos, los vertimientos etc.

Los “sólidos totales” se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103 - 105 °C. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas (sólidos disueltos totales: porción que pasa a través del filtro) y no disuelto (sólidos suspendidos totales: porción de sólidos totales retenidos por un filtro).

Los sólidos secados entre 103 - 105 °C pueden retener aguas de cristalización y también algo de agua ocluida. Como resultado de la conversión del bicarbonato en carbonato, habrá una pérdida de CO₂. La pérdida de material orgánico por volatilización será por lo general muy ligera. Los resultados para residuos ricos en aceites y grasas pueden ser cuestionables debido a la dificultad que supone el secado a peso constante en un tiempo razonable.

El análisis de sólidos totales se aplica en aguas potables (Dec 475/98) con un parámetro máximo de 500 mg/L. [5]

3.3.9 Alcalinidad

La alcalinidad del agua es su capacidad de neutralizar ácidos, y es la suma de todas las bases titulables; el valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final empleado. La alcalinidad es una medida de una propiedad agregada del agua y se puede interpretar en términos de sustancias específicas solo cuando se conoce la composición química de la muestra.

Debido a que la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de carbonato, bicarbonato e hidróxido, se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes. Los valores medidos también pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos, u otras bases que estén presentes. La alcalinidad superior a las concentraciones de metales alcalinotérreos es significativa para determinar la aptitud de un agua para irrigación.

Las mediciones de alcalinidad se emplean en la interpretación y control de los procesos de tratamiento de aguas. Las aguas residuales domésticas tienen una alcalinidad menor, o ligeramente mayor, que la del agua de suministro. Los iones hidroxilo presentes en una muestra como resultado de disociación o hidrólisis de solutos reaccionan con adiciones de ácido estándar. En consecuencia la alcalinidad depende del pH de punto final empleado.

La alcalinidad en el agua se expresa como la concentración equivalente de iones hidroxilo, en mg/L, o como la cantidad equivalente de CaCO_3 , en mg/L. La alcalinidad, entendida como la concentración de metales alcalinoterreos, tiene importancia en la determinación del agua para riego y es, además, un factor importante en la interpretación y el control de los procesos de purificación de aguas residuales.[4,12]

La alcalinidad se mide por titulación de una alícuota de muestra con HCl o H_2SO_4 de concentración 0,02N, utilizando indicadores como fenolftaleína, cuando las muestras tienen un pH mayor de 8,3 o naranja de metilo, en caso contrario. En el caso que se emplea naranja de metilo se habla de "alcalinidad M" o alcalinidad al Methyl orange, ya que la alcalinidad es una función directa "del sistema carbonato" en la muestra, los valores de alcalinidad obtenidos "in situ" suelen diferir de los obtenidos en el laboratorio sobre muestras que han sido transportadas, debido a que estas pueden absorber o desprender CO_2 , antes de la medición en el laboratorio. [6,5]

3.3.10 Turbiedad

La turbidez de una muestra de agua, es la reducción de su transparencia ocasionada por el material particulado en suspensión. Este material puede consistir de arcillas, limos, plancton o material orgánico finamente dividido, que se mantiene en suspensión por su naturaleza coloidal o por la turbulencia que genera el movimiento. Por esta misma razón, la turbidez debe medirse directamente en campo o en su defecto, dentro de las 24 horas siguientes al muestreo.

En lo que respecta al agua para consumo humano, la turbidez le confiere al agua un aspecto desagradable que suele ser tomado como sospecha de algún tipo de contaminación, especialmente bacteriológica. Pese a ello, se debe considerar que la mayor parte de las bebidas que se ingieren regularmente poseen elevados valores de turbidez (sólidos en suspensión) e incluso de sólidos sedimentables sin que ello represente ningún riesgo para la salud.

Si bien, en rigor, la medición se fundamenta en la aplicación de una técnica nefelométrica, se explicará una derivación de este método utilizando un fotómetro. El método estándar se basa en la comparación de la magnitud de luz dispersada por las partículas coloidales

presentes en una muestra de agua, con la intensidad de la luz que emerge a través de la misma muestra, previamente filtrada sobre membranas con diámetro de poro de 0.45 micras. Esta forma de blanco reduce apreciablemente las interferencias causadas por absorción en las muestras. [5,7]

3.3.11 Fosfatos

El fósforo se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente como fosfatos, los cuales se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta-, y otros polifosfatos) y fosfatos orgánicos. El análisis de fósforo envuelve dos pasos generales: (a) conversión de la forma de fósforo de interés a ortofosfato disuelto, y (b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto.

El fósforo disuelto se determina en el filtrado de una muestra pasada a través de un filtro de 0,45 μm de diámetro de poro.

El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropoliácido -ácido fosfomolibdico- que es reducido por ácido ascórbico a un complejo azul de molibdeno intensamente coloreado; sólo las formas de ortofosfato forman dicho color azul en esta prueba.

En el Laboratorio del IDEAM se analizan con éste método muestras de agua superficial, en un rango de concentraciones entre 0.03 y 1.0 mg P-PO₄/L. La presencia de fósforo soluble en los cursos de agua proviene del uso de fertilizantes, jabones, detergentes, o del suelo. A mediano plazo pueden producir en las aguas continentales proliferación de algas y otros vegetales acuáticos (eutrofización). Los polifosfatos utilizados en los detergentes o en el tratamiento de aguas perjudican la depuración, al impedir la floculación y el desendurecimiento, al tiempo que pueden producir gran cantidad de espuma. Según el Decreto 475 del 10 marzo de 1998 del Ministerio de Salud, en el artículo 8 parte b) se especifica como criterio de calidad química para agua con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud, un valor máximo admisible de 0,2 mg/L de fosfatos.[5,13]

3.3.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La oxidación microbiana o mineralización de la materia orgánica es una de las principales reacciones que ocurren en los cuerpos naturales de agua y constituye una de las demandas de oxígeno, ejercida por los microorganismos heterotróficos, que hay que cuantificar.

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a cinco días representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO, como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por tanto, es necesario garantizar que durante todo el periodo de ensayo exista suficiente oxígeno disuelto para ser utilizado por los organismos. Además, debe garantizarse que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que hay que proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, tales como N y P y eliminar cualquier sustancia tóxica de la muestra. Es también necesario que exista una población de organismos suficiente en cantidad y en variedad de especies, llamada "Cepa" o "semilla", durante la realización del ensayo, para la degradación de la materia orgánica.

El método se aplica para la matriz aguas naturales superficiales y residuales industriales. Es empleado para el intervalo de 2 a 5000 mg/L. Es un método electrométrico, en el que se determina el oxígeno disuelto consumido, en sus procesos metabólicos, por los microorganismos, en la degradación de la materia orgánica, incubando la muestra en la oscuridad a 20 ± 3 °C, por cinco días. [11]

3.3.13 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables presentes en la muestra, se oxidan mediante reflujo cerrado en solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con un exceso de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de sulfato de plata (Ag_2SO_4) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercurico ($HgSO_4$) adicionado para eliminar la interferencia de los cloruros. Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ remanente se titula con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente. Para muestras de un origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica.

El método es aplicable a aguas superficiales y residuales, usando el dicromato de 0,025 N en un rango de 2.0 mg O₂/L a 100 mg O₂/L, usando el dicromato de 0,10 N en un rango de 10 mg O₂/L a 450 mg O₂/L y con el dicromato de 0,25 N tiene un intervalo de lectura de 10 mg O₂/L a 1000 mg O₂/L. [7]

3.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AGUA.

La *Escherichia coli* forma la mayor parte de la flora comensal aerobia y anaerobia facultativa del tubo digestivo, y se elimina por las heces al exterior, por lo tanto no es infrecuente que se encuentre en el medio ambiente, donde son capaces de sobrevivir durante cierto tiempo en el agua y los alimentos, de manera que su aislamiento constituye un indicador de contaminación fecal reciente. Puede intervenir en procesos patológicos como la producción de cuadros intestinales, diarreas e infecciones extra intestinales diversas.

Los coliformes totales, se encuentran con más frecuencia en el medio ambiente, pueden estar en el suelo y en las superficies del agua dulce, por lo que no son siempre intestinales, su identificación en estas fuentes sugieren fallas en la eficiencia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La prueba de Enzima – sustrato definido se fundamenta en la actividad enzimática de los Coliformes totales y los Coliformes fecales (E.coli). Los Coliformes totales se diferencian según su capacidad para fermentar lactosa, así: Fermentadores Rápidos: E. coli, klebsiella, enterobacter, poseen 2 enzimas, la betagalactósido-permeasa, su actividad es permitir que la lactosa se difunda a través de la membrana celular. La otra es la beta-galactosidasa la cual descompone por hidrólisis el enlace beta -galactósido que une las moléculas de glucosa y galactosa para formar el disacárido de lactosa, liberando así la glucosa que de esta manera puede ser fermentada. Los fermentadores lentos, carecen de la enzima beta-galactósido-permeasa. Los no fermentadores, no poseen ninguna de las enzimas.

En los medios sólidos con lactosa se comportan en general como no fermentadoras y solo puede detectarse demostrando la presencia de beta-galactosidasa por la reacción del ONPG (ortonitrofenil – galactopiranósido), compuesto capaz de atravesar la pared celular y que la beta-galactosidasa descompone en galactosa y ortonitrofenil, que al liberarse en medio alcalino toma un color amarillo pálido. Este método está recomendado para análisis microbiológico para las muestras de agua en general, ya sea potable, de consumo humano, no tratadas, residuales aguas de alberca y de playa. El método es aplicable en un rango de 1 a 1800 NMP/100mL para detectar y cuantificar la concentración de Coliformes totales y E.coli para evaluar la calidad microbiológica de estas. Para asegurar la calidad bacteriológica del agua se evalúan tres grupos de microorganismos principales, los coliformes totales, coliformes fecales y e-coli, los cuales son utilizados como indicadores de contaminación.

Los procedimientos de laboratorio para Coliformes fecales y Estreptococos son usados para confirmar aguas de desecho y otras aguas no potables; se usan para detectar si existe contaminación bacteriana causada por el hombre o los animales. El termino coliforme se refiere a un grupo de bacterias gram negativas aerobias, hasta facultativas anaerobias no esporuladas en forma de bastón que fermentan la lactosa a 35 °C en 48 horas. Ellas están distribuidas abundantemente en la naturaleza y muchos son huéspedes de los animales de sangre caliente y el hombre. [7,14,15]

3.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUESTREO

Con el objeto de tomar muestras verdaderamente representativas, es adecuado realizar un programa ideal de muestreo; aquí se estudia las posibilidades exactas para la selección de los sitios y puntos de muestreo, esto con la finalidad de que la muestra recolectada conserve las características originales.

Antes del muestreo es necesario observar a lo largo del río o quebrada las posibles descargas (éstas pueden ser naturales, aguas residuales de carácter doméstico o agricultura como pesticidas, plaguicidas u otros productos químicos) que podrían contribuir a una contaminación y alterar la concentración del analito a analizar.

SELECCIÓN SITIOS PARA MUESTREO.

- **PUNTOS DE MUESTREO:** Es el sitio preciso de donde se toma la muestra de agua dentro de sitios estratégicos del cuerpo de agua con la finalidad que los componentes presentes en la muestra estén distribuidos homogéneamente, para asegurar la obtención de resultados representativos.
- **TIPO DE MUESTRA A RECOLECTAR:** La muestra para obtener y analizar la presencia de metales pesados tóxicos es una muestra compuesta, debido a que este tipo de muestra posee mejores indicaciones de la composición promedio de la calidad de una fuente de agua.
- **CADENA DE CUSTODIA:** Proceso que consiste en controlar y vigilar el muestreo, desde su toma, transporte, el tratamiento en el laboratorio y la obtención de resultados, para asegurar confiabilidad y trazabilidad de la muestra.
- **MÉTODO DE MUESTREO:** Existen varios métodos, pero se utilizo el más sencillo, con las precauciones pertinentes evitando contaminación de la muestra y seguridad para el muestreador. La muestra se tomaron de forma manual, el muestreador sostiene la botella por la base, sin ir a tocar el interior e igualmente la tapa se deja en un lugar limpio evitando contaminación; la introduce en el punto de muestreo

seleccionado a una profundidad de 25 cm (sobre la corriente principal o lo más cerca posible, evitando turbulencia, sólidos suspendidos) con la boca río abajo, luego se voltea la boca de la botella y se deja llenar por completo frente a la corriente, se saca la botella y se descarta un pequeño volumen (aproximadamente 0.5 cm) e inmediatamente se tapa.

- **PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA:** Este proceso lleva a cabo para retardar al máximo cambios químicos y biológicos que continúan inevitablemente después de retirar la muestra del cuerpo de agua.
- **TRANSPORTE:** Las botellas deben sellarse herméticamente protegidas de radiación solar, calor; evitar que la calidad de la M cambie por intercambio de gases, reacciones fisicoquímicas y el metabolismo de microorganismos. Deben colocarse en posición vertical dentro de una heladera o nevera con “Ice pack” para enfriar a 4°C sin congelar.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El programa SPSS (Statistical Product and Service Solutions) es un conjunto de herramientas estadísticas que permite realizar: análisis descriptivos, análisis exploratorios, análisis de variables categóricas (tablas de contingencia), contrastar medias a través de la prueba T, análisis de varianzas de un factor y de varios factores, análisis de correlación lineal, análisis de regresión lineal, pruebas no paramétricas para: una muestra, dos muestras independientes, varias muestras independientes, dos muestras relacionadas y varias muestras relacionadas.

El SPSS, responde al funcionamiento de todo programa que lleva a cabo análisis estadístico: los datos son analizados con una serie de órdenes, dando lugar a unos resultados de tipo estadístico que el investigador debe interpretar. [16]

3.6.1 Prueba de normalidad de Shapiro Wilk: Empleada en casos en el que el tamaño muestral sea igual o menor que 50 utiliza Shapiro Wilk permite contrastar la hipótesis nula de que los datos muestrales proceden de poblaciones normales. Cuando el resultado de la prueba no indica significancia ($>0,05$) se acepta la hipótesis nula y se aplican pruebas paramétricas, de lo contrario (sig. $<0,05$) se debe aplicar pruebas no paramétricas.

3.6.2 Pruebas Paramétricas Son aquellas pruebas estadísticas que exigen que los datos a los que se aplican pertenezcan a una muestra aleatoria de una distribución de probabilidad de tipo normal o de Gauss, simétrica alrededor de la media. Viene determinada por dos parámetros, la media y la desviación típica.

➤ **Prueba T** La prueba T para una muestra permite contrastar hipótesis referidas a una media poblacional bajo la suposición que el verdadero valor de la media poblacional es μ y la desviación típica poblacional δ es estimada mediante la desviación típica muestral S_{n-1} . El T estadístico se ajusta apropiadamente al modelo de distribución de probabilidad *t* de *student* cuando la población muestreada es normal. Con el programa SPSS se puede realizar la prueba T para dos muestras donde se contrastan hipótesis referidas a la diferencia entre dos medias independientes o relacionadas según el caso.

➤ **ANOVA** El análisis de varianza ANOVA de un factor sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. A la variable categórica que define los grupos que se desean comparar se le llama variable independiente o factor y a la variable cuantitativa en la que desea comparar los grupos se le llama variable dependiente.

La hipótesis que se pone a prueba en el ANOVA de un factor es que las medias poblacionales de la variable dependiente en cada nivel de la variable independiente son iguales. Si las medias poblacionales son iguales significa que los grupos no difieren en la variable dependiente y que, en consecuencia el factor es independiente de la variable dependiente.

