



Evaluación de propiedades de medios naturales y elementos contaminantes en una zona de Salcedo potencialmente en riesgo a causa de industrias textiles. Muestreo y análisis químico.

Molina Cuasapaz, Clara Natalí

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Petroquímica

Urrutia Goyes, Edgar Ricardo, PhD

13 de abril del 2021

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el Trabajo de Unidad de Integración Curricular, '**Evaluación De Propiedades De Medios Naturales Y Elementos Contaminantes En Una Zona De Salcedo Potencialmente En Riesgo A Causa De Industrias Textiles. Muestreo y Análisis Químico.**' fue realizado en su totalidad por la señorita **Molina Cuasapaz, Clara Natalí** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.



Firmado electrónicamente por:

**EDGAR RICARDO
URRUTIA GOYES**

Latacunga, 13 de abril de 2021

Urrutia Goyes, Edgar Ricardo, PhD

C.C.: 1803599313

Reporte de verificación



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis_Molina_rev1.docx (D100938097)
Submitted: 4/8/2021 3:18:00 AM
Submitted By: cnmolina@espe.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

Tesis Almagro Johanna 20200114.docx (D62358434)
<https://core.ac.uk/download/pdf/71900882.pdf>

Instances where selected sources appear:

6



Firmado electrónicamente por:

EDGAR RICARDO
URRUTIA GOYES

Urrutia Goyes, Edgar Ricardo, PhD

C.C.: 1803599313



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Molina Cuasapaz, Clara Natalí** con cédula de ciudadanía N.º 1750933440, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **‘Evaluación de propiedades de medios naturales y elementos contaminantes en una zona de Salcedo potencialmente en riesgo a causa de industrias textiles. Muestreo y análisis químico.’** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 13 de abril del 2021

Molina Cuasapaz, Clara Natalí

C.C.: 1750933440



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

Autorización de Publicación

Yo, **Molina Cuasapaz, Clara Natalí**, con cédula de ciudadanía N.º 1750933440, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el Trabajo de Unidad Integración Curricular: **‘Evaluación de propiedades de medios naturales y elementos contaminantes en una zona de Salcedo potencialmente en riesgo a causa de industrias textiles. Muestreo y análisis químico’** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 13 de abril del 2021

Molina Cuasapaz, Clara Natalí

C.C.: 1750933440

Dedicatoria

A mis padres.

A mi hermana y hermanos.

A mis amigos en general.

Agradecimientos

A:

Mis padres, por ser el pilar fundamental de la persona que estoy forjando ser, por siempre estar dispuestos a apoyarme en cada proyecto de mi vida, por el esfuerzo realizado en ayudarme a cumplir mis metas y su amor incondicional.

Mis hermanos, porque han sido un gran ejemplo y por brindarme ayuda en cada obstáculo presentado.

PhD. Ricardo Urrutia por compartir sus conocimientos y ser la guía de tras del presente proyecto.

A mis amigas y amigos que supieron ser mi abrigo y aliento en una ciudad diferente a la mía.

Tabla de contenidos	
Carátula	1
Certificación	2
Reporte de Verificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Tabla de contenidos	8
Índice de tablas	12
Índice figuras	14
Resumen	17
Abstract	18
Introducción	19
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Actividades	22
Marco teórico	23
Cantón Salcedo	23
Contaminación del agua	23
Industria de curtiembre	24

Procedimiento de obtención del cuero	24
Parámetros químicos y físicos del agua.....	27
Análisis químicos aplicados al estudio de agua residual	30
Metodología	32
Ubicación	32
Caracterización del agua residual	33
Análisis químico de agua residual.....	40
Caracterización de Aceites y grasas por el método de Gravimetría	41
Caracterización de Cromo total por el método de Absorción Atómica.....	42
Caracterización de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por Volumetría.....	42
Caracterización de la Demanda Química de Oxígeno por el método de Espectrofotometría VIS.....	43
Caracterización de la Dureza Total por el método de Volumetría.....	43
Caracterización de Oxígeno Disuelto por el método de Volumetría.....	43
Caracterización de Sólidos Totales por el método de Gravimetría.....	44
Caracterización de Sulfatos por el método de Espectrofotometría VIS.....	44
Caracterización de Sulfuros por el método de Espectrofotometría.....	44
Caracterización de Tensoactivos por el método de Espectrofotometría VIS.	45
Análisis estadístico	45
Resultados y discusión.....	47
Análisis de los parámetros de las muestras.....	48
Análisis aceites y grasas	48

Análisis cromo total	49
Análisis demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	53
Análisis Demanda química de oxígeno (DQO)	57
Análisis dureza total.....	62
Análisis oxígeno disuelto(O₂).....	67
Análisis sólidos totales	67
Análisis sulfatos	71
Análisis sulfuros.....	75
Análisis tensoactivos.....	80
Análisis caudal	85
Análisis temperatura.....	89
Análisis pH.....	93
Conclusiones y recomendaciones.....	94
Conclusiones	94
Recomendaciones.....	97
Bibliografía.....	99
Anexos.....	103
ANEXO 1. Metodología de análisis para aceites y grasas.	103
ANEXO 2. Metodología de análisis para el Cromo total.	105
ANEXO 3. Metodología de análisis para DBO₅.	109
ANEXO 4. Metodología de análisis DQO.	114
ANEXO 5. Metodología de dureza total.	116

ANEXO 6. Metodología de análisis para Oxígeno disuelto (O₂).....	118
ANEXO 7. Metodología de análisis para Sólidos totales.....	122
ANEXO 8. Metodología de análisis para sulfatos.	124
ANEXO 9. Metodología de análisis para análisis de sulfuros.	127
ANEXO 10. Metodología de análisis para Tensoactivos.....	129
ANEXO 11. Resultados	134
ANEXO 12. Evidencia de toma de datos in situ del día 1.	1355
ANEXO 13. Fotografía de toma de muestras en el campo de estudio.	136