➤ **Prueba de Duncan** Al rechazar la hipótesis del ANOVA, se sabe que las medias poblacionales comparadas no son iguales, pero no donde se encuentran las diferencias. Para saber qué media difiere de qué otra se utiliza la prueba del rango múltiple de Duncan, método de comparación por pasos basado en la distribución del rango estudentizado. Controla la tasa de error al efectuar varios contrastes utilizando las mismas medias.

3.6.3 Pruebas No Paramétricas Los contrastes paramétricos no son los únicos disponibles pues existen contrastes que permiten poner a prueba hipótesis no referidas a parámetros poblacionales ni trabajar con datos obtenidos.

➤ **Prueba de U de Mann Whitney** Diseñada para analizar datos provenientes de planteamientos con una variable categórica (con dos niveles que definen dos grupos o muestras) y una variable dependiente cuantitativa en la cual interesa comparar las muestras. Es una excelente alternativa a la prueba *t* sobre diferencia de medias cuando no se cumplen los supuestos sobre los que se basa esta prueba.

➤ **Prueba de Kruskal Wallis** Es una extensión de la prueba de U de Mann Whitney al caso de más de dos muestras, no necesita establecer supuestos sobre las poblaciones originales como los del ANOVA. Cuando al realizar la prueba de Kruskal Wallis se obtienen diferencias se puede aplicar la **prueba de Tukey** con el fin de determinar entre cuales grupos se encuentra dicha diferencia.

3.7 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA RESPECTO A CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

- **Decreto 1575 de 2007:** Por el cual se establece el sistema para la protección y control para la calidad de agua para consumo humano.[18]

- **Decreto 475 de 1998:** Por el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable. [19]

- **Decreto 3930 de 2010:** Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.[20]

- **Resolución 2115 de 2007:** Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. [21]

4 METODOLOGÍA

Para la realización de los análisis se emplearon los equipos que se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Equipos

EQUIPO	CARACTERÍSTICA
Incubadora	Selecta Medilow
Oxímetro	WTW Inolab Oxi Level 2
Fotómetro	Spectroquant Nova 60
Termo reactor	TR 320
pH metro	pH- metro HACH sensION™
Horno	Dies
Turbidímetro	Turbiquant 1100 IR Merck
Absorción atómica (AA Spestrometer)	Thermo Scientific iCE 3000 SERIES

4.1 MUESTREO

Se identificó dos lugares claves para el muestreo: La Bocatoma y el tanque de almacenamiento del agua antes de ser distribuida a las casas.

Las muestras se recogieron en el transcurso de 24 horas para obtener una muestra compuesta en cada punto de muestreo.

Se obtuvo un total de 5 muestras compuestas analizadas por triplicado. También se tomaron dos contra muestras para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos y de esta manera poder analizar y establecer la calidad del agua empleada para consumo humano en Usenda.

Cuadro 2. Condiciones del muestreo.

Características	Condiciones
Profundidad	Superficial e intermedia
Tiempo de muestreo	24 horas
Frecuencia del muestreo	Cada 2 horas
Numero de muestras	5
Clase de muestras	Muestras compuestas
Cantidad de muestra	3000 mL

PASOS PARA TOMAR LA MUESTRA PARA EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

- 1) Se verifico que el rotulado del envase estuviera correcto.
- 2) Se enjuagó 2 veces con la fuente de agua que se iba a muestrear, desechando el agua de enjuague.
- 3) Se recogió la muestra sin dejar cámara de aire.
- 4) Se cerró el envase asegurando su cierre hermético.
- 5) Se guardó la muestra en la heladera.

PASOS PARA TOMAR LA MUESTRA PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

- 1) Se verifico el rotulo del envase previamente esterilizado.
- 2) Se abrió el recipiente evitando el contacto de los dedos con la parte interior y se lleno el frasco dejando una cámara de aire y se tapo inmediatamente asegurando un cierre perfecto.
- 3) La muestra se guardo en una heladera.

4.2 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Cuadro 3. Métodos para la determinación de los parámetros fisicoquímicos.

Determinación	Descripción	Método
Alcalinidad	Titulométrico	SM2320B
Sulfatos	Turbidimétrico	SM4500E
Cloruros	Nitrato de plata	SM4500-Cl ⁻ D
Nitratos	Espectrofotometría UV a 220 nm.	SM4500-NO ₃ ⁻ B
Nitritos	Espectrofotometría UV a 543 nm.	SM4500-NO ₂ ⁻ B
Hierro	Absorción atómica.	SM3111B
Dureza Total	Titulométrico de EDTA	SM2340C
Sólidos Suspendidos Totales	Secado a 103 - 105°C	SM2540D
pH	Electrométrico	SM4500-H ⁺ B
Turbiedad	Nefelometría	SM2130B
Fosfatos	Espectrofotometría UV	SM4500-P D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Test por 5 días en incubación.	SM5210B
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Reflujo	SM2520D

4.2.1 pH

El pH se determinó en base al método SM4500-H⁺ B, el cual consiste en emplear un pHmetro que consta básicamente de un electrodo de vidrio y uno de referencia (electrodo de calomel). El potencial entre los electrodos es proporcional a la concentración de iones hidrógeno en solución. [5]

4.2.2 Sulfatos

Los sulfatos se determinaron siguiendo el método SM4500E, que consiste en la formación de una suspensión del ion SO_4^{2-} con el cloruro de bario (BaCl_2) en presencia de ácido acético para formar cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de tamaño uniforme. Luego se mide la dispersión de luz de la suspensión de BaSO_4 con un turbidímetro, y la concentración de SO_4^{2-} se determina por comparación de la lectura contra una curva estándar. [5,6]

4.2.3 Cloruros

Los cloruros se determinaron con el método SM4500-Cl-D, que se basa en medir la cantidad de nitrato de plata que se gasta al reaccionar con todo el cloruro disuelto en el agua. La determinación del punto final se obtiene por la presencia de cromato de plata (precipitado rojo). [5,13]

4.2.4 Nitratos

Los nitratos se determinaron siguiendo el método SM4500 NO_3^- B, el cual consiste en la absorción del ion NO_3^- a una longitud de onda de 220 nm en un espectrofotómetro UV. También se hizo una lectura a 275 nm para determinar la interferencia de la materia orgánica disuelta. [4,5]

4.2.5 Nitritos

Los nitritos se determinaron según el procedimiento establecido por el Standard methods for water and wastes SM4500- NO_2^- B, que se basa en la absorción de los iones NO_2^- a una longitud de onda de 543 nm en un espectrofotómetro UV. [5,13]

4.2.6 Hierro

El hierro se determinó por el método SM3111B, el cual se basa en el uso del equipo de absorción atómica. [5,7]

4.2.7 Dureza Total

La dureza se determinó con el método titulométrico SM2540C, el cual consiste en la titulación con EDTA 0,01 M en presencia de negro de eriocromo como indicador.

4.2.8 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales se determinaron de acuerdo al método SM2340D, que se basa en la retención de las partículas solidas en un filtro de fibra de vidrio por el que se hace pasar una cantidad de muestra homogénea, el residuo se seca a 103-105°C. La diferencia de peso del filtro es la cantidad de sólidos suspendidos totales. [5]

4.2.9 Alcalinidad

La alcalinidad se determinó empleando el método SM2320B, que se basa en la titulación con una solución estándar de un ácido mineral fuerte a los puntos sucesivos de equivalencia del bicarbonato y el ácido carbónico (pH: 4.5-4.3). [5,12]

4.2.10 Turbiedad

La turbiedad se determinó siguiendo el procedimiento del método SM2130B empleando un turbidímetro. [5]

4.2.11 Fosfatos

Los fosfatos se determinaron con el método SM4500-P D que consiste en una reacción de los ortofosfatos con vanadato-molibdato de amonio en medio ácido y la posterior medida del color amarillo desarrollado. [5,13]

4.2.12 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno se determino de acuerdo al método SM5210B, que consiste en establecer diluciones de las muestras en base a los resultados de la demanda química de oxígeno. Este es un método electrométrico, el cual determina el oxígeno disuelto consumido, en sus procesos metabólicos, por los microorganismos, en la degradación de la materia orgánica, incubando la muestra en la oscuridad a 20±3°C, por cinco días.

Para establecer las diluciones se uso la *tabla 1* y las diluciones se prepararon con material volumétrico clase A directamente en las botellas. [22]

Tabla 1: Volúmenes para dilución en la determinación de la DBO₅

Uso de porcentaje de mezclas		Medición directa con pipeta en recipientes de 300mL	
% de la mezcla	Margen de la DBO	mL	Margen de DBO
0.01	20.000-70.000	0.02	30.000-105.000
0.02	10.000-35.000	0.05	12.000-42.000
0.05	4.000-14.000	0.10	6.000-21.000
0.1	2.000-7000	0.20	3.000-10.500
0.2	1.000-3.500	0.50	1.200-4.200
0.5	400-1.400	1.0	600-2.100
1.0	200-700	2.0	300-1.050
2.0	100-350	5.0	120-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

4.2.13 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno se determino con el método SM2520D, el cual consiste en una digestión acida con exceso de $K_2Cr_2O_7$ y una posterior titulación con sulfato ferroso amoniacal para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido. La materia orgánica se calcula en términos de oxígeno equivalente.

4.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

4.3.1 Coliformes Totales y *E. Coli*

Para determinar los coliformes totales y *e. coli* se empleo el kit Colilert, el cual detecta simultáneamente los coliformes totales y *e. coli* en el agua. Se basa en una tecnología de sustrato definido; patentada por IDEXX. [5,7]

Cuando los coliformes metabolizan el indicador de nutrientes de colilert, la muestra toma una coloración amarilla y los *e.coli* fluorescen. El resultado se determina después de 24 horas de incubar las muestras a $35\pm 0,5$ °C.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 PUNTOS DE MUESTREO

Se establecieron puntos de muestreo en la bocatoma y en los tanques donde se almacena el agua antes de pasar a la tubería que la distribuye a las casas del centro poblado. En total se tomaron cinco muestras compuestas distribuidas de la siguiente manera:

Tanque 1 (T1): Una muestra compuesta representativa.

Tanque 2 (T2): Dos muestras compuestas representativas en dos puntos del tanque (T2A y T2B).

Bocatoma (B): Dos muestras compuestas representativas en dos puntos de la bocatoma (BA y BB).

Figura 1. Bocatoma.



Figura 3. Tanques de almacenamiento.



Figura 2. Punto de muestreo BA.



Figura 4. Punto de muestreo BB.



Figura 5. Punto de muestreo T1.



Figura 7. Punto de muestreo T2.



Figura 6. Toma de muestras.



Figura 8. Toma de muestras.



5.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE (EMAV) CON LOS OBTENIDOS POR EL LABORATORIO CERTIFICADO (CVC)

Para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos experimentalmente en cada uno de los parámetros, se realizó la prueba t para datos relacionados permitiendo establecer si los resultados experimentales tienen o no diferencia significativa con los obtenidos en el laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle.

Cuadro 4: Comparación de los resultados obtenidos en la CVC y los experimentales (EMAV).

PARÁMETRO	Unidades	TANQUE		BOCATOMA	
		EMAV	CVC	EMAV	CVC
pH	Unidades	7.87	7.80	7.62	7.79
SST	mg/L	-	≤200	-	≤200
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	31.5	30.9	32.8	31.6
Cloruros	mg Cl/L	2.81	<2.33	2.87	<2.33
Sulfatos	mg SO ₄ /L	2.85	<5.00	4.01	<5.00
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	31.4	30.7	33.9	32.6
Turbiedad	UNT	23.8	22.5	19.2	17.3
DQO	mg O ₂ /L	4.820	<5.33	5.12	<5.33
DBO ₅	mg O ₂ /L	0.980	<1.94	1.85	<1.94
Fosfatos	mg PO ₄ /L	0.0580	<0.0640	0.0630	<0.0640
Nitritos	mg N-NO ₂ /L	0.0109	0.00980	0.0046	0.00395
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0.298	0.318	0.258	0.262
Hierro	mg Fe /L	2.38	2.26	2.85	2.69
Coliforme Totales	UFC/100 cm ³	0	0	2	2
Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>)	UFC/100 cm ³	0	0	0	0

A continuación se muestran los valores de significancia obtenidos para cada parámetro al comparar los resultados experimentales con los de la CVC.

Cuadro 5: Valores de significancia de los resultados de pH.

TANQUE	pH CVC	0.713
	pH EMAV	
BOCATOMA	pH CVC	0.957
	pH EMAV	

Cuadro 6: Valores de significancia de los resultados de sulfatos.

TANQUE	Sulfatos CVC	0.508
	Sulfatos EMAV	
BOCATOMA	Sulfatos CVC	0.786
	Sulfatos EMAV	

Cuadro 7: Valores de significancia de los resultados de cloruros.

TANQUE	Cloruros CVC	0.575
	Cloruros EMAV	
BOCATOMA	Cloruros CVC	0.762
	Cloruros EMAV	

Cuadro 8: Valores de significancia de los resultados de Nitratos.

TANQUE	Nitratos CVC	0.759
	Nitratos EMAV	
BOCATOMA	Nitratos CVC	0.847
	Nitratos EMAV	

Cuadro 9: Valores de significancia de los resultados de Nitritos.

TANQUE	Nitritos CVC	0.386
	Nitritos EMAV	
BOCATOMA	Nitritos CVC	0.525
	Nitritos EMAV	

Cuadro 10: Valores de significancia de los resultados de Hierro.

TANQUE	Hierro CVC	0.122
	Hierro EMAV	
BOCATOMA	Hierro CVC	0.120
	Hierro EMAV	

Cuadro 11: Valores de significancia de los resultados de dureza.

TANQUE	dureza CVC	0.320
	dureza EMAV	
BOCATOMA	dureza CVC	0.295
	dureza EMAV	

Cuadro 12: Valores de significancia de los resultados de alcalinidad.

TANQUE	Alcalinidad CVC	0.686
	Alcalinidad EMAV	
BOCATOMA	Alcalinidad CVC	0.918
	Alcalinidad EMAV	

Cuadro 13: Valores de significancia de los resultados de turbiedad.

TANQUE	Turbiedad CVC	0.899
	Turbiedad EMAV	
BOCATOMA	Turbiedad CVC	0.970
	Turbiedad EMAV	

Cuadro 14: Valores de significancia de los resultados de fosfatos.

TANQUE	Fosfatos CVC	0.822
	Fosfatos EMAV	
BOCATOMA	Fosfatos CVC	0.671
	Fosfatos EMAV	

Cuadro 15: Valores de significancia de los resultados de DBO₅.

TANQUE	DBO ₅ CVC	0.461
	DBO ₅ EMAV	
BOCATOMA	DBO ₅ CVC	0.573
	DBO ₅ EMAV	

Cuadro 16: Valores de significancia de los resultados de DQO.

TANQUE	DQO CVC	0.209
	DQO EMAV	
BOCATOMA	DQO CVC	0.964
	DQO EMAV	

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba *t* para cada parámetro, se observa que los valores de significancia son mayores a 0,05; lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los valores experimentales y los de la CVC y por tanto se pueden emplear para determinar la calidad del agua de consumo humano en Usenda.

5.3 ANÁLISIS DE DATOS DE pH EN MUESTRAS DE AGUA

En la *tabla 2* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de pH para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuó cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 2: Resultados de pH en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	8.09	7.89	8.10	7.86	7.57
2	7.85	7.60	7.83	7.62	7.66
3	7.96	7.39	7.59	7.41	7.59
4	7.84	7.59	7.80	7.61	7.71
5	7.62	7.62	7.83	7.60	7.63
Promedio	7.87	7.62	7.83	7.62	7.63
Desviación estándar	0.17	0.18	0.18	0.16	0.06
Coeficiente de variación (%)	2.20	2.34	2.31	2.10	0.73

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Se realizaron una serie de pruebas con el paquete estadístico SPSS, planteando siempre dos Hipótesis: Una Hipótesis Nula (H_0) y una Hipótesis Alternativa (H_a).

Con base en el valor de significancia (sig.), se acepta o rechaza la Hipótesis Nula, de acuerdo a si este valor es mayor o menor de 0,05 respectivamente. Si se rechaza la hipótesis nula, lógicamente se debe aceptar la alternativa en cada prueba.

La prueba de Shapiro Wilk se aplica para determinar si los datos presentan una distribución normal. En los casos que se encuentra normalidad se aplican pruebas paramétricas, de lo contrario se aplica estadística no paramétrica.

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 3*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 3: Prueba de normalidad para valores de pH.

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.867
T2A	0.452
T2B	0.481
BA	0.431
BB	0.866

La prueba *t* representada en la *tabla 4* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 4: Prueba *t* para valores de pH

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
O		
T1	7.87	1.000
T2A	7.62	1.000
T2B	7.83	1.000
BA	7.62	1.000
BB	7.63	0.940

La prueba de Duncan (*Tabla 5*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de pH de los puntos de muestreo.

Tabla 5: Prueba Duncan para valores de pH

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan	
	Subconjunto para $\alpha=0.05$	
	1	2
T2A	7.62	
BA	7.62	
BB	7.63	
T2B	7.83	7.83
T1		7.87
Sig.	0.063	0.677

En términos generales se observa que los resultados obtenidos para la determinación de pH no presentan diferencias significativas entre las réplicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.4 ANÁLISIS DE DATOS DE SULFATOS

En la *Tabla 6* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de sulfatos para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 6: Resultados de sulfatos en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	2.828	2.891	3.016	3.908	3.989
2	2.850	2.811	2.987	3.939	3.921
3	2.872	2.913	2.948	4.082	4.082
4	2.856	2.981	3.019	3.946	4.056
5	2.845	2.953	3.081	4.175	4.012
Promedio	2.850	2.910	3.010	4.010	4.012
Desviación estándar	0.016	0.065	0.049	0.114	0.063
Coefficiente de variación (%)	0.563	2.244	1.621	2.842	1.559

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 7: Prueba de normalidad para valores de Sulfatos

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.976
T2A	0.805
T2B	0.871
BA	0.246
BB	0.874

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 7*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 8: Prueba *t* para valores de Sulfatos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	2.850	0.979
T2A	2.910	0.995
T2B	3.010	0.993
BA	4.010	1.000
BB	4.012	1.000

La prueba T representada en la *Tabla 8* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 9: Prueba Duncan para valores de Sulfatos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
T1	2.850		
T2A	2.910		
T2B		3.010	
BA			4.010
BB			4.012
Sig	0.187	1.000	0.964

La prueba de Duncan (*Tabla 9*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de sulfatos de los puntos de muestreo.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la determinación de sulfatos, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.5 ANÁLISIS DE DATOS DE CLORUROS

En la *Tabla 10* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de cloruros para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 10: Resultados de cloruros en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	2.787	2.515	2.586	2.938	2.876
2	2.876	2.533	2.560	2.864	2.869
3	2.794	2.532	2.581	2.863	2.865
4	2.806	2.543	2.570	2.875	2.862
5	2.787	2.577	2.604	2.809	2.882
Promedio	2.810	2.540	2.580	2.870	2.871
Desviación estándar	0.038	0.023	0.017	0.046	0.008
Coeficiente de variación (%)	1.342	0.905	0.646	1.602	0.284

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 11: Prueba de normalidad para valores de cloruros

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.013
T2A	0.463
T2B	0.959
BA	0.591
BB	0.760

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 11*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 12: Prueba *t* para valores de Cloruros

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	2.810	1.000
T2A	2.540	1.000
T2B	2.580	0.980
BA	2.870	0.993
BB	2.871	0.959

La prueba *t* representada en la *Tabla 12* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 13: Prueba Duncan para valores de Cloruros

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$			
	1	2	3	4
T2A	2.540			
T2B		2.580		
T1			2.810	
BA				2.870
BB				2.871
Sig	1.000	1.000	1.000	0.958

La prueba de Duncan (*Tabla 13*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de cloruros de los puntos de muestreo.

En base a los resultados obtenidos para la determinación de cloruros, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.6 ANÁLISIS DE DATOS DE NITRATOS

En la *Tabla 14* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de nitratos para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 14: Resultados de nitratos en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	0.290	0.300	0.312	0.270	0.250
2	0.280	0.320	0.320	0.240	0.280
3	0.310	0.310	0.332	0.260	0.260
4	0.290	0.330	0.324	0.250	0.240
5	0.320	0.320	0.322	0.270	0.270
Promedio	0.298	0.316	0.322	0.258	0.260
Desviación estándar	0.016	0.011	0.007	0.013	0.052
Coefficiente de variación (%)	5.514	3.608	2.214	5.054	1.836

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 15: Prueba de normalidad para valores de Nitratos

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.490
T2A	0.814
T2B	0.965
BA	0.421
BB	0.967

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 15*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 16: Prueba *t* para valores de Nitratos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	0.298	0.799
T2A	0.316	0.477
T2B	0.322	0.995
BA	0.258	0.749
BB	0.260	1.000

La prueba *t* representada en la *Tabla 16* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 17: Prueba Duncan para valores de Nitratos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
BA	0.260		
BB	0.260		
T1		0.300	
T2A			0.320
T2B			0.320
Sig	0.813	1.000	0.479

La prueba de Duncan (*Tabla 17*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de nitratos de los puntos de muestreo.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para la determinación de nitratos, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.7 ANÁLISIS DE DATOS DE NITRITOS

En la *Tabla 18* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de nitritos para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 18: Resultados de nitritos en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	0.0110	0.0109	0.0123	0.0043	0.0048
2	0.0101	0.0115	0.0131	0.0047	0.0039
3	0.0109	0.0117	0.0129	0.0049	0.0049
4	0.0118	0.0111	0.0127	0.0046	0.0047
5	0.0105	0.0109	0.0130	0.0044	0.0046
Promedio	0.0109	0.0112	0.0128	0.0046	0.0046
Desviación estándar	0.0006	0.0004	0.0003	0.0002	0.0004
Coeficiente de variación (%)	5.845	3.341	2.470	5.213	8.651

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 19: Prueba de normalidad para valores de Nitritos

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.876
T2A	0.111
T2B	0.482
BA	0.899
BB	0.096

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 19*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 20: Prueba *t* para valores de Nitritos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	0.0109	0.895
T2A	0.0112	1.000
T2B	0.0128	1.000
BA	0.0046	0.861
BB	0.0046	0.916

La prueba *t* representada en la *Tabla 20* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 21: Prueba Duncan para valores de Nitritos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan		
	Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
BB	0.0046		
BA	0.0046		
T1		0.0109	
T2A		0.0112	
T2B			0.0128
Sig	1.000	0.209	1.000

La prueba de Duncan (*Tabla 21*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de nitritos de los puntos de muestreo.

Respecto a los resultados obtenidos para la determinación de nitritos, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.8 ANÁLISIS DE DATOS DE HIERRO

En la *Tabla 22* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de hierro para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 22: Resultados de hierro en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	2.35	2.44	2.36	2.81	2.80
2	2.36	2.51	2.37	2.91	2.89
3	2.32	2.50	2.43	2.78	2.78
4	2.40	2.42	2.43	2.88	2.87
5	2.47	2.43	2.35	2.87	2.89
Promedio	2.38	2.46	2.39	2.85	2.85
Desviación estándar	0.058	0.042	0.038	0.053	0.052
Coefficiente de variación (%)	2.432	1.700	1.591	1.873	1.836

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 23: Prueba de normalidad para valores de Hierro

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.611
T2A	0.167
T2B	0.164
BA	0.638
BB	0.124

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 23*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 24: Prueba *t* para valores de Hierro

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	2.38	1.000
T2A	2.46	1.000
T2B	2.39	0.999
BA	2.85	1.000
BB	2.85	0.872

La prueba *t* representada en la *Tabla 24* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 25: Prueba Duncan para valores de Hierro

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan		
	Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
T1	2.38		
T2B	2.39		
T2A		2.46	
BB			2.85
BA			2.85
Sig.	0.752	1.000	0.899

La prueba de Duncan (*Tabla 25*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de hierro de los puntos de muestreo.

En base con los resultados obtenidos para la determinación de hierro, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.9 ANÁLISIS DE DATOS DE DUREZA

En la *Tabla 26* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de dureza para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 26: Resultados de dureza en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	31.360	30.966	30.410	33.457	34.335
2	31.463	30.613	30.507	34.566	33.607
3	31.343	30.806	30.700	33.439	33.439
4	31.197	31.340	29.375	34.288	33.369
5	31.636	30.775	29.509	33.751	34.764
Promedio	31.400	30.900	30.100	33.900	33.903
Desviación estándar	0.163	0.276	0.612	0.506	0.616
Coefficiente de variación (%)	0.518	0.893	2.032	1.493	1.816

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 27: Prueba de normalidad para valores de Dureza

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.894
T2A	0.525
T2B	0.166
BA	0.308
BB	0.237

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 27*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 28: Prueba *t* para valores de Dureza

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	31.400	0.998
T2A	30.900	1.000
T2B	30.100	0.999
BA	33.900	0.999
BB	33.903	0.999

La prueba *t* representada en la *Tabla 28* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 29: Prueba Duncan para valores de Dureza

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
T2B	30.100		
T2A		30.900	
T1		31.400	
BA			33.900
BB			33.903
Sig	1.000	0.109	0.993

La prueba de Duncan (*Tabla 29*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de dureza de los puntos de muestreo.

En base con los resultados obtenidos para la determinación de dureza, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.10 ANÁLISIS DE DATOS DE SST

Este parámetro fue realizado por el laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle, debido a que los resultados entregados para este parámetro no presentan replicas suficientes, no se hizo el respectivo análisis estadístico.

5.11 ANÁLISIS DE DATOS DE ALCALINIDAD

En la *Tabla 30* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de alcalinidad para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 30: Resultados de alcalinidad en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	31.523	31.525	30.885	32.784	32.826
2	31.547	30.840	31.003	32.909	32.786
3	31.341	30.829	30.991	32.897	32.808
4	31.508	30.802	30.965	32.869	32.925
5	31.581	31.503	30.656	32.541	32.664
Promedio	31.500	31.100	30.900	32.800	32.802
Desviación estándar	0.093	0.378	0.144	0.153	0.093
Coefficiente de variación (%)	0.296	1.216	0.466	0.466	0.285

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 31: Prueba de normalidad para valores de Alcalinidad

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk Sig.
T1	0.859
T2A	0.016
T2B	0.016
BA	0.070
BB	0.781

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 31*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 32: Prueba *t* para valores de Alcalinidad

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	31.500	1.000
T2A	31.100	1.000
T2B	30.900	1.000
BA	32.800	1.000
BB	32.802	1.000

La prueba *t* representada en la *Tabla 32* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 33: Prueba Duncan para valores de Alcalinidad

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
T2B	30.900		
T2A	31.100		
T1		31.540	
BA			32.800
BB			32.802
Sig	0.127	1.000	0.988

La prueba de Duncan (*Tabla 33*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de alcalinidad de los puntos de muestreo.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la determinación de alcalinidad, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.12 ANÁLISIS DE DATOS DE TURBIEDAD

En la *Tabla 34* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de turbiedad para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 34: Resultados de Turbiedad en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	23.7	22.5	23.8	19.2	19.0
2	24.0	22.3	23.5	19.0	18.8
3	23.9	22.9	23.2	19.0	19.4
4	23.6	23.2	23.5	19.8	19.8
5	23.8	23.2	23.5	18.9	19.0
Promedio	23.8	22.8	23.5	19.2	19.2
Desviación estándar	0.13	0.31	0.21	0.38	0.43
Coeficiente de variación (%)	0.56	1.81	0.88	1.96	2.26

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 35: Prueba de normalidad para valores de Turbiedad

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.953
T2A	0.368
T2B	0.480
BA	0.160
BB	0.416

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 35*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 36: Prueba *t* para valores de Turbiedad

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	23.8	0.997
T2A	23.8	0.999
T2B	23.5	0.998
BA	19.2	0.999
BB	19.2	0.999

La prueba *t* representada en la *Tabla 36* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 37: Prueba Duncan para valores de Turbiedad

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
BA	19.2		
BB	19.2		
T2A		22.8	
T2B			23.5
T1			23.8
Sig	0.994	1.000	0.173

La prueba de Duncan (*Tabla 37*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de turbiedad de los puntos de muestreo.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la determinación de turbiedad no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.13 ANÁLISIS DE DATOS DE FOSFATOS

En la *Tabla 38* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de fosfatos para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 38: Resultados de fosfatos en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	0.0589	0.0611	0.0612	0.0616	0.0640
2	0.0563	0.0594	0.0633	0.0614	0.0611
3	0.0613	0.0637	0.0657	0.0658	0.0633
4	0.0559	0.0624	0.0644	0.0644	0.0624
5	0.0577	0.0634	0.0654	0.0619	0.0648
Promedio	0.0580	0.0620	0.0640	0.0630	0.0631
Desviación estándar	0.0022	0.0018	0.0018	0.0020	0.0014
Coefficiente de variación (%)	3.765	2.860	2.853	3.126	2.272

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 39: Prueba de normalidad para valores de Fosfatos

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.606
T2A	0.569
T2B	0.511
BA	0.151
BB	0.955

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 39*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 40: Prueba *t* para valores de Fosfatos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	0.0580	0.985
T2A	0.0620	1.000
T2B	0.0640	1.000
BA	0.0630	0.983
BB	0.0631	0.977

La prueba *t* representada en la *Tabla 40* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 41: Prueba Duncan para valores de Fosfatos

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan	
	Subconjunto $\alpha=0.05$	
	1	2
T1	0.0580	
T2A		0.0620
BA		0.0630
BB		0.0631
T2B		0.0640
Sig.	1.000	0.132

La prueba de Duncan (*Tabla 41*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de fosfatos de los puntos de muestreo.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la determinación de fosfatos, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.14 ANÁLISIS DE DATOS DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

En la *Tabla 42* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de DBO₅ para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 42: Resultados de DBO₅ en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	0.966	1.215	1.912	1.863	1.865
2	0.993	1.222	1.855	1.873	1.870
3	0.965	1.203	1.826	1.819	1.817
4	1.014	1.227	1.860	1.881	1.883
5	0.962	1.183	1.797	1.814	1.815
Promedio	0.980	1.210	1.850	1.850	1.850
Desviación estándar	0.023	0.018	0.043	0.031	0.032
Coefficiente de variación (%)	2.321	1.453	2.315	1.691	1.715

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 43: Prueba de normalidad para valores de DBO₅

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.127
T2A	0.569
T2B	0.897
BA	0.183
BB	0.151

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 43*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 44: Prueba *t* para valores de DBO₅

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	0.980	1.000
T2A	1.210	1.000
T2B	1.850	0.999
BA	1.850	1.000
BB	1.850	1.000

La prueba *t* representada en la *Tabla 44* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 45: Prueba Duncan para valores de DBO₅

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan		
	Subconjunto $\alpha=0.05$		
	1	2	3
T1	0.980		
T2A		1.210	
T2B			1.850
BA			1.850
BB			1.850
Sig.	1.000	1.000	0.999

La prueba de Duncan (*Tabla 45*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de DBO₅ de los puntos de muestreo.