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Coordenadas puntos de muestreo</i>	32
Tabla 2. <i>Etiqueta de las muestras</i>	33
Tabla 3. <i>Proceso de manejo de muestras</i>	35
Tabla 4. <i>Procedimiento toma de muestras</i>	36
Tabla 5. <i>Métodos de análisis de parámetros</i>	40
Tabla 6. <i>Diseño experimental</i>	46
Tabla 7. <i>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i>	47
Tabla 8. <i>Análisis de varianza para cromo total</i>	50
Tabla 9. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0 %</i>	52
Tabla 10. <i>Análisis de varianza para DBO₅</i>	55
Tabla 11. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	56
Tabla 12. <i>Análisis de varianza para DQO</i>	60
Tabla 13. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	61
Tabla 14. <i>Análisis de varianza para dureza total</i>	64
Tabla 15. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	65
Tabla 16. <i>Análisis de varianza para sólidos totales</i>	68
Tabla 17. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	70
Tabla 18. <i>Análisis de varianza para sulfatos</i>	73
Tabla 19. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	74
Tabla 20. <i>Análisis de varianza para sulfuros</i>	77
Tabla 21. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	79

Tabla 22. <i>Análisis de varianza para tensoactivos</i>	82
Tabla 23. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	83
Tabla 24. <i>Análisis de varianza para caudal</i>	86
Tabla 25. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	87
Tabla 26. <i>Análisis de varianza para temperatura</i>	90
Tabla 27. <i>Información agrupada por el método de tukey y con confianza de 95,0%</i>	91

Índice figuras

Figura 1. <i>Diagrama de proceso de curtiembre.</i>	26
Figura 2. <i>Mapa de ubicación. Datos de mapa base ARCGIS© 2021.</i>	33
Figura 3. <i>Comparación de los resultados de la concentración de aceites y grasas en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	48
Figura 4. <i>Gráfica de caja de cromo total</i>	49
Figura 5. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para cromo total</i>	50
Figura 6. <i>Gráfica de efectos principales para cromo total</i>	51
Figura 7. <i>Gráfica de interacciones dobles para cromo total</i>	52
Figura 8. <i>Comparación de los resultados de la concentración de cromo total en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	53
Figura 9. <i>Gráfica de caja de DBO₅</i>	53
Figura 10. <i>Gráfica 4 en 1 de DBO₅</i>	54
Figura 11. <i>Gráfica de efectos principales DBO₅</i>	55
Figura 12. <i>Gráfica de interacciones dobles para DBO₅.</i>	56
Figura 13. <i>Comparación de los resultados de la concentración de dbo₅ en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	57
Figura 14. <i>Gráfica de caja DQO</i>	58
Figura 15. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para DQO</i>	59
Figura 16. <i>Gráfica de efectos principales para DQO</i>	60
Figura 17. <i>Gráfica de interacciones dobles para DQO</i>	61
Figura 18. <i>Comparación de los resultados de la concentración de DQO en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	62

Figura 19. <i>Gráfica de caja de dureza total</i>	63
Figura 20. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para dureza total</i>	63
Figura 21. <i>Gráfica de efectos principales para dureza total</i>	65
Figura 22. <i>Gráfica de interacciones dobles para dureza total</i>	66
Figura 23. <i>Comparación de los resultados de la concentración de dureza total en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	66
Figura 24. <i>Gráfica de caja de sólidos totales</i>	67
Figura 25. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para sólidos totales</i>	68
Figura 26. <i>Gráfica de efectos principales para sólidos totales</i>	69
Figura 27. <i>Gráfica de interacciones dobles para sólidos totales</i>	70
Figura 28. <i>Comparación de los resultados de la concentración de sólidos totales en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	70
Figura 29. <i>Gráfica de caja de sulfatos</i>	71
Figura 30. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para sulfatos</i>	72
Figura 31. <i>Gráfica de efectos principales para sulfatos</i>	74
Figura 32. <i>Gráfica de interacciones dobles para sulfatos</i>	75
Figura 33. <i>Comparación de los resultados de la concentración de sulfatos en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	75
Figura 34. <i>Gráfica de caja de sulfuros</i>	76
Figura 35. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para sulfuros</i>	77
Figura 36. <i>Gráfica de efectos principales para sulfuros</i>	78
Figura 37. <i>Gráfica de interacciones dobles para sulfuros</i>	79

Figura 38. <i>Comparación de los resultados de la concentración de sulfuros en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	79
Figura 39. <i>Gráfica de caja de tensoactivos</i>	81
Figura 40. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para tensoactivos</i>	81
Figura 41. <i>Gráfica de efectos principales para tensoactivos</i>	83
Figura 42. <i>Gráfica de interacciones dobles para tensoactivos</i>	84
Figura 43. <i>Comparación de los resultados de la concentración de tensoactivos en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	84
Figura 44. <i>Gráfica de caja de caudal</i>	85
Figura 45. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para caudal</i>	86
Figura 46. <i>Gráfica de efectos principales para caudal</i>	87
Figura 47. <i>Gráfica de interacciones dobles para caudal.</i>	88
Figura 48. <i>Comparación de los resultados del caudal en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	88
Figura 49. <i>Gráfica de caja de temperatura.</i>	89
Figura 50. <i>Gráfica de residuos 4 en 1 para temperatura</i>	90
Figura 51. <i>Gráfica de efectos principales para temperatura</i>	91
Figura 52. <i>Gráfica de interacciones dobles para temperatura</i>	92
Figura 53. <i>Comparación de los resultados de la concentración de temperatura en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	92
Figura 54. <i>Comparación de los resultados de la concentración de ph en los diferentes puntos de toma de muestras.</i>	93

Resumen

La contaminación a nivel mundial ha ido en aumento desde la era industrial como secuela de los procesos e insumos químicos que se requieren para la elaboración de productos. El presente trabajo está enfocado en reconocer los principales contaminantes del medio ambiente especialmente los que se encuentran en las aguas residuales de la industria textil y a su vez conocer los efectos que son causados por los mismos. Se desarrollo en el Cantón Salcedo en los alrededores de una industria de curtiembre. El muestreo se llevó a cabo por tres días, por la mañana y por la tarde, en tres puntos diferentes que fueron seleccionados según la topografía del terreno y el alcance. Nos guiamos en las normas ecuatorianas vigentes tanto para los muestreos, transporte y análisis de los contaminantes. Además, se tomó en cuenta los requerimientos del laboratorio CICAM, el mismo que se encuentra certificado y avalado para el desarrollo de los análisis requeridos para el estudio como aceites y grasas, cromo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), dureza total, oxígeno disuelto(O₂), sólidos totales, sulfatos, sulfuros, tensoactivos. Finalmente, se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% conjuntamente de gráficas de los resultados, permitiéndonos compararlos con los límites máximos permisibles de cada parámetro. Los resultados nos indicaron que todos los parámetros analizados se encuentran por encima del límite establecido exceptuando, la temperatura y aceites y grasas. Por último, se propuso soluciones que puedan analizarse con más profundidad en próximas investigaciones para mejorar la calidad de agua.

Palabras clave:

- **AGUAS RESIDUALES**
- **CURTIEMBRE**
- **MUESTREO DE AGUA**
- **CONTAMINACIÓN MUNDIAL**
- **LÍMITES ESTABLECIDOS**

Abstract

Pollution worldwide has been increasing since the industrial era as a result of the various processes and chemical inputs required for the manufacture of products. This work is focused on recognizing the main pollutants in the environment, especially those found in wastewater from textile industries and the effects caused by them. It was developed in the Salcedo Canton in the surroundings of a tannery industry. The sampling was carried out for three days, in the morning and in the afternoon, in three different points that were selected according to the topography of the terrain and the scope. We were guided by current Ecuadorian standards for sampling, transport and analysis of contaminants. In addition, we took into account the requirements of the CICAM laboratory, which is certified and endorsed for the development of the analyses required for the study, such as oils and fats, total chromium, biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total hardness, dissolved oxygen (O₂), total solids, sulfates, sulfides, and surfactants. Finally, an analysis of variance was performed with a 95% confidence level together with graphs of the results, allowing us to compare them with the maximum permissible limits for each parameter. The results showed that all the parameters analyzed were above the established limit, except for temperature and oils and fats. Finally, we proposed solutions that can be analyzed in more depth in future research to improve water quality and care for the environment in which we live.

Key words:

- **WASTEWATER**
- **TANNERY**
- **WATER SAMPLING**
- **GLOBAL POLLUTION**
- **ESTABLISHED LIMITS**

CAPÍTULO I

1. Introducción

La contaminación del agua es un problema a nivel mundial. La población, el desarrollo tecnológico e industrial han tenido un gran crecimiento en los últimos años, causando un fuerte impacto en el medio ambiente. Los residuos líquidos industriales compuestos por agua y componentes químicos son arrojados a los ríos generando el aumento en el grado de contaminación y efectos nocivos. La vida biológica existente en el medio acuático es alterada, causando cambios en el ciclo biodinámico produciendo enfermedades, inclusive la muerte de varias especies (Maldonado & Ramón, 2013). La contaminación doméstica urbana posee también un fuerte grado de responsabilidad ya que por medio de los desagües son arrojados residuos sólidos como papel, plástico y vidrios usados en la diaria higiene de las personas además de las aguas servidas que van directo al río por medio de canales sin ningún tratamiento previo (Gutierrez, 2010).

Este estudio muestra la necesidad de analizar la calidad del agua residual de las industrias textiles especialmente de la industria de curtiduría. Al utilizar en todas las etapas de su proceso gran cantidad de agua y reactivos químicos, como ácidos, sales y metales pesados, factores claves para presentar resultados elevados en relación a los límites permitidos de descarga en cuerpos de agua dulce. Son un peligro potencial para la salud de los habitantes que hacen uso de este recurso vital, además de generar modificaciones en su entorno (Córdor Basantes & Paillacho Coque , 2016).

Los ríos poseen la propiedad de auto depuración la cual consiste en la degradación de los compuestos orgánicos por medio de las bacterias con la ayuda del oxígeno presente en las aguas de ríos u océanos. El producto de la degradación se convierte en alimento para los peces y plantas, cumpliendo el ciclo y reintegrando oxígeno y carbono a la biosfera

(Gutierrez, 2010). Actualmente el problema es que la cantidad de residuos líquidos y sólidos vertidos en los ríos sobrepasan la capacidad de restauración del mismo. Dando paso a la búsqueda de tecnologías que nos permitan mejorar la calidad del agua antes de ser vertida en las corrientes. Algunas de las técnicas utilizadas para analizar la calidad de agua en el presente proyecto son gravimetría, volumetría, absorción atómica y espectrofotometría UV-VIS. (CICAM, 2021)

La industria textil es la segunda industria más grande en contaminación ambiental ubicada justo después de la industria de petróleo e hidrocarburos (Brañez Sánchez, Gutiérrez, Pérez, Uribe, & Valle, 2018). En el país existen 45 curtiembres que fabrican sus productos de manera artesanal y 16 curtiembres industriales entre medianas y grandes. En su gran mayoría están ubicadas en la provincia de Tungurahua y Cotopaxi. El comercio de productos de cuero y sus derivados ha ido creciendo debido a la industrialización de los procesos, generando que se posea como una de las actividades más representativas de la región sierra además de ser una gran fuente de empleos (Hidalgo Ruiz & Meléndez Garcés, 2012). Las descargas realizadas por las industrias de curtiembres poseen altos valores de cromo en sus análisis dado que la fijación de las sales utilizadas en la etapa de curtido, no son adheridas por completo. Consecuentemente se desechan residuos sólidos como el pelaje de los animales, conllevando a la contaminación del agua. (Alegría Bartolomé & Echeagaray Aveiga, 2017) .

Teniendo en cuenta el mercado interno competitivo. La industria de curtiembre debe ofertar productos que cumplan con los requisitos y estándares de calidad, sin descuidar las normas ambientales y tomar medidas de producción que tengan un mínimo impacto en el entorno sin verse afectados sus beneficios económicos. Los contaminantes generados por las aguas residuales de la curtiduría son temas ambientales delicados y requieren un análisis en profundidad. Actualmente, los métodos de tratamiento de las aguas

residuales de la mayoría de curtiembres en Ecuador no cumplen con la normativa vigente. Resulta de gran importancia invertir en el desarrollo de tecnologías para optimizar el control de los efluentes derramados por la industria de curtiduría, extraer los compuestos químicos, tratarlos e investigar técnicas para su reutilización (Higuera Cobos, Florez García, & Arroyave Londoño, 2009) .