Teniendo en cuenta los obtenidos para la determinación de la DBO₅, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.15 ANÁLISIS DE DATOS DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

En la *Tabla 46* se describen los resultados obtenidos en el proceso de determinación de DQO para evaluar la calidad de las muestras de agua. Se efectuaron cinco análisis por cada muestra en iguales condiciones operativas.

Tabla 46: Resultados de DQO en términos de repetibilidad

Ensayo	PUNTO DE MUESTREO				
	T1	T2A	T2B	BA	BB
1	4.805	4.764	4.908	5.223	5.220
2	4.849	4.656	4.797	5.105	5.110
3	4.826	4.784	4.959	5.080	5.080
4	4.798	4.666	4.961	5.115	5.111
5	4.822	4.780	4.924	5.076	5.080
Promedio	4.820	4.730	4.910	5.120	5.120
Desviación estándar	0.020	0.064	0.067	0.060	0.058
Coeficiente de variación (%)	0.414	1.343	1.365	1.172	1.129

Los análisis realizados tienen desviación estándar y coeficiente de variación adecuados para establecer que el método es preciso desde la repetibilidad.

Tabla 47: Prueba de normalidad para valores de DQO

PUNTO DE MUESTREO	Shapiro-Wilk
	Sig.
T1	0.772
T2A	0.061
T2B	0.114
BA	0.058
BB	0.033

Se aplican pruebas paramétricas debido a que la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk (*Tabla 47*), indica que los datos se ajustan a la normalidad.

Tabla 48: Prueba *t* para valores de DQO

PUNTO DE MUESTREO	Prueba <i>t</i>	
	Media	Sig.
T1	4.82	1.000
T2A	4.73	1.000
T2B	4.91	0.995
BA	5.12	0.994
BB	5.12	0.994

La prueba *t* representada en la *Tabla 48* muestra que no existen diferencias significativas entre las medias.

Tabla 49: Prueba Duncan para valores de DQO

PUNTO DE MUESTREO	Prueba Duncan			
	Subconjunto $\alpha=0.05$			
	1	2	3	4
T2A	4.73			
T1		4.82		
T2B			4.91	
BA				5.12
BB				5.12
Sig.	1.000	1.000	1.000	0.991

La prueba de Duncan (*Tabla 49*) indica que como era de esperarse no existe diferencia significativa entre cada uno de los valores de DQO de los puntos de muestreo.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la determinación de la DQO, no se presentan diferencias significativas entre las replicas en cada punto de muestreo, por lo que se pueden emplear los datos para determinar la calidad del agua.

5.16 ANÁLISIS DE DATOS DE COLIFORMES TOTALES Y *E. coli*

Los resultados obtenidos para coliformes totales y coliformes fecales (*Escherichia coli*) dieron valores iguales a los obtenidos en el laboratorio de CVC (ver cuadro 4), lo cual establece que dichos resultados son confiables y pueden emplearse para la determinación de la calidad del agua del centro poblado Usenda.

Adicionalmente como análisis experimental se realizó la determinación de *Salmonella spp.*, *Pseudomonas Aeruginosa* y *Enterococci* fecal, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 17

Cuadro 17: Resultados experimentales de los parámetros microbiológicos

Parámetro	SITIO DE MUESTREO				
	BA	BB	T1	T2A	T2B
Coliformes totales (UFC/100 cm ³)	2	2	0	5	3
Coliformes fecales (UFC/100 cm ³) (<i>Escherichia coli</i>)	0	0	0	0	0
Microorganismos mesofílicos (UFC/100 cm ³)	55	54	15	56	58
<i>Salmonella spp.</i> (UFC/100 cm ³)	0	0	0	0	0
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i> ISO 8360-1	0	0	0	0	0
Enterococci fecal ISO 7899-1	0	0	0	0	0

De acuerdo al análisis estadístico realizado a los datos obtenidos, se deduce que pueden emplearse para determinar la calidad del agua usada para consumo humano en el centro poblado de Usenda. Sin embargo para garantizar la credibilidad de los resultados, se realizó una contramuestra con el laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), el cual se encuentra acreditado en los diversos parámetros. La comparación de los resultados se muestra en el cuadro 4.

5.17 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO (IRCA).

Para el cálculo del IRCA se asignó el puntaje de riesgo contemplado (Cuadro 18) cada característica física, química y microbiológica, por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos en la resolución 2115 de 2007.

Cuadro 18: Puntajes de riesgo para características fisicoquímicas y microbiológicas.

CARACTERÍSTICA	PUNTAJE DE RIESGO
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1.5
Cloro residual libre	15
Alcalinidad total	1

Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1
Dureza total	1
Sulfatos	1
Hierro total	1.5
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la resolución 2115 de 2007 y además cien (100) puntos para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

Para calcular el IRCA se tiene la siguiente fórmula:

$$IRCA (\%) = \frac{S \text{ Puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables}}{S \text{ Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Teniendo en cuenta la comparación entre los valores obtenidos con los valores máximos aceptables establecidos en el decreto, se calcula el índice del IRCA para cada punto de muestreo. (ver cuadro 19).

Cuadro 19: Valores aceptables para cada característica comparados con los obtenidos experimentalmente en cada punto de muestreo.

Características	Unidades	Valor máx. aceptable	T1	T2A	T2B	BA	BB
Turbiedad	UNT	2	23.800	22,800	23.500	19.200	19.202
pH	Unidades de pH	6.5-9.0	7.87	7,62	7.83	7.62	7.63
Nitritos(NO ²⁻)	mg/L	0.1	0.0109	0.0112	0.0128	0.0046	0.0046
Nitratos (NO ³⁻)	mg/L	10	0.298	0.316	0.322	0.260	0.260
Alcalinidad total (CaCO ₃)	mg/L	200	31.500	31.100	30.900	32.800	32.802
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250	2.810	2.540	2.580	2.870	2.871

Dureza total (CaCO ₃)	mg/L	300	31.400	30.900	30.100	33.900	33.903
Hierro total (Fe)	mg/L	0.3	2.38	2.46	2.39	2.85	2.85
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250	2.850	2.910	3.010	4.010	4.012
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.5	0.0580	0.0620	0.0640	0.0630	0.0631
Coliformes totales	micr/100cm ³	0	1	3	5	2	2
Escherichia coli	micr/100cm ³	0	0	0	0	0	0

En negrilla, se encuentran los valores de los parámetros que sobrepasan los máximos permitidos en agua para consumo humano.

5.17.1 Cálculo IRCA (%) para T1

$$IRCA (\%) = \frac{1,5 + 15 + 15}{66} \times 100$$

$$IRCA (\%) = 47,73$$

El 47,73% es el valor del índice del IRCA para el punto de muestreo T1, el cual se encuentra en un nivel de riesgo alto (35,1- 80), que indica que el agua no es apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora, de los alcaldes y gobernadores

5.17.2 Cálculo IRCA (%) para T2A y T2B

$$IRCA (\%) = \frac{1,5 + 15 + 15}{66} \times 100$$

$$IRCA (\%) = 47,73$$

El 47,63 % es el valor del índice del IRCA para el punto de muestreo T2A y para el punto T2B. Este valor se encuentra en un nivel de riesgo alto (35,1-80), que indica que el agua no es apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora, de los alcaldes y gobernadores respectivos.

5.17.3 Cálculo IRCA (%) para BA y BB

$$IRCA (\%) = \frac{1,5 + 15 + 15}{66} \times 100$$

$$IRCA (\%) = 47,73$$

El 47,63 % es el valor del índice del IRCA para el punto de muestreo BA y BB, el cual se encuentra en un nivel de riesgo alto (35,1-80), que indica que el agua no es apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.

6 CONCLUSIONES

- El agua es indispensable en la vida de todos los seres humanos, por tanto es importante determinar la calidad del agua de consumo humano que abastece sectores en donde no hay acceso de agua potable para proteger la salud de todos los seres humanos.
- La normatividad Colombiana establece los parámetros que se requieren para determinar la calidad del agua de consumo humano, los respectivos valores aceptables y el IRCA, entre los que se encuentran la resolución 2115 de 2007 y los decretos 475 de 1998, 3930 de 2010, 1594 de 1984 y el 1575 de 2007. Teniendo en cuenta el análisis realizado para el agua de Usenda, se encontró que dicha agua no es apta para consumo humano, debido a que representa un nivel de riesgo medio y alto para la salud de los consumidores.
- Los resultados de la prueba t para datos relacionados de cada uno de los parámetros analizados, dieron valores de significancia mayor a 0,05, lo cual indica que no hay diferencia significativa entre los valores experimentales (EMAV) y los obtenidos en el laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); por tanto los valores experimentales pueden emplearse para determinar la calidad del agua de consumo humano en el centro poblado Usenda.
- Los valores obtenidos para los parámetros de turbiedad y hierro total en los cinco puntos de muestreo establecidos, sobrepasan los límites aceptables por la normatividad colombiana, lo que incide directamente en el cálculo del índice del IRCA, dando valores que corresponde a un nivel de riesgo alto para los puntos de la Bocatoma y un nivel de riesgo medio en los puntos de muestreo de los Tanques.
- Los valores obtenidos para coliformes totales en cuatro puntos de muestreo excepto en T1, sobrepasan los límites aceptables permitidos por la normatividad colombiana, lo cual implica riesgos para la salud de los habitantes del centro poblado Usenda.
- Los valores obtenidos para pH, nitritos, nitratos, alcalinidad total, cloruros, dureza total, sulfatos, fosfatos y *Escherichia coli* están por debajo de los límites establecidos por la normatividad colombiana.
- El porcentaje del IRCA obtenido para el punto de muestreo T1 corresponde al nivel de riesgo medio, lo cual indica que el agua no es apta para consumo humano y por tanto se deben tomar las medidas necesarias iniciando por la gestión directa de la persona o empresa prestadora del servicio.

- El porcentaje del IRCA obtenido para los puntos de muestreo T2A, T2B, BB y BA corresponden al nivel de riesgo alto, lo cual indica que el agua no es apta para consumo humano y por tanto se deben tomar las medidas necesarias a cargo de la persona o empresa prestadora, alcaldes y gobernadores respectivos.
- Los análisis realizados experimentalmente (EMAV) dieron valores confiables, debido a que no se presentan diferencias significativas con los resultados obtenidos por el laboratorio certificado de la Corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC).

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta pasantía, se recomienda para trabajos posteriores a la alcaldía del municipio de Silvia-Cauca lo siguiente:

- Realizar dos muestreos en diferentes condiciones climáticas de manera que se puedan establecer mayor número de muestras representativas, con el fin de realizar un cálculo del índice IRCA más detallado, para garantizar los resultados de la calidad del agua de consumo humano en Usenda.
- Emplear las metodologías que se utilizaron en este trabajo, ya que los resultados obtenidos mostraron concordancia y no presenten diferencias significativas al compararlos con un laboratorio certificado como la CVC.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cardona, H. Régimen jurídico de las aguas en Colombia. 2003
- [2] Arizona Water Research Center. Manual de Campo para el muestreo de la calidad del agua, 1995.
- [3] Vargas, C. Rojas, R. Casas, J. Control y vigilancia de la calidad del agua de consumo humano. 1992
- [4] DINAMA-laboratorio. Manual de procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes. MVOTMA/ http://www.dinama.gub.uy/descargas/doc_tecnicos/principal.pdf, 1996.
- [5] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21ed., United States of America, 2005.
- [6] Guevara, A. Control de calidad de aguas. Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y Ciencias del medio ambiente (CEPIS). 1996.
- [7] Rodier, J. Análisis de aguas, Ediciones Omega S.A. Barcelona, 1989.
- [8] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 20ed., United States of America, 1990.
- [9] EPA. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual, 1997.
<http://www.epa.gov/owow/monitoring/volunteer/stream/>.
- [10] Métodos Analíticos estandarizados para el seguimiento de calidad de agua. P 55-60. 1996
- [11] Métodos oficiales de análisis de alimentos, Madrid Vicente Ediciones y Mundi-Prensa libros S.A, Madrid, 1994, p 353-355
- [12] Cárdenas, J. Documentos sobre calidad de aguas-Alcalinidad
http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap10.pdf. 2012
- [13] Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, United States, Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.
- [14] Bergey's . Williams, W. Manual of Determinative Bacteriology, Baltimore, 1994.
- [15] M.T. Madigan, J.M. Martinko y Parker J. Broca, Biología de los Microorganismos, Prentice Hall, Madrid, 2004.

- [16] Martínez, A. SPSS Para Todos. Creado por SPSS FREE. Bogotá- Colombia. 2007. p. 11-44.
- [17] Delgado, M. Hernández, A. Hormigo, A. Hardisson, R. Alvarez, M. Análisis microbiológico y fisicoquímico del agua de piscinas de la isla de tenerife. Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina.Universidad de La Laguna.1992.
- [18].Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 1575 de 2007.
- [19] Colombia, Ministerio de Salud y Ministerio de Desarrollo Económico. Decreto 475 de 1998, Normas técnicas de la calidad del agua potable,10 de Marzo 1998.
- [20] Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 de 2010, Usos del agua y residuos líquidos y otras disposiciones, 25 de Octubre 2010.
- [21] Colombia, Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Resolución 2115 de 2007. Características, Instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, 22 de Junio de 2007.
- [22] *Clair, N. Sawyer. Perry, L. McCarty. Gene, F. Parkin.* Química Para Ingeniería Ambiental. 4ta edición. 2001
- [23] Colombia, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 1594 de 1984, Usos del agua y residuos líquidos.
- [24] CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). Control de Calidad del Agua de Lima, SEDAPAL,1992.
- [25] Diagnostico de calidad de agua para consumo humano. Defensoría del pueblo. 2006
- [26] Normas Oficiales para la calidad del agua en Colombia. Norma Técnica de Colombia. 2007
- [27] Gallo, L. Rosas, D. Zamar, S. Nickisch, M. Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego). 2011
- [28] Guías de la calidad del agua para consumo humano. Tercera Ed. Organización Mundial de la Salud. 2011
- [29] Guías para la calidad del agua potable, Organización mundial de la salud, volumen 1, tercera edición, 2006.

[30] E.J. Fricker, C.R. Fricker, Use of defined substrate technology and a novel procedure for estimating the numbers of enterococci in water, Thames Water Utilities Ltd., Received 12 June 1996; revised 13 September 1996; accepted 27 September 1996.

[31] Guías de laboratorio ambiental, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GUIAS del RUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL.

[32] Manual de análisis de aguas. Gloria Inés Giraldo. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 1995

[32] RODIER, J. Análisis de Aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona, 1981.

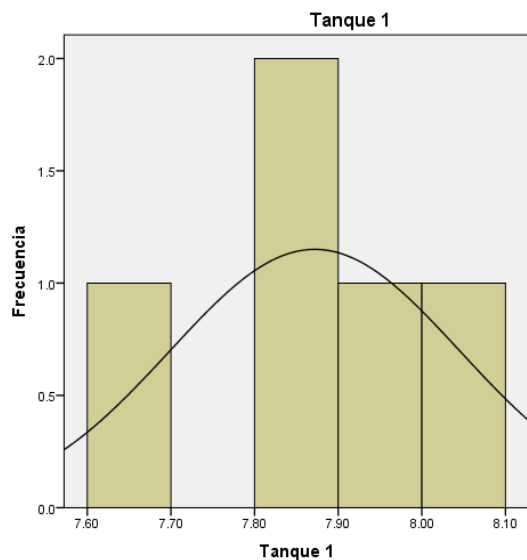
[33] Bartram J *et al.* (eds.), 2003: *Heterotrophic plate counts and drinking-water safety: the significance of HPCs for water quality and human health*. Serie de la OMS *Emerging Issues in Water and Infectious Disease*. Londres (Reino Unido), IWA Publishing.