El presente estudio analiza veinte muestras tomadas de los alrededores de una industria de curtiembre. Los parámetros que se consideraron relevantes para establecer cuantitativamente la contaminación que genera esta curtiduría son: aceites y grasas, cromo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno, (DQO), dureza total, oxígeno disuelto(O₂), sólidos totales, sulfatos, sulfuros, tensoactivos, caudal, pH, temperatura. De esta manera establecer cuales de ellos se encuentran dentro del límite establecido, además que los datos obtenidos servirán de base para próximamente escoger un tratamiento adecuado y mejorar la calidad de agua residual que es arrojada a los ríos, protegiendo el medio ambiente.

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo General*

Evaluar propiedades de medios naturales y elementos contaminantes en una zona de Salcedo potencialmente en riesgo a causa de industrias textiles.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

- Realizar el proceso de obtención de muestras del medio seleccionado y preparar las mismas para su análisis posterior.
- Analizar las muestras del medio seleccionado para conocer sus propiedades o concentración de contaminantes.

1.2. Actividades

- Obtener muestras del medio siguiendo normativas nacionales o internacionales.
- Transportar y almacenar las muestras según normativas vigentes.
- Caracterizar las muestras en un laboratorio certificado.
- Tabular los datos obtenidos y realizar análisis estadístico de los resultados.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Cantón Salcedo

El Cantón Salcedo es uno de los principales cantones de la provincia de Cotopaxi. Está ubicado en la zona céntrica de la región sierra del Ecuador, su forma es similar a una franja con una extensión de 50 km y un ancho de 10 km. Va desde la cordillera central hasta la occidental, delimitado al sur con la provincia de Tungurahua, al norte por Latacunga, al oeste con Pujilí y al este con la provincia de Napo. Se encuentra a una altura de 2,683 ms.n.m (Salcedo Gobierno Autónomo Descentralizado, 2021).

En cuanto a la topografía, Salcedo contiene montañas con una altitud de aproximadamente 4 km, y un amplio valle, que produce una variedad de climas fríos y templados, lo que hace posible la producción de diversos cultivos alimenticios los que son distribuidos dentro y fuera de la ciudad. Por otro lado, está compuesto por suelo fértil y negro. Estos suelos son muy impermeables y pueden mantener la humedad percibida siendo aptos para la agricultura. Además, la hidrografía de este cantón está compuesta por cuatro ríos Najichi, Yanayacu, Salachi y Cutuchi, siendo el último el más importante derivado de los deshielos del volcán Cotopaxi, estas características de la región son sus ventajas, lo que hace que la agricultura sea una actividad potencial (Moya Balarezo, 2014).

2.2. Contaminación del agua

El río Cutuchi se encuentra altamente contaminado debido al desarrollo poblacional, agrícola e industrial. Cabe destacar que ninguna ciudad por las que cruza el río realizan algún tratamiento para las aguas residuales de uso doméstico, desechos de sólidos como escombros y basura que son arrojados al río diariamente. Siendo causa de un gran problema ambiental ya que el agua del río es indispensable para el regadío y ganadería en

las ciudades de Latacunga, Salcedo y Ambato. Además, sus productos contaminados son expedidos a la región central del país (Gutierrez, 2010).

2.3. Industria de curtiembre

En el Ecuador una de las industrias más importantes es la industria de las curtiembres y la gran mayoría se encuentran ubicadas en la provincia de Tungurahua (Cerón, 2011). La materia prima es la piel cruda de los animales que son un subproducto de la industria cárnica en su mayoría bovinos y ovinos, si no se utilizan para el curtido se consideran desperdicio y deben depositarse en basureros, vertederos o incinerarse. Se realiza la transformación de piel de animales a cuero por medio de procesos químicos obteniendo como resultado un material flexible, resistente y elegante. (Ministerio del Ambiente, 2013).

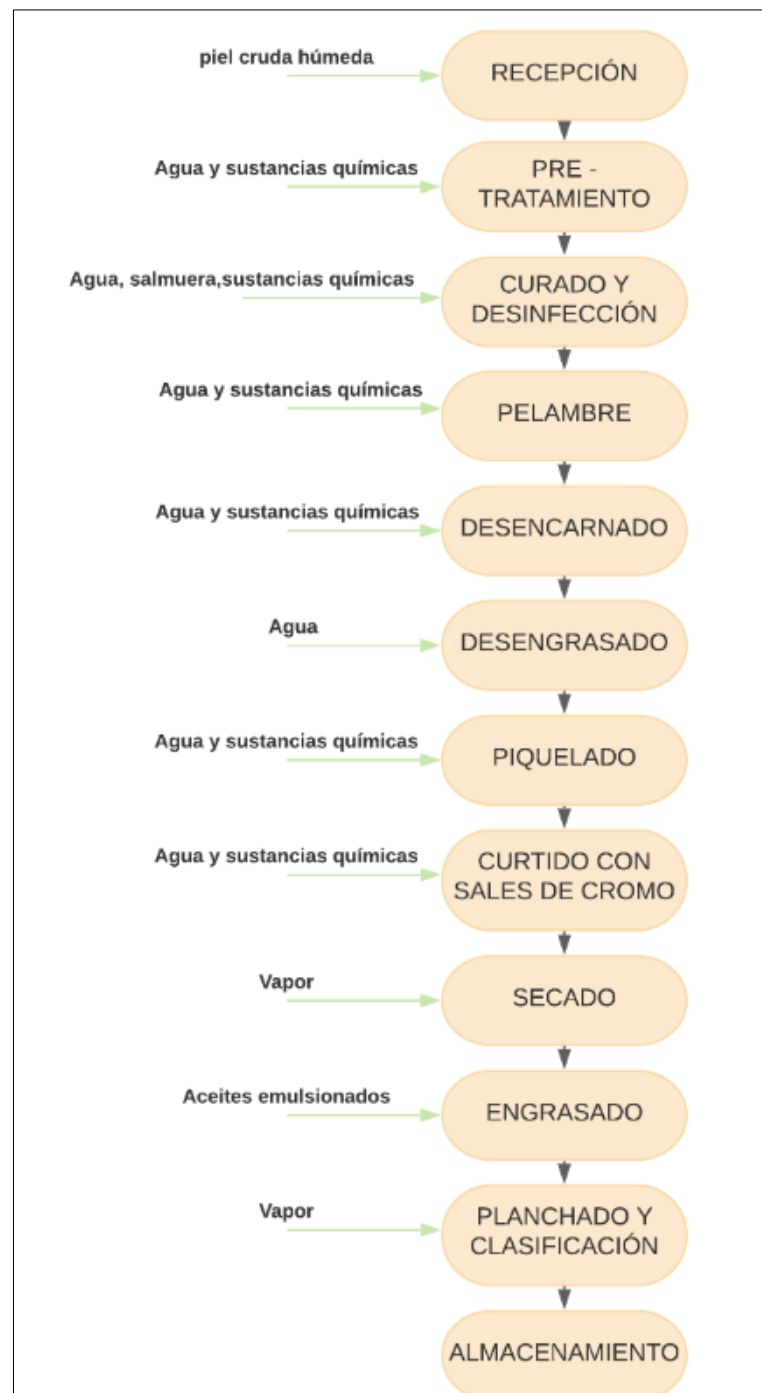
2.4. Procedimiento de obtención del cuero