[34] Victorica J, Galván M, 2001: *Pseudomonas aeruginosa* as an indicator of health risk in water for human consumption. *Water Science and Technology*, 43:49–52.

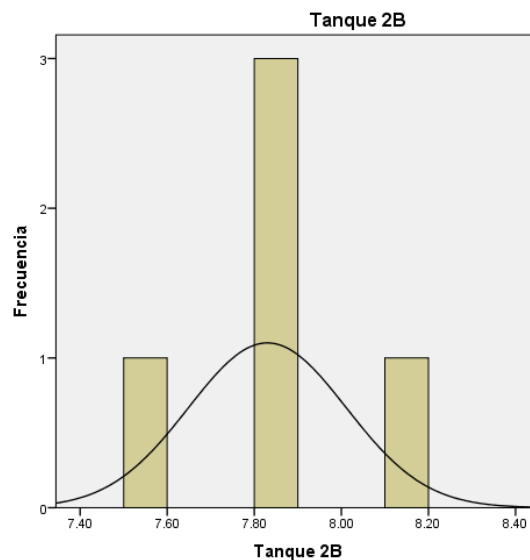
[35] Hardalo C y Edberg SC, 1997: *Pseudomonas aeruginosa*: Assessment of risk from drinking-water. *Critical Reviews in Microbiology*, 23:47–75.

ANEXOS

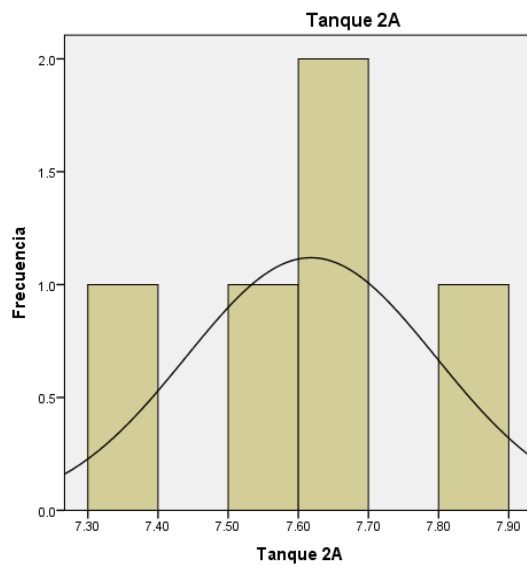
Anexo 1. Histograma para valores de pH en T1.



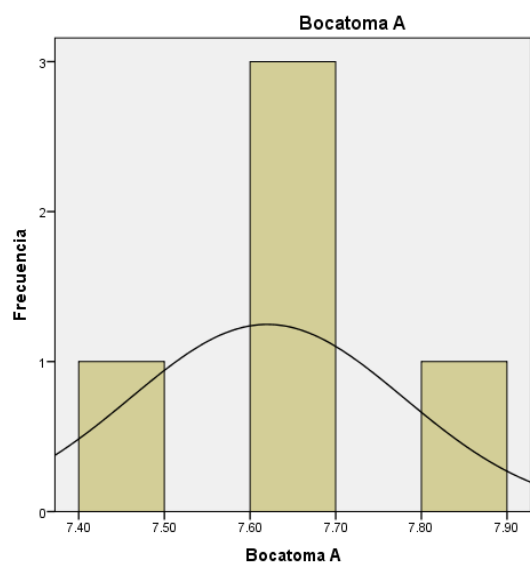
Anexo 3. Histograma para valores de pH en T2B.



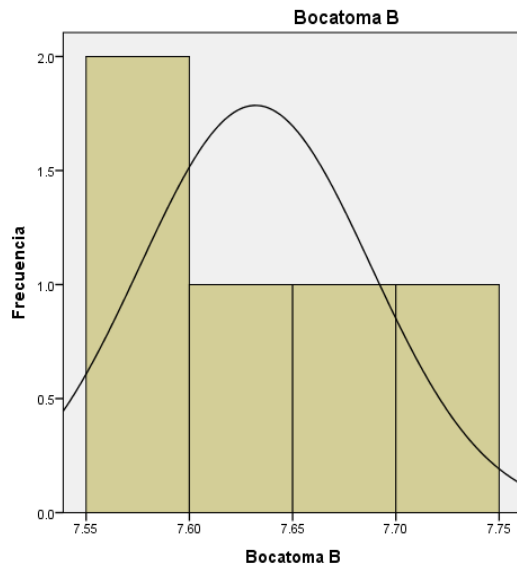
Anexo 2. Histograma para valores de pH en T2A.



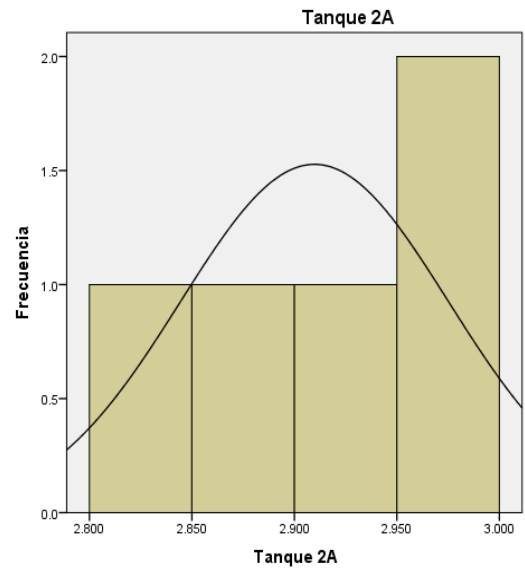
Anexo 4. Histograma para valores de pH en BA.



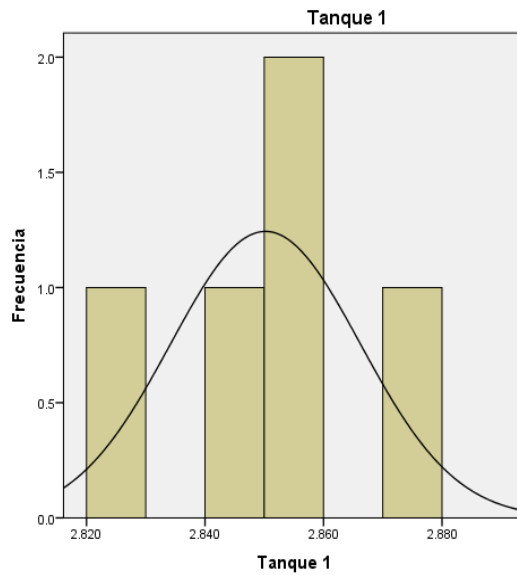
Anexo 5. Histograma para valores de pH en BB.



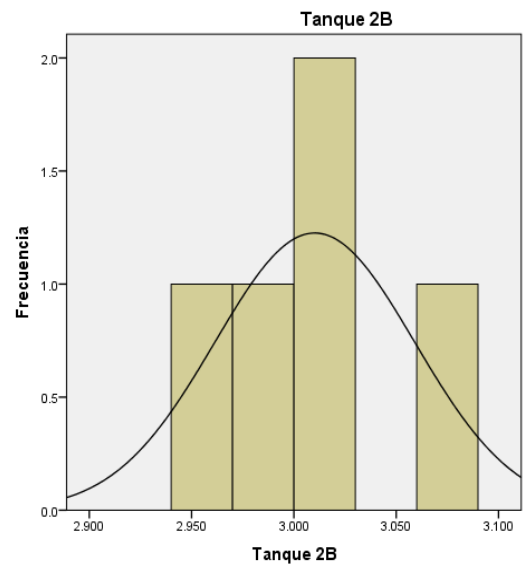
Anexo 7. Histograma para valores de Sulfatos en T2A.



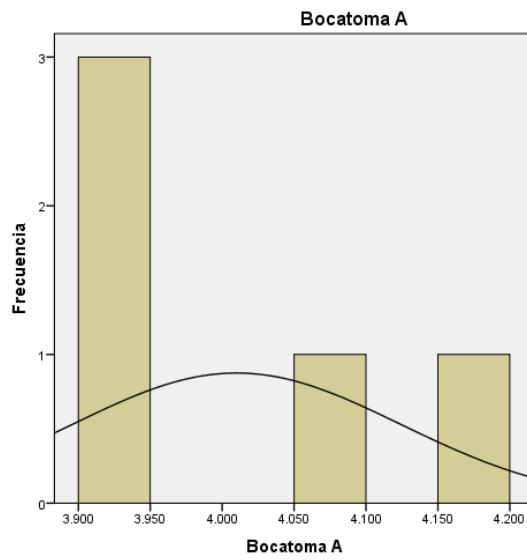
Anexo 6. Histograma para valores de Sulfatos en T1.



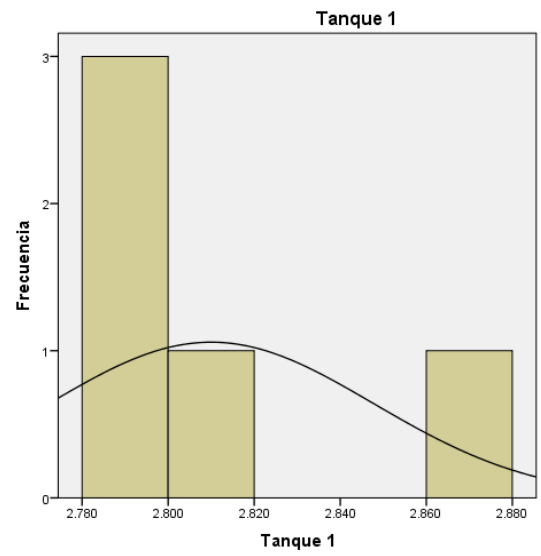
Anexo 8. Histograma para valores de Sulfatos en T2B.



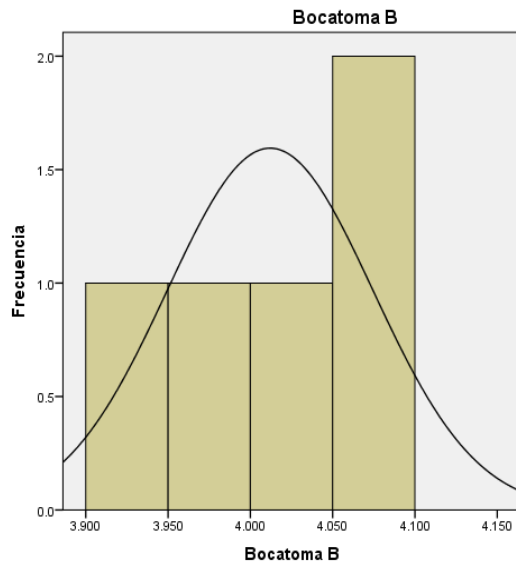
Anexo 9. Histograma para valores de Sulfatos en BA.



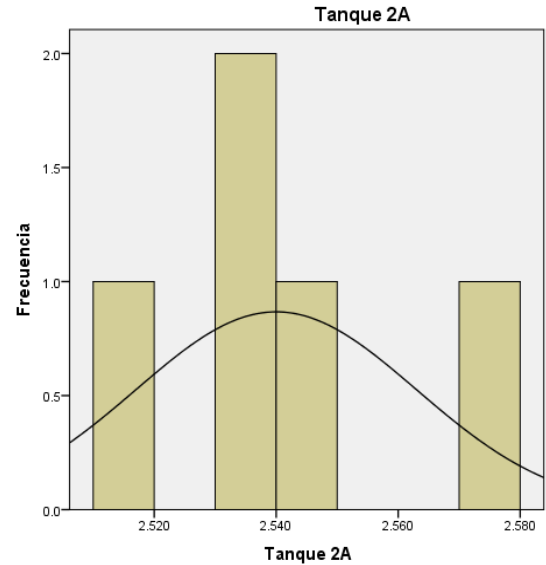
Anexo 11. Histograma para valores de Cloruros en T1.



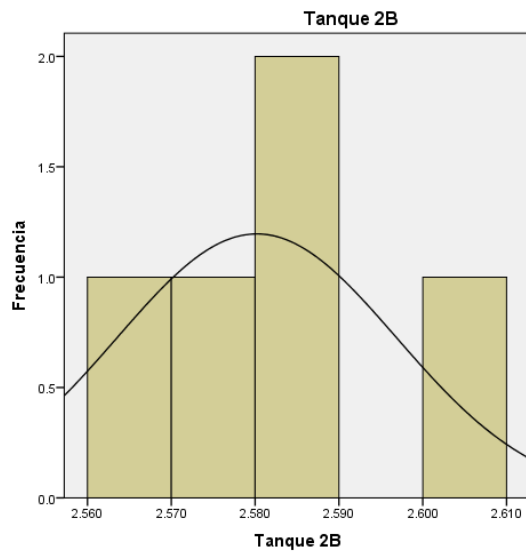
Anexo 10. Histograma para valores de Sulfatos en BB.



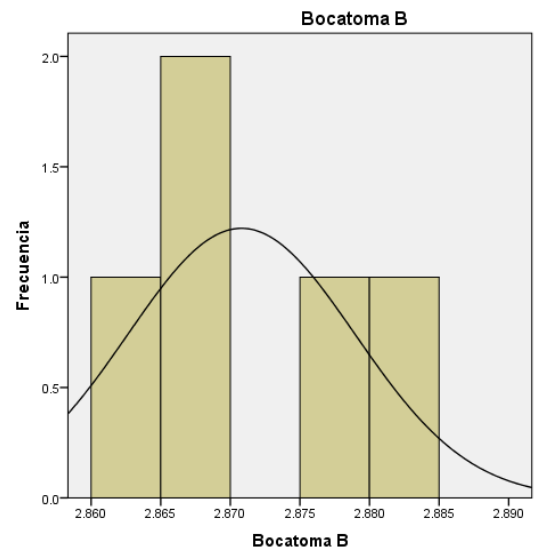
Anexo 12. Histograma para valores de Cloruros en T2A.



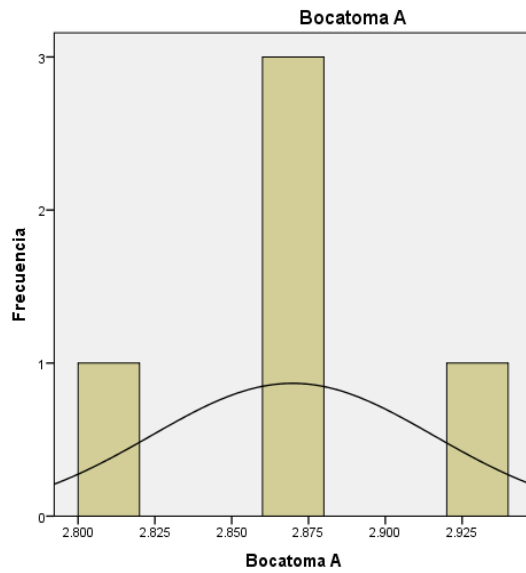
Anexo 13. Histograma para valores de Cloruros en T2B.



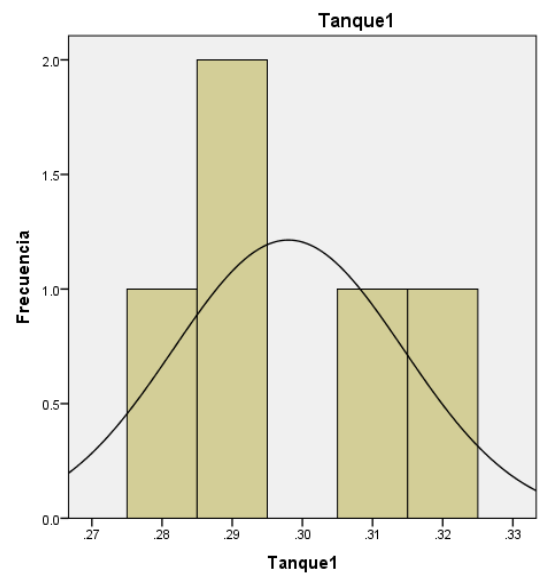
Anexo 15. Histograma para valores de Cloruros en BB.



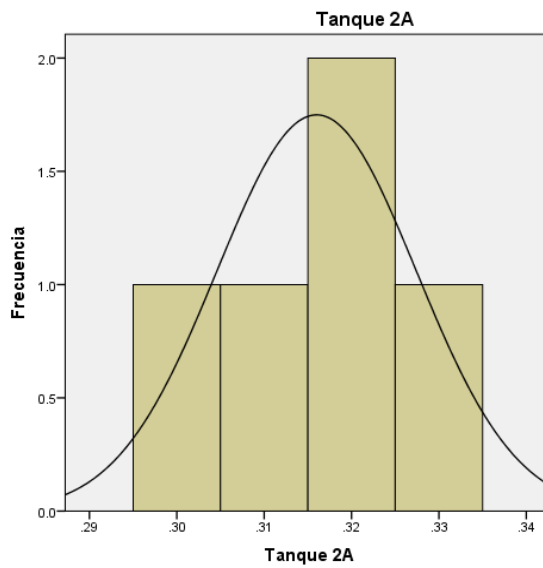
Anexo 14. Histograma para valores de Cloruros en BA.



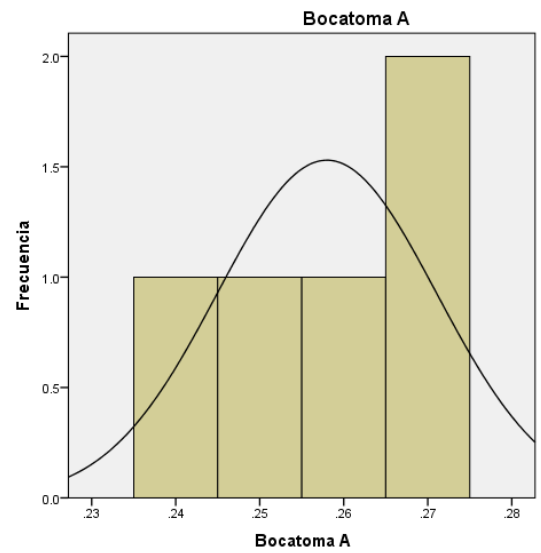
Anexo 16. Histograma para valores de Nitratos en T1.



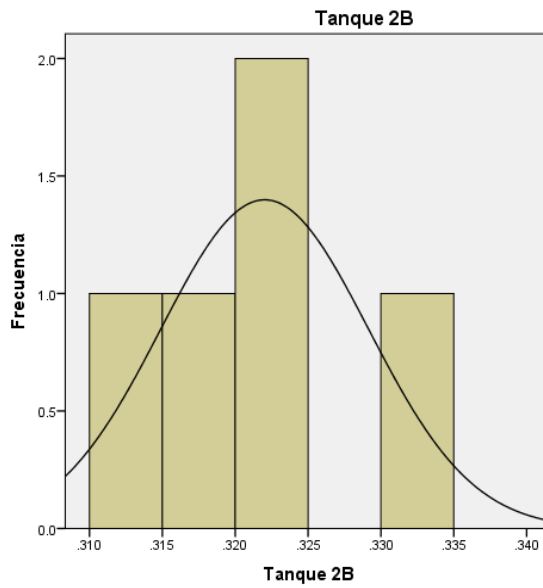
Anexo 17. Histograma para valores de Nitratos en T2A.



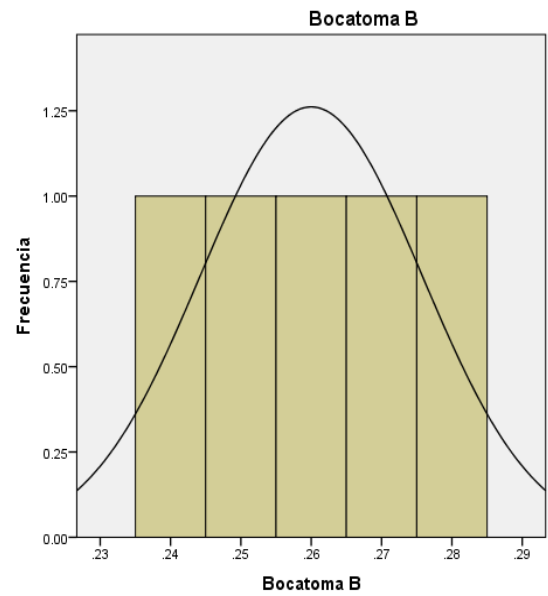
Anexo 19. Histograma para valores de Nitratos en BA.



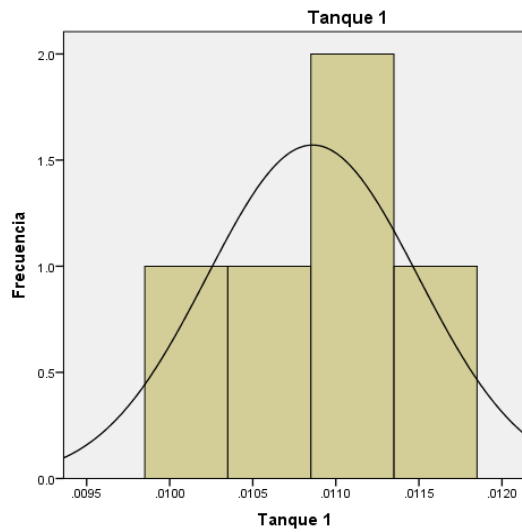
Anexo 18. Histograma para valores de Nitratos en T2B.



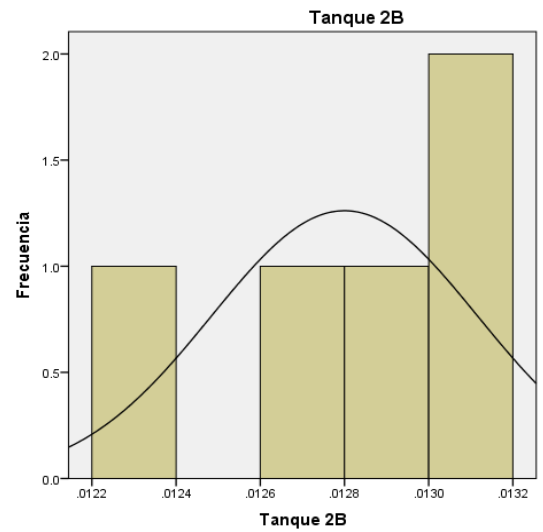
Anexo 20. Histograma para valores de Nitratos en BB.



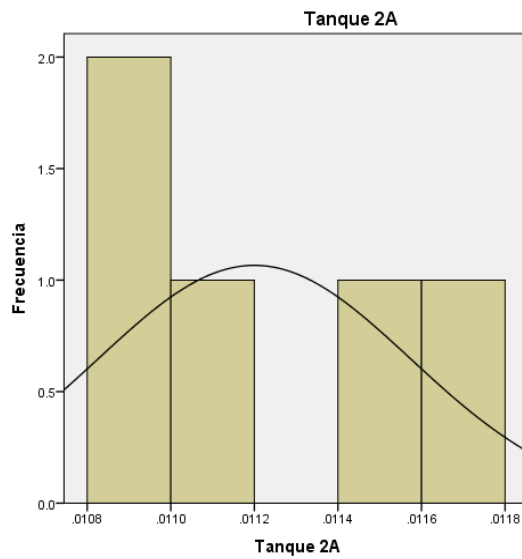
Anexo 21. Histograma para valores de Nitritos en T1.



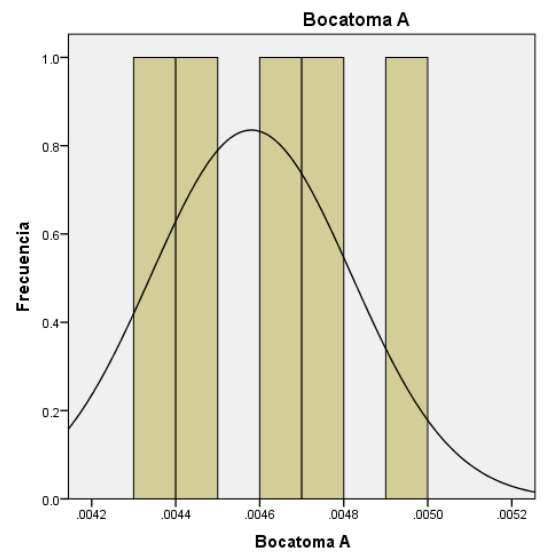
Anexo 23. Histograma para valores de Nitritos en T2B.



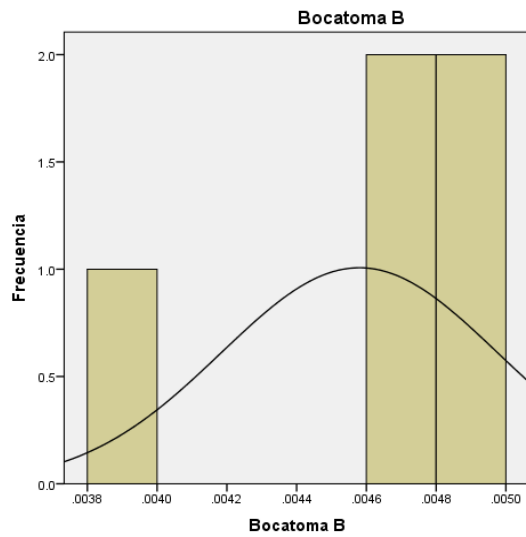
Anexo 22. Histograma para valores de Nitritos en T2A.



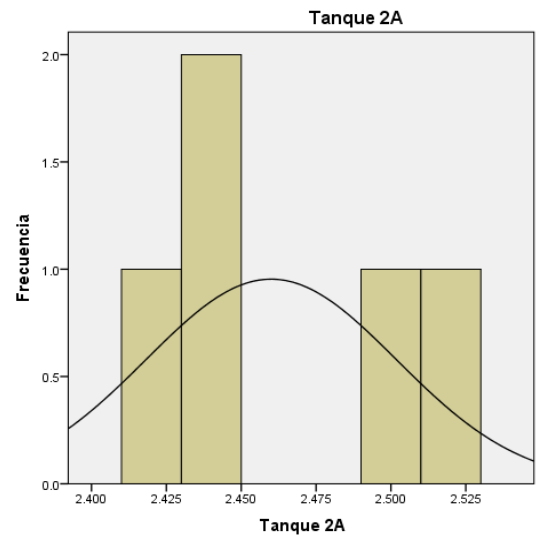
Anexo 24. Histograma para valores de Nitritos en BA.



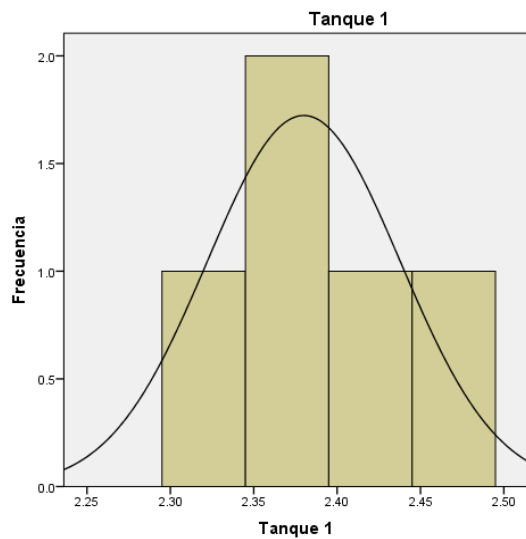
Anexo 25. Histograma para valores de Nitritos en BB.



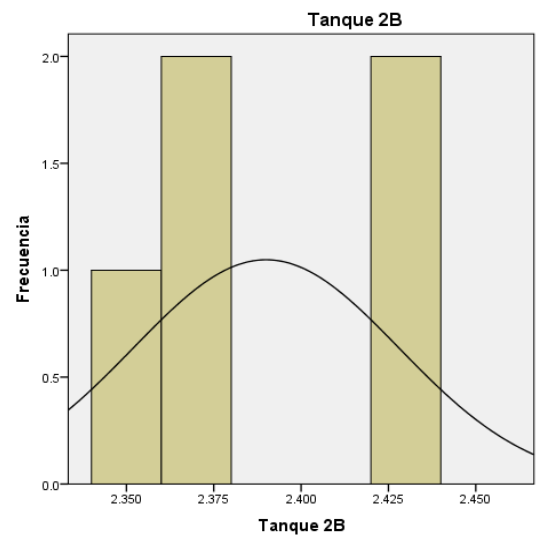
Anexo 27. Histograma para valores de Hierro en T2A.



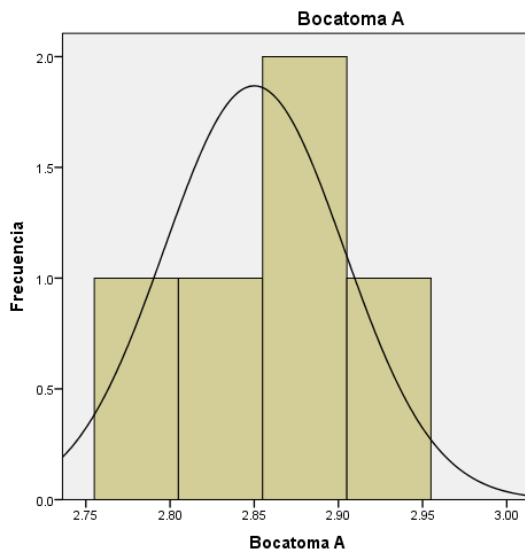
Anexo 26. Histograma para valores de Hierro en T1.



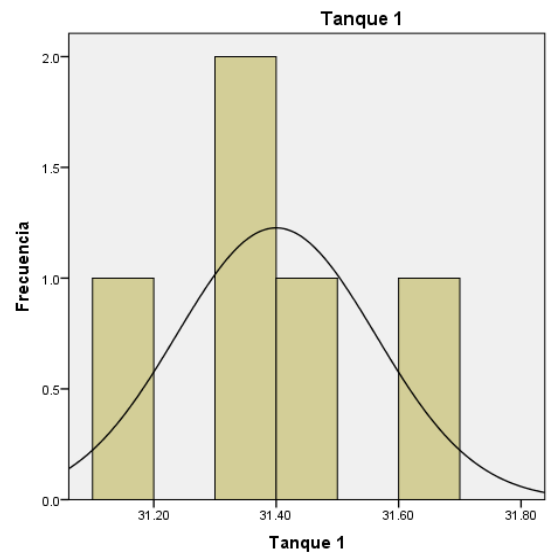
Anexo 28. Histograma para valores de Hierro en T2B.