Primero se realiza un reconocimiento de la materia prima para aseverar que el estado de calidad sea el correcto evitando que el producto tenga un avanzado deterioro. El siguiente paso da lugar al pre tratamiento en el cual se realiza una clasificación por peso, tamaño y especie. Además, de cortar las extremidades y efectuar una limpieza a las pieles con hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y detergente. El curado y desinfectado se realiza con salmuera, se coloca la materia prima en recipientes voluminosos junto con una solución de sal casi saturada, bicloruro de mercurio como desinfectante y un bactericida como el sulfato de sodio, seguido de agitación y reposo de 16 horas aproximadamente. Posterior a esto empieza la etapa de pelambre la cual consiste en introducir la piel ya seca en una solución de sulfuro de sodio y cal con agitación constante, para desprender el pelaje junto con la epidermis. El siguiente paso es el desencalado el cual consiste en remover el sulfuro y la cal, con abundante agua y ácidos orgánicos tamponados para lograr una neutralización de la piel. Después se sumerge la piel en soluciones con detergente o solventes, y se deja

reposar durante un tiempo determinado según el origen de la piel para su correcto desengrasado. A continuación, se prepara la piel para el curtido con soluciones de ácido fórmico y sulfúrico. Para el curtido primero se debe retirar la mayor cantidad de humedad de la piel y colocarla en una máquina divisora empleando diferentes sales de cromo para la estabilización de colágeno y que su paso de piel a cuero se realice de manera satisfactoria. El tiempo establecido para el curtido varía desde 8 a 24 horas. Posterior a esto se realizan procesos de ablandamiento y mecánicos, obteniendo como resultado un material resistente y duradero. El secado del cuero se lleva a cabo estirándolo sobre platos de vidrio e inmediatamente se realiza la humectación con aceites emulsionados, los cuales se depositan en el cuero, fijándose y proporcionando un material blando, fuerte y elástico. Por último, es planchado, clasificado y se almacenan sobre madera con superficies plana según su tamaño, calidad y color, en un espacio aireado sin humedad ni luz solar. Las etapas se observan en el diagrama de proceso en la Fig. 1.

Figura 1.

Diagrama de proceso de curtiembre.



Nota: Tomado de (Ministerio del Ambiente, 2013).

2.5. Parámetros químicos y físicos del agua

Las aguas industriales contienen varios productos químicos que son utilizados en sus procesos, además poseen límites establecidos para poder ser arrojados por medio de vertientes a los ríos. Los parámetros seleccionados para el estudio se basaron en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua (Ministero del Ambiente, 2015).

Aceites y grasas

Son sustancias que forman una capa impermeable al agua por su característica lipídica y están presentes en forma de espuma o natas. Los dos parámetros están relacionados con el proceso de remojo de la piel de animales ya que se producen derrames de aceites por ende produce residuos líquidos con elevadas concentraciones de estos (Félez Santafé, 2009).

Cromo total

El cromo es un oligoelemento metálico, con peso molecular de 51,996 g/mol. Los dos estados de oxidación estables son el trivalente y el hexavalente (cromo total). El Cr³⁺ es la forma con mayor estabilidad química, siendo el Cr⁶⁺ el más tóxico para el organismo (Palazón Bru, López Lozano, Palazón Bru, Arroyo Fernández, & González-Estecha, 2014).

Durante el proceso de curtición se utilizan sales de cromo, las mismas que no se absorben en su totalidad y son desechadas junto con aguas residuales sin un tratamiento previo, causando contaminación del medio ambiente y a su vez un gran peligro de intoxicación hasta alteración del material genético (Mayta & Mayta, 2017).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)

Mide cuantitativamente el oxígeno que demandan los microorganismos para cumplir su función de degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua.

(Gallegos Andrade, 2013). Se hace referencia al número 5 por los días de incubación que se realiza en el análisis. Al depositar estas aguas residuales al entorno sin tratar su estabilidad biológica puede llevar a la extenuación de los recursos naturales de oxígeno.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Indica el contenido de oxígeno equivalente de materia orgánica oxidable presente en el agua utilizando un agente químico oxidante. (Raffo Lecca & Ruiz Liza, 2014).

Dureza total

La dureza del agua es causada por una concentración de minerales con carga positiva, principalmente por la presencia de iones de calcio y magnesio. Al descomponerse el jabón (sal de sodio con un ácido) en presencia de los iones, el ácido liberado forma con el calcio un precipitado gaseoso insoluble (Hernández Frías & Salazar Pinilla, 2019). La dureza posee valores elevados en la industria de curtiembre debido a los químicos utilizados en sus procesos, generando una contaminación elevada en sus aguas residuales.

Oxígeno disuelto

Este parámetro permite ver que cantidad de oxígeno está contenido en el agua. Es una de las variables de la calidad del agua más significativas en los sistemas acuáticos e indica el potencial del cuerpo de agua para soportar un ecosistema balanceado (Pestana, 2017).

Sólidos totales

Indica la cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en una muestra líquida que se hallan contenidas en materia disuelta total y materia en suspensión volátil (Córdor Basantes & Paillacho Coque, 2016). El resultado obtenido son los residuos que permanecen después de la completa evaporación de un determinado volumen de muestra (agua residual).