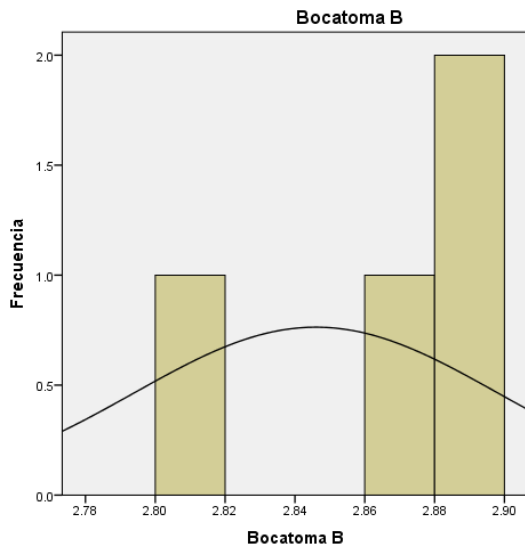
Anexo 29. Histograma para valores de Hierro en BA.



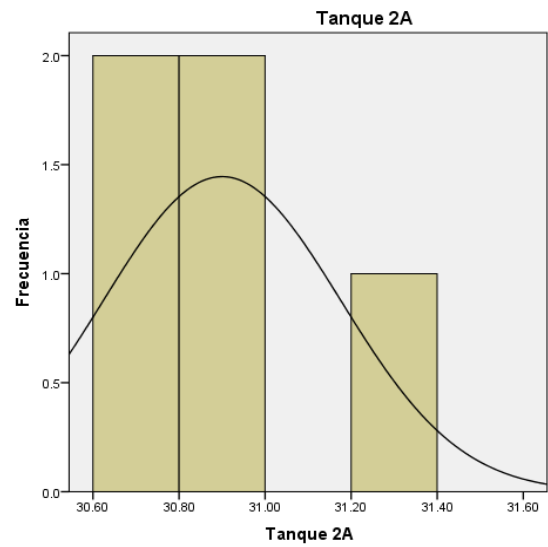
Anexo 31. Histograma para valores de Dureza en T1.



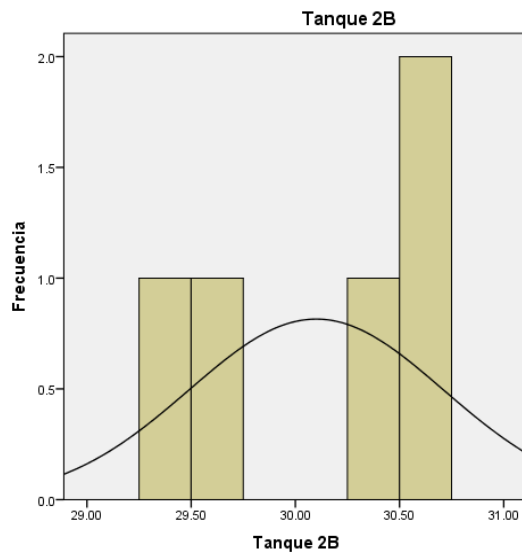
Anexo 30. Histograma para valores de Hierro en BB.



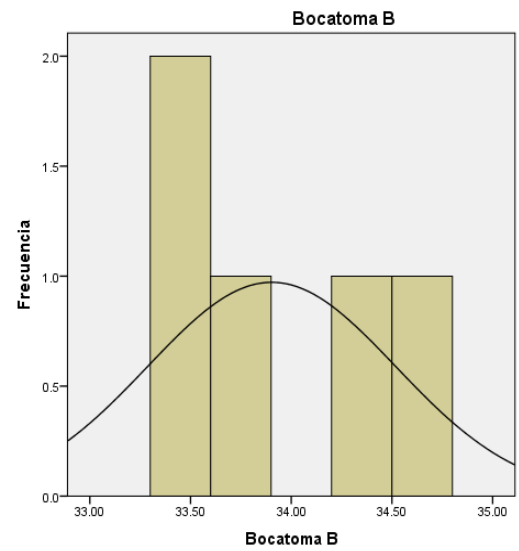
Anexo 32. Histograma para valores de Dureza en T2A.



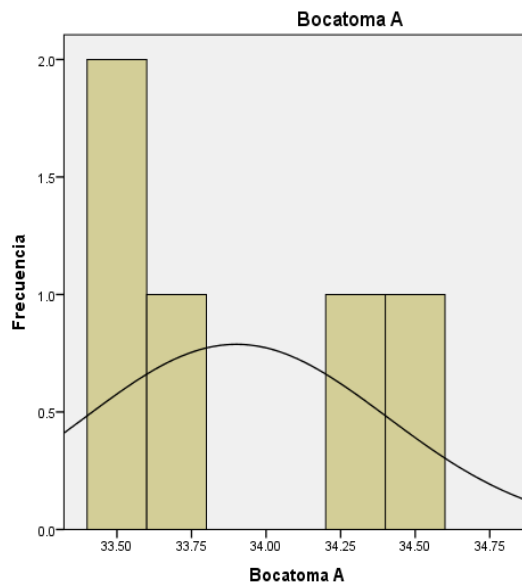
Anexo 33. Histograma para valores de Dureza en T2B.



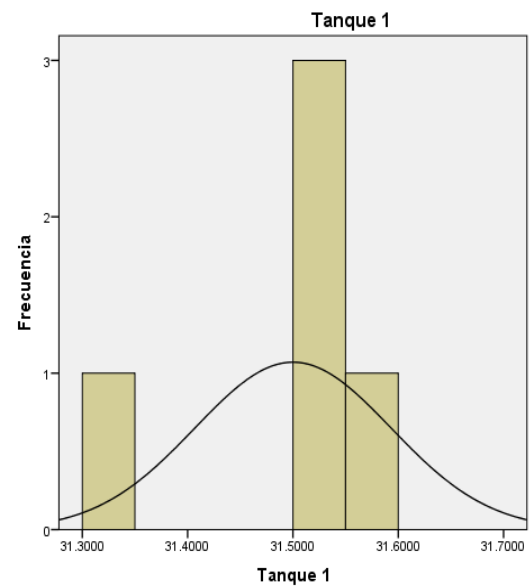
Anexo 35. Histograma para valores de Dureza en BB.



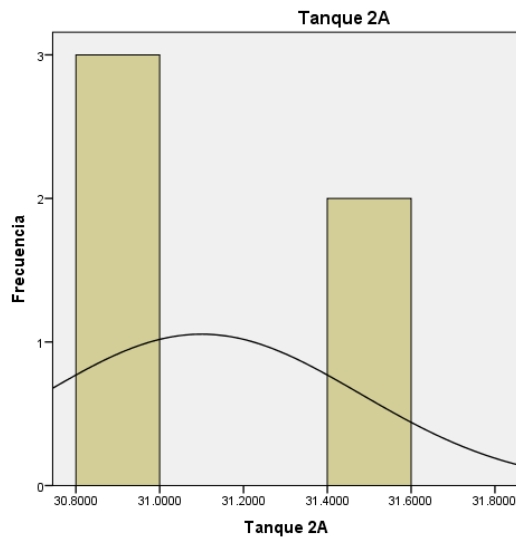
Anexo 34. Histograma para valores de Dureza en BA.



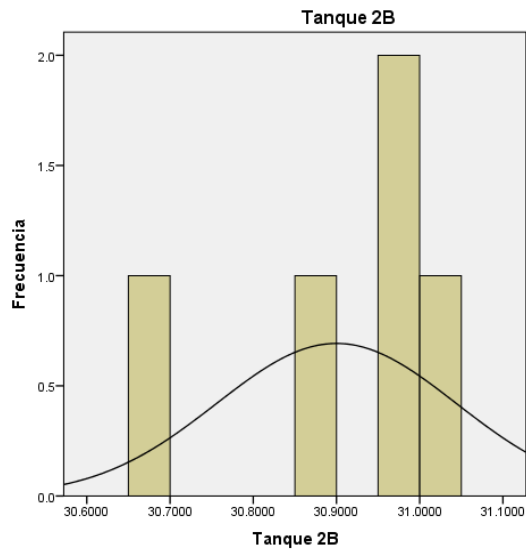
Anexo 36. Histograma para valores de Alcalinidad en T1.



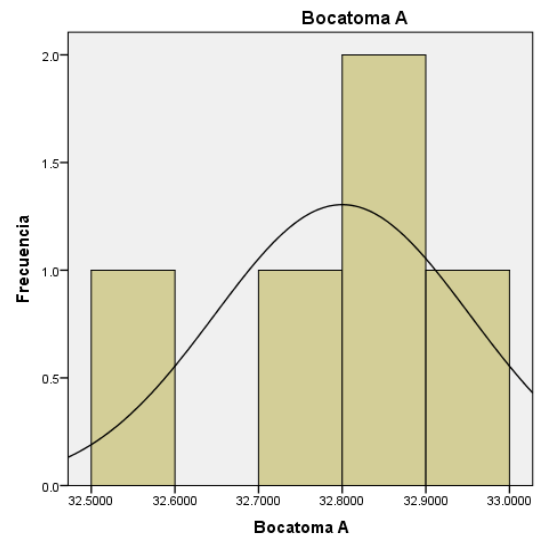
Anexo 37. Histograma para valores de Alcalinidad en T2A.



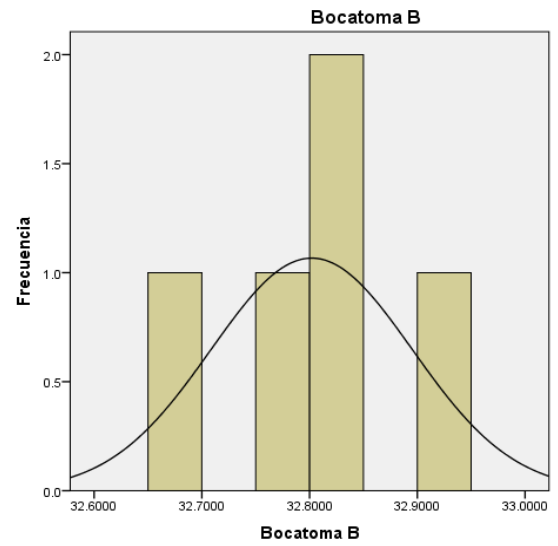
Anexo 38. Histograma para valores de Alcalinidad en T2B.



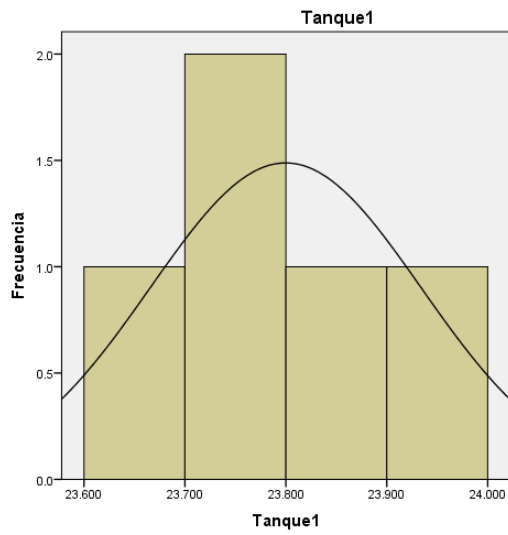
Anexo 39. Histograma para valores de Alcalinidad en BA.



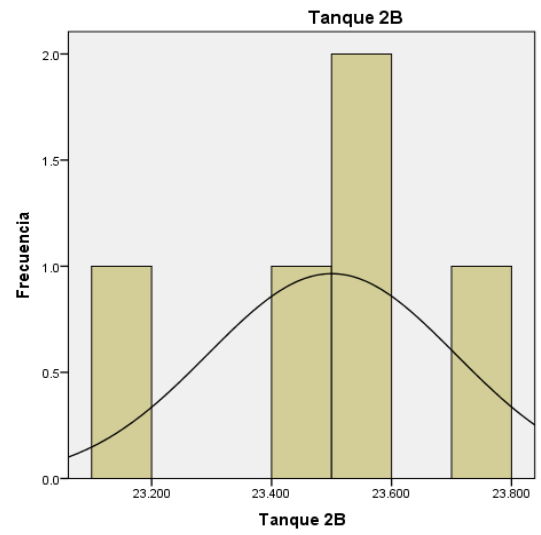
Anexo 40. Histograma para valores de Alcalinidad en BB.



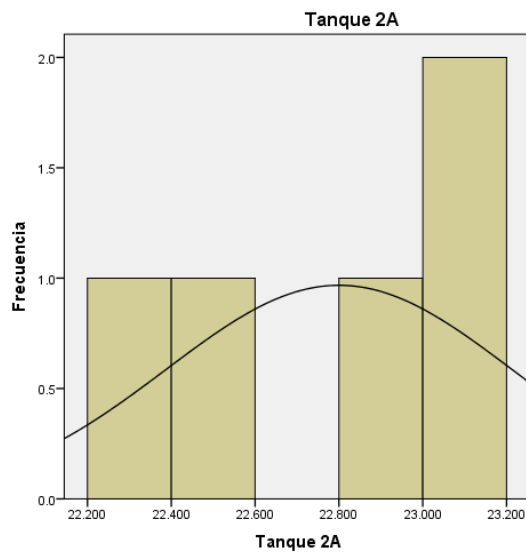
Anexo 41. Histograma para valores de Turbiedad en T1.



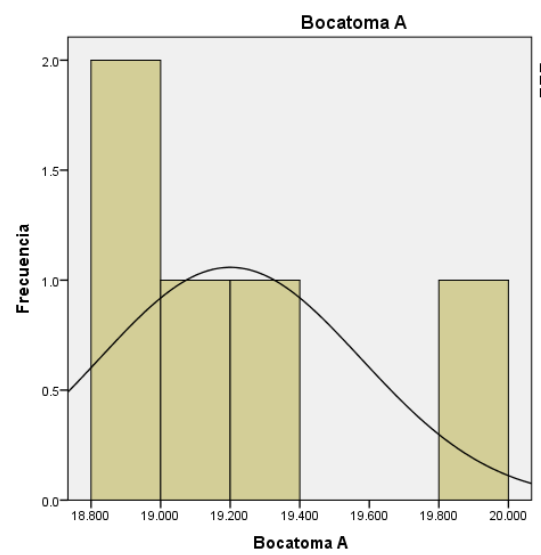
Anexo 43. Histograma para valores de Turbiedad en T2B.



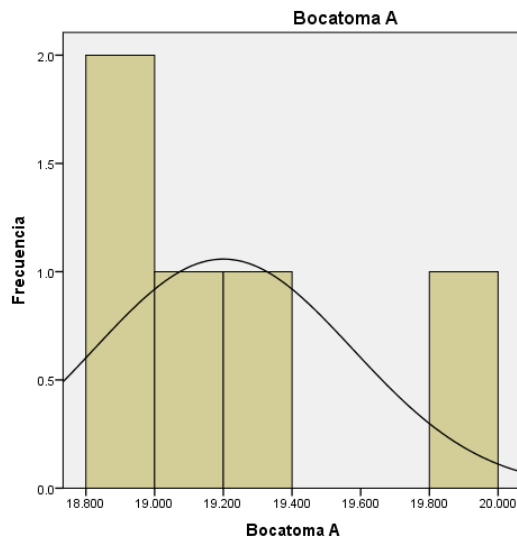
Anexo 42. Histograma para valores de Turbiedad en T2A.



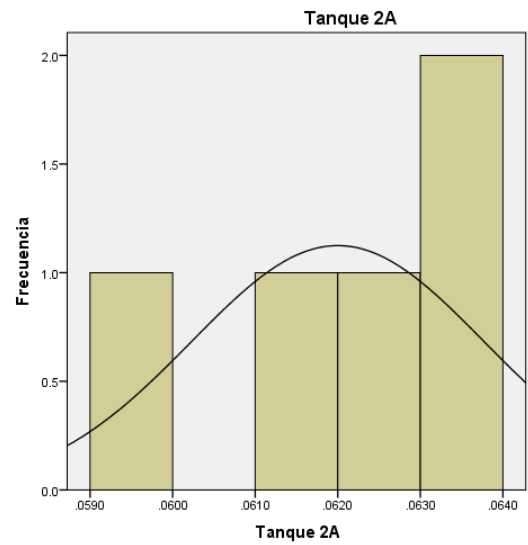
Anexo 44. Histograma para valores de Turbiedad en BA.