Sulfatos

Se utiliza sulfato de amonio para promover la eliminación del calcio del cuero. El ion sulfato se lo encuentra en las aguas residuales de las curtidurías que arrojan los procesos de pelambre y desencarnado. Además, suele provocar olores desagradables y problemas de corrosión en las alcantarillas (Amangandi Aguilar, 2016).

Tensoactivos

Son sustancias que pequeñas cantidades reducen la tensión superficial de la interfase agua-sustancia grasa. Es así que facilitan la separación por métodos fisicoquímicos la suciedad adherida (Mencías Rodríguez & Mayero Franco, 2000). Son utilizados en el primer paso del proceso de curtiembre para despojar todas las suciedades que contiene la materia prima.

Sulfuros

En el proceso de pelambre, se requiere de sulfuro de sodio para desprender el pelaje de la piel, liberando sulfuro de hidrógeno en medio del ácido, con un olor desagradable equivalente a huevos podridos. La alta concentración de sulfuro es altamente tóxica (Amangandi Aguilar, 2016).

Caudal

Es la cantidad de líquido (agua residual) que cruza por una sección en un determinado tiempo, también se lo conoce como flujo volumétrico. Es importante el caudal de las descargas de la curtiembre ya que está relacionado a la cantidad de contaminantes que serán proporcionadas al río.

Temperatura

Es un parámetro que indica la calidad del agua puede influir en las demás características del agua residual, vida acuática, cambio de la concentración de saturación de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas. Además de estar relacionada con el pH para aguas de baja alcalinidad, las temperaturas elevadas disminuyen el mismo (Vintimilla Palacios, 2016).

Potencial de Hidrógeno

Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno que contiene una escala del 1.00-7.00 un medio ácido y del 7.00-14.00 un medio básico. Durante el proceso de curtido, el valor de pH cambia. En el proceso de piquelado y pelambre, debido a la adición de sulfuro de sodio y cal, el valor de pH de las aguas residuales está entre 11.00 y 12.00. En el proceso de curtido, su valor de pH se modifica entre el rango entre 3.00 a 9.00. Es importante mantener un rango adecuado de pH en las aguas residuales para conservar la vida acuática (Amangandi Aguilar, 2016).

2.6. Análisis químicos aplicados al estudio de agua residual

Método de gravimetría

Es uno de los métodos más usados por su precisión en los análisis cuantitativos de compuestos, elementos o iones. Se basa en convertir selectivamente un analito y medir la masa del producto (Aldabe, Aramendia, Bonazzola, & Lacreu, 2004).

Se clasifica en dos, el método por precipitación que consiste en la relación del peso del precipitado con composición conocida, con la cantidad del compuesto de estudio en la muestra examinada. Y el método de volatilización en el cual la muestra a ser examinada se pesa y se volatiliza a cierta temperatura, el residuo es nuevamente pesado y se determina el resultado del peso del elemento deseado por diferencia de los dos (Cabrera, 2007).

Método de volumetría

Se lo conoce como valoración, y consiste en realizar una titulación hasta llegar al punto de equivalencia que se observa por la adición de un indicador. El valorante es una solución de un reactivo con concentración conocida el cual se añade a la solución de la muestra (Connors, 1981).

Absorción atómica.

Su funcionamiento está ligado a la ley de Lambert Beer, que relaciona la absorción de luz con el elemento o compuesto que la atraviesa. Los electrones son alterados en el atomizador, donde los electrones pueden trasladarse a órbitas más altas al absorber una cierta cantidad de energía. Además, a cada átomo le pertenece una longitud de onda específica. Se conoce la cantidad de energía expuesta en la llama del equipo, por lo que se puede medir la energía restante y se puede generar una señal proporcional a la concentración del elemento químico medido (Rubinson & Rubinson, 2001).

Espectrofotometría VIS

Se basa en la ley de absorción, que permite conocer cuantitativamente cómo la atenuación depende de la concentración de moléculas absorbentes y de la longitud de trayectoria a través de la cual ocurre la absorción. Cuando la luz pasa a través de un medio que contiene un analito absorbente, la intensidad disminuye con la excitación del analito. Específicamente con la radiación de luz ultravioleta y visible, la excitación se produce cuando los electrones en orbitales atómicos o moleculares de baja energía se promueven a orbitales de mayor energía (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Ubicación

El estudio fue realizado en los alrededores de una industria de Curtiembre ubicada en la Provincia de Tungurahua, Ciudad de Salcedo, Parroquia San Miguel de Salcedo, específicamente en la Avenida Panamericana Norte km 366, 1°03'29.5"S 78°35'49.2"W. Se seleccionaron tres 3 puntos de muestreo teniendo en cuenta aspectos topográficos favorables y que permitieran evaluar las condiciones en la zona de estudio. En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de los puntos de toma de muestra. Y en la Fig. 2 se observa la distancia entre ellos.

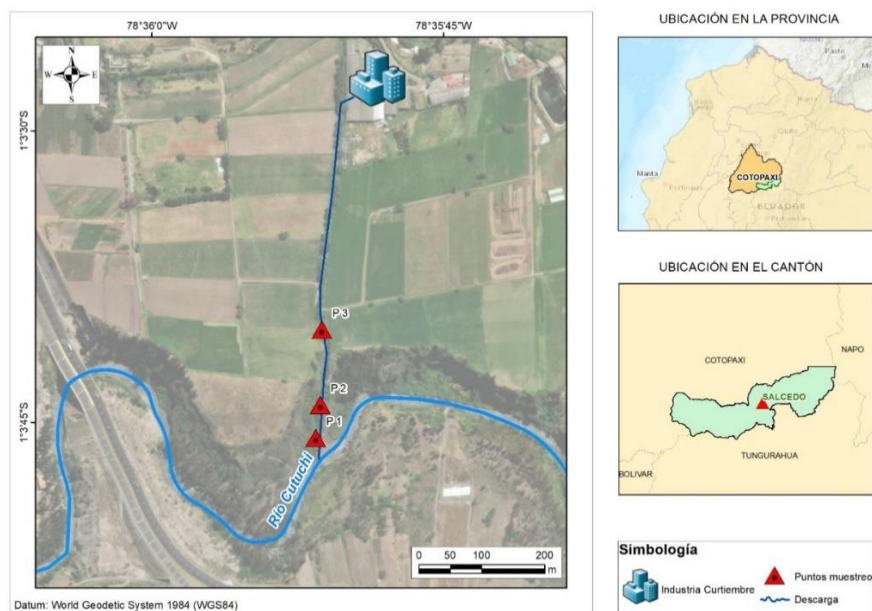
Tabla 1.