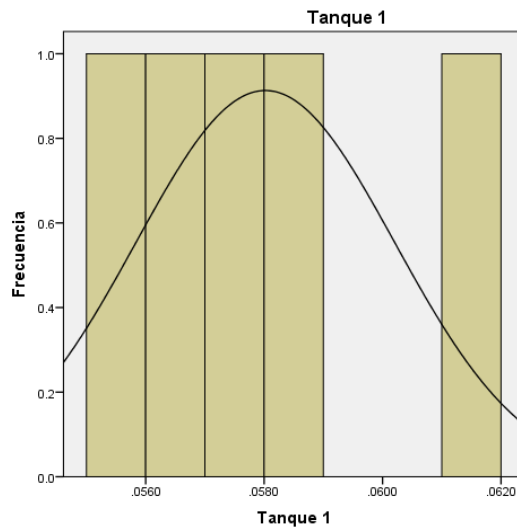
Anexo 45. Histograma para valores de Turbiedad en BB.



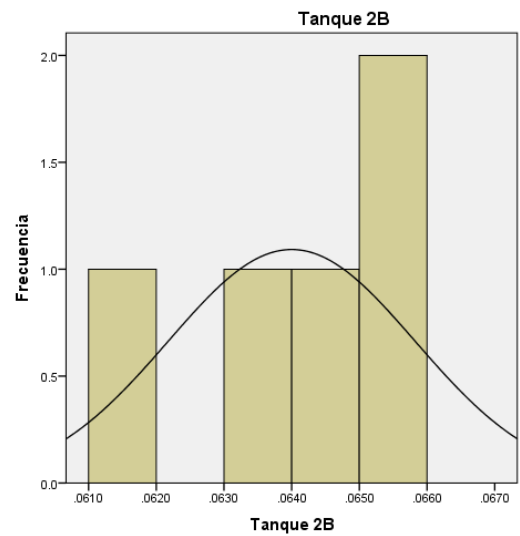
Anexo 47. Histograma para valores de Fosfatos en T2A.



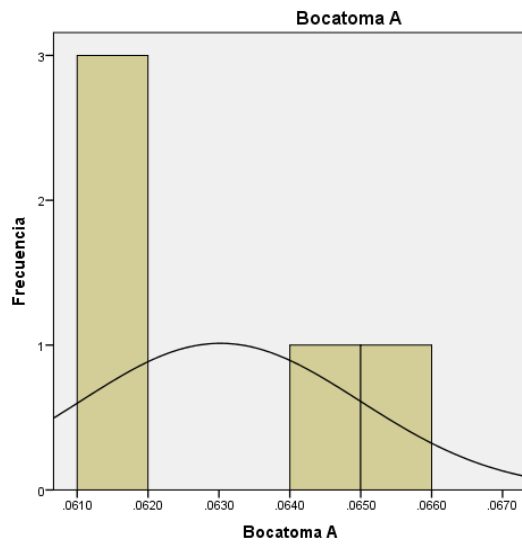
Anexo 46. Histograma para valores de Fosfatos en T1.



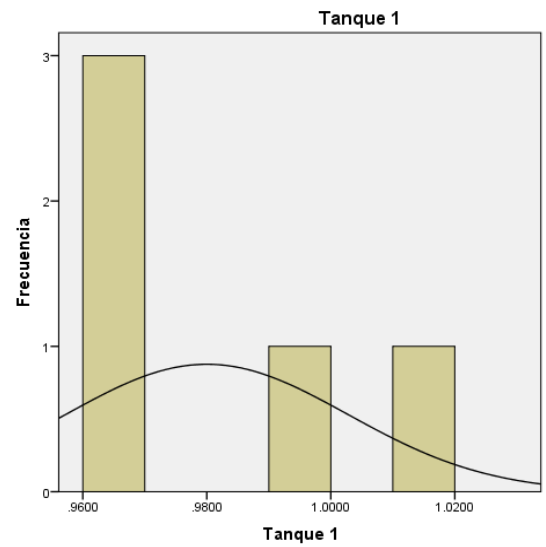
Anexo 48. Histograma para valores de Fosfatos en T2B.



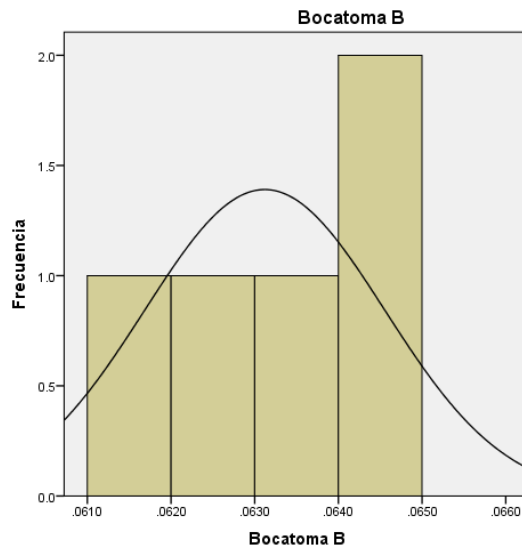
Anexo 49. Histograma para valores de Fosfatos en BA.



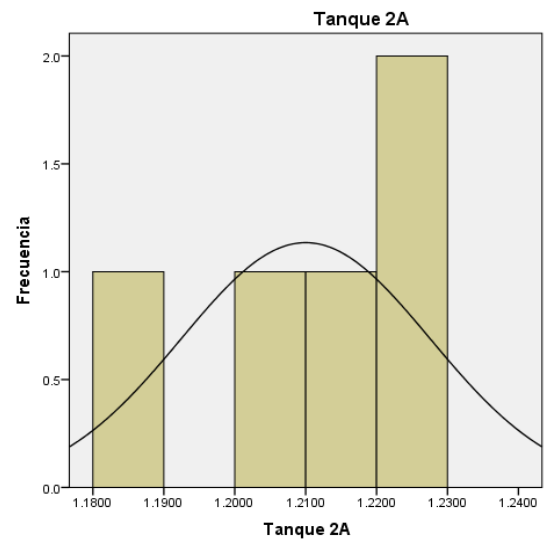
Anexo 51. Histograma para valores de DBO_5 en T1.



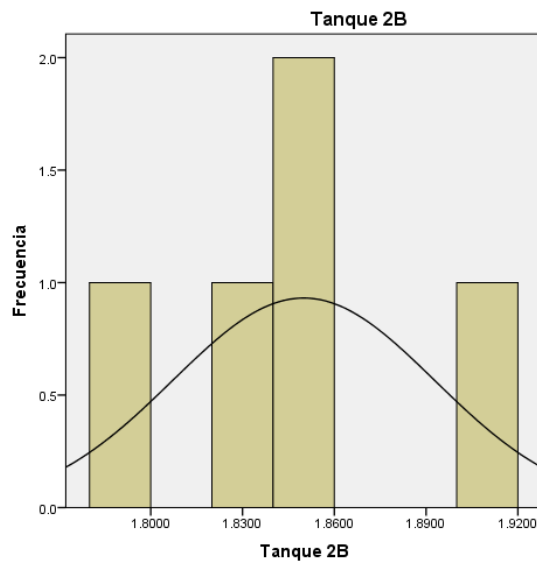
Anexo 50. Histograma para valores de Fosfatos en BB.



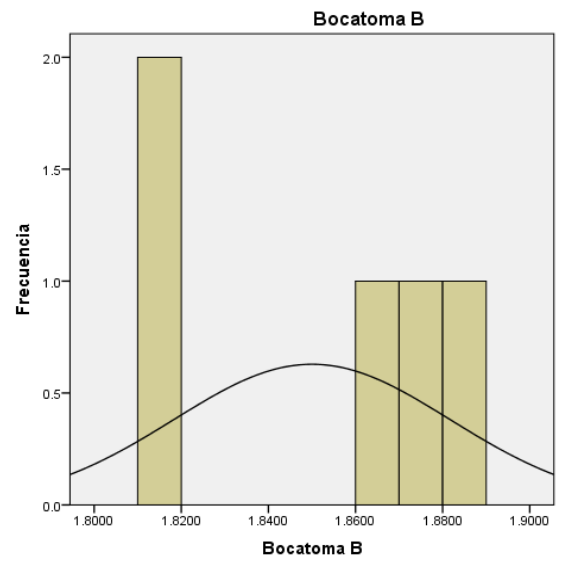
Anexo 52. Histograma para valores de DBO_5 en T2A.



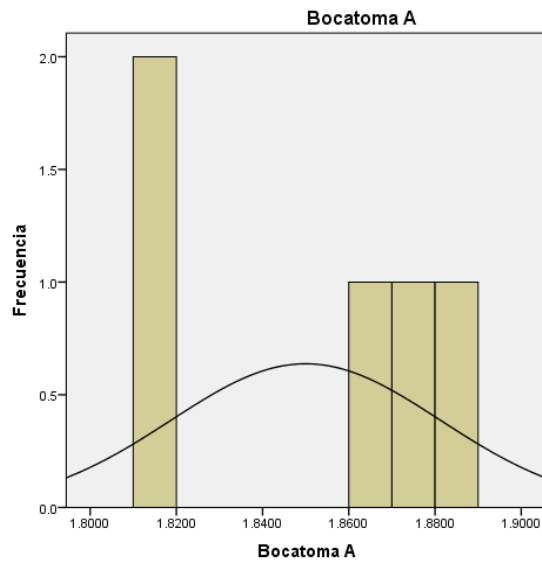
Anexo 53. Histograma para valores de DBO_5 en T2B.



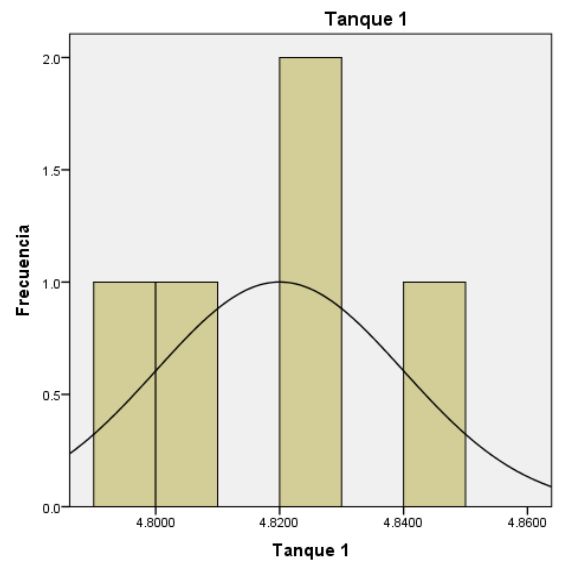
Anexo 55. Histograma para valores de DBO_5 en BB.



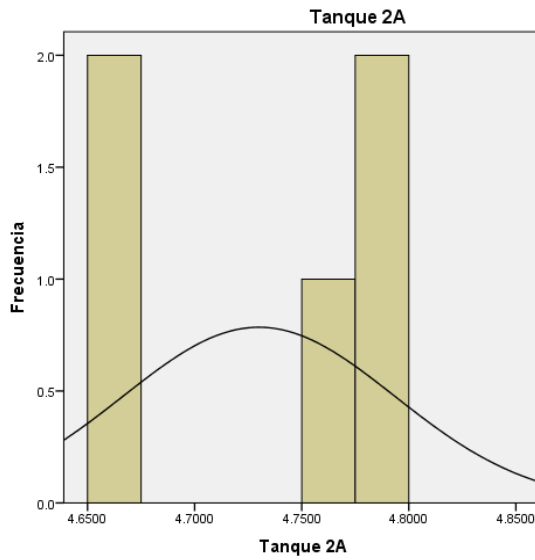
Anexo 54. Histograma para valores de DBO_5 en BA.



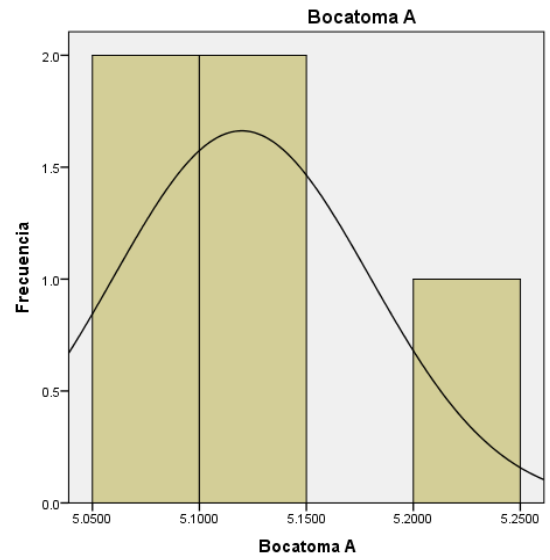
Anexo 56. Histograma para valores de DQO en T1.



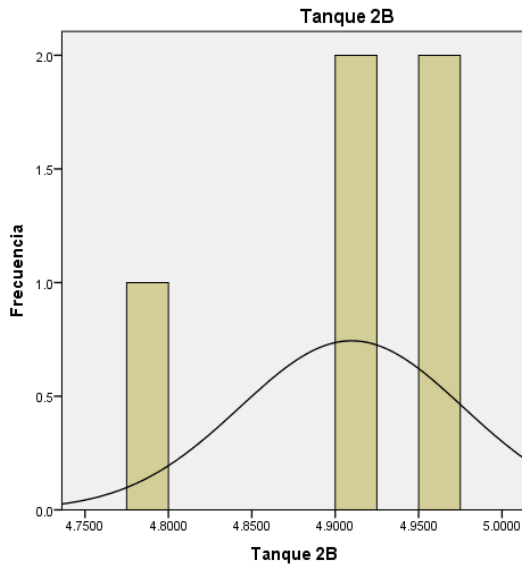
Anexo 57. Histograma para valores de DQO en T2A.



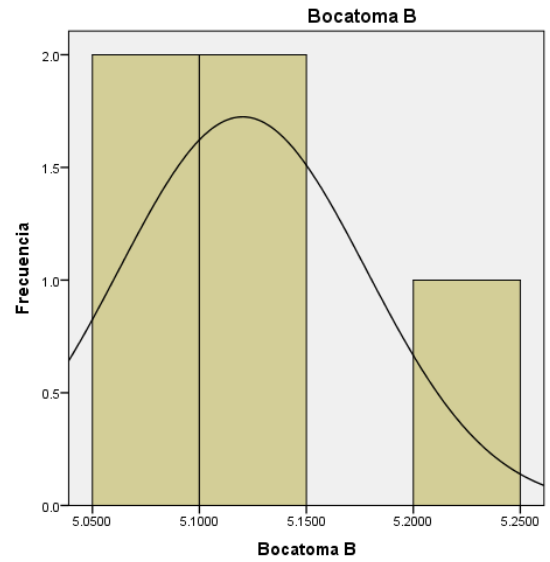
Anexo 59. Histograma para valores de DQO en BA.



Anexo 58. Histograma para valores de DQO en T2B.



Anexo 60. Histograma para valores de DQO en BB.



Anexo 61. Tanques de almacenamiento



Anexo 63. Bocatoma



Anexo 62. Tanques de almacenamiento



Anexo 64. Bocatoma