Coordenadas puntos de muestreo

PUNTOS	COORDENADAS
Punto 1	1°03'45.8"S 78°35'51.6"W
Punto 2	1°03'44.1"S 78°35'51.3"W
Punto 3	1°03'40.2"S 78°35'51.3"W

Figura 1.

Mapa de ubicación. Datos de mapa base ARCGIS© 2021



Nota: Tomado de (Sistema Nacional de Información, 2021).

3.2. Caracterización del agua residual

El número de muestras recolectadas fue de 18, además de 2 réplicas. Estuvieron distribuidas 2 por cada punto de muestreo, a las 9am y 12pm por 3 días (sábado, martes y miércoles) la etiqueta detallada de las muestras se observa en la Tabla 2. Posterior a la toma, fueron transportadas al Laboratorio CICAM perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional bajo el rango de temperatura de 4 a 10 °C para su conservación y posterior análisis.

Tabla 2.

Etiqueta de las muestras

N° muestra	Orden Corrida	Hora	Punto	Día	Etiqueta
1	1	9 am	P1	Martes	D2P1H1
8	2	9 am	P3	Miércoles	D3P3H1
15	3	12 pm	P2	Sábado	D1P2H2

N° muestra	Orden Corrida	Hora	Punto	Día	Etiqueta
16	4	12 pm	P3	Martes	D2P3H2
9	5	9 am	P3	Sábado	D1P3H1
12	6	12 pm	P1	Sábado	D1P1H2
6	7	9 am	P2	Sábado	D1P2H1
2	8	9 am	P1	Miércoles	D3P1H1
11	9	12 pm	P1	Miércoles	D3P1H2
14	10	12 pm	P2	Miércoles	D3P2H2
10	11	12 pm	P1	Martes	D2P1H1
18	12	12 pm	P3	Sábado	D3P3H2
5	13	9 am	P2	Miércoles	D3P2H1
17	14	12 pm	P3	Miércoles	D3P3H2
4	15	9 am	P2	Martes	D2P2H1
3	16	9 am	P1	Sábado	D1P1H1
7	17	9 am	P3	Martes	D2P3H1
13	18	12 pm	P2	Martes	D2P2H1
19	19	9 am	P1	Martes	R1D2P1H1
20	20	12 pm	P3	Miércoles	R2D3P3H2

El proceso de muestreo, manejo y conservación de las muestras fue llevado a cabo según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013). Utilizando los materiales y equipos adecuados para evitar una posible contaminación de la muestra, baldes con medida de volumen, termómetro digital láser, tiras de pH, guantes de nitrilo, mascarillas, papel film, papel periódico, cronómetro, embudo, además de los envases correspondientes para cada tipo de análisis a efectuar. La descripción del muestreo se observa en la Tabla 3.

Tabla 3.*Proceso de manejo de muestras*

Descripción	Norma NTE INEN 2169	Modo
Preparación de recipientes	Es necesario lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra; el tipo de limpiador usado y el material del recipiente varían de acuerdo a los constituyentes a ser analizados.	Los recipientes de plástico y vidrio, se lavaron con agua y detergente, continuado de enjuague con agua destilada. Exceptuando los recipientes utilizados para el análisis de tensoactivos.
Llenado de recipientes	Llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.	El proceso se llevó a cabo de acuerdo a las indicaciones del laboratorio CICAM para los diferentes análisis. Cada procedimiento se puede observar en la Tabla 4.
Transporte de muestras	Los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda	Las muestras fueron transportadas en coolers con hielo, totalmente selladas evitando cualquier fuga.

Descripción	Norma NTE INEN 2169	Modo
	cualquier parte de ellos durante el transporte.	
Rotulado	Los recipientes deben estar marcados de una manera permanente y legible, para no tener inconvenientes de identificación en el laboratorio.	El rotulado de cada una se puede observar en la Tabla 2.

Se recolectaron 4.60 L de agua residual de la industria de curtiembre en cada punto de muestreo. Las muestras fueron tomadas en una botella de plástico de 3.00 L, un envase ámbar de 1.00 L y 2 envases wlinker de 300 mL. El procedimiento detallado se lo puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4.

Procedimiento toma de muestras

TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENVASE O INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
<i>CROMO TOTAL, SULFATOS, DBO₅, DQO, DUREZA, SÓLIDOS TOTALES, TENSOACTIVOS</i>	Botella de plástico de 3L.	1. Recolectar la muestra en un balde. 2. Envasar el agua residual del balde a la botella con ayuda de un embudo.

TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENVASE O INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
ACEITES Y GRASAS	Botella de vidrio color ámbar de 1000mL.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolectar la muestra en un balde. 2. Colocar 1mL de ácido sulfúrico en la botella. 3. Envasar el agua residual del balde a la botella con ayuda de un embudo.
OXÍGENO DISUELTO	Envases winkler de 300mL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolectar la muestra en un balde. 2. Colocar el envase winkler en la superficie del balde con agua y sumergir levemente de forma diagonal permitiendo el ingreso del agua residual con la precaución que no se formen burbujas en el interior. 3. Tapar bien y homogenizar la muestra. 4. Destapar y colocar 1mL de sulfato manganoso.

TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENVASE O INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
SULFUROS	Envases winkler de 300mL	<p>5. Destapar y colocar 1mL de sustancia álcali.</p> <p>6. Destapar y colocar 1mL de ácido sulfúrico.</p> <p>NOTA: Después de la adición de cada preservante tapar bien y homogenizar la muestra.</p> <p>1. Recolectar la muestra en un balde.</p> <p>2. Colocar el envase winkler en la superficie del balde con agua y sumergir levemente de forma diagonal permitiendo el ingreso del agua residual con la precaución que no se formen burbujas en el interior.</p> <p>3. Tapar bien y homogenizar la muestra.</p>

TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENVASE O INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
TEMPERATURA	Termómetro Laser Sain Sonic	<ol style="list-style-type: none"> 4. Destapar y colocar 1ml de ácido sulfúrico. 5. Tapar bien y homogenizar la muestra. 1. Encerar el termómetro. 2. Apuntar hacia el sitio del agua residual que se desea medir. 3. Aplastar el botón. 4. Tomar nota del resultado obtenido.
PH	Tiras de Ph Macherey Nagel	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recolectar la muestra en un balde. 2. Introducir la tira de pH a la muestra. 3. Verificar según la escala de colores el valor de pH correspondiente. 4. Tomar nota del valor.
CAUDAL	Balde con medida de volumen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducir el balde en la sequía de agua residual. 2. Tomar el tiempo desde el momento que ingresa

TIPO DE ANÁLISIS	TIPO DE ENVASE O INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
		<p>el agua al balde hasta cuando se retira el balde de la sequía.</p> <p>3. Tomar nota del volumen alcanzado y el tiempo medido.</p> <p>4. Realizar el mismo procedimiento 3 veces.</p>

3.3. Análisis químico de agua residual

Los parámetros fueron analizados por el Laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional (CICAM), en su gran mayoría de acuerdo con los procedimientos señalados en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”: aceites y grasas, cromo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), Demanda química de oxígeno (DQO), dureza total, oxígeno disuelto(O₂), sólidos totales, sulfatos, sulfuros, tensoactivos. Los métodos utilizados para analizar cada parámetro se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Métodos de análisis de parámetros.

PARÁMETRO	MÉTODO
Aceites y grasas	PE- 14/ SM Ed.23, 2017, 5520 B/ Gravimetría
Cromo total	Absorción atómica/ EPA 7010

PARÁMETRO	MÉTODO
Demanda bioquímica de oxígeno	PE-06/ SM Ed.23, 2017, 5210 B/ Volumetría
DB05	
Demanda química de oxígeno, DQO	PE-01/ SM Ed.23, 2017, 5220 D/ Espectrofotometría VIS
Dureza total	PE-15/ SM Ed.23, 2017, 2340 C/ Volumetría
Oxígeno disuelto (O2)	PE-18/ SM Ed. 23, 2017, 4500-O C/ Volumetría
Sólidos totales	PE-36/ SM Ed.23, 2017, 2540 D/ Gravimetría
Sulfatos (SO4)	PE-47/ SM Ed.23, 2017, 4500 - SO4 -2 E/ Espectrofotometría VIS
Sulfuros (S)	Espectrofotometría, HACH Method 8131
Tensoactivos	PE-03/ SM Ed.23, 2017, 5540 C / Espectrofotometría VIS / Anionic Surfactants as MBAS)

Nota: Tomado de (Laboratorio CICAM, 2021)

Caracterización de Aceites y grasas por el método de Gravimetría

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Primero agregar hexano a la muestra y depositar al embudo de decantación. Agitar y dejar en reposo para que las capas se separen. Drenar en una centrifuga y transferir el material centrifugado nuevamente en un embudo de decantación y escurrir la capa de solvente. Combinar las capas acuosas y sólidos restantes. Repetir el procedimiento anterior de 2 a 3 veces y además repetir la centrifugación si se observa emulsión en la muestra. Colocar la muestra en la estufa hasta descartar el remanente sobrante. Por último, enfriar y colocar en el desecador hasta obtener un peso invariable. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 1.

Caracterización de Cromo total por el método de Absorción Atómica.

De acuerdo con la metodología utilizada (USEPA, 2007): Realizar una digestión de muestra con ácido nítrico ultra puro. Colocar la muestra en un matraz erlenmeyer de 125 mL sin llenarlo completamente. Añadir ácido nítrico ultra puro, colocar encima un vidrio reloj y dejarlo reposar durante 30 minutos en temperatura ambiente. Calentar 2 h suavemente en las planchas a 120 °C. Dejar enfriar, enjuagar el erlenmeyer con agua destilada y filtrar. Transferir las soluciones digeridas a los balones correspondientes y completar el volumen con agua destilada. Colocar un volumen de 100 mL en el tubo de grafito en el horno. Calentar la muestra una temperatura del horno alrededor de 80 °C a 180 °C, para que el solvente se evapore, elevar la temperatura del horno de 350 °C a 1,600 °C, para que la mayor cantidad de material sólido presente se descomponga y separe de la muestra. Elevar la temperatura del horno de 1,800 °C a 2,800 °C, para que se atomice la muestra. La longitud de onda del cromo debe ser 357.9 nm. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 2.

Caracterización de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por Volumetría

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017) y (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013): Comprobar el pH y en caso de no encontrarse en el rango adecuado ajustar entre 6.50 y 7.50 con una solución H_2SO_4 o $NaOH$. Corroborar que la concentración oxígeno disuelto en el agua de dilución es la correcta. Si no es así, agregar oxígeno disuelto agitando la botella o aireándola con aire filtrado sin orgánico. Agregar 1 mL de cada una de las siguientes soluciones a la muestra: tampón fosfato, $MgSO_4$, $CaCl_2$ y $FeCl_3$. Mezclar bien y llevar a la temperatura a 20 ± 3 °C. Con un cilindro graduado, agregar el volumen de muestra deseado a botellas de DBO individuales y rellenar con el agua de dilución inoculada. Utilizar el método volumétrico, valorar con la solución Na_2SO_3 usando el indicador almidón-yodo para determinar el oxígeno disuelto inicial en todas las diluciones de muestras. Incubar a 20 ± 1 °C las botellas de DBO tapadas y selladas. Después de 5 días de

incubación, determinar oxígeno disuelto en todas las diluciones de muestras, utilizando el método volumétrico. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 3.

Caracterización de la Demanda Química de Oxígeno por el método de Espectrofotometría VIS

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Colocar una parte muestra en un viral Hach, viral 1 y colocar agua destilada en un viral Hach, viral 2 y añadir además el reactivo Hach en cada uno. Poner los virales en un bloque digestor HACH a 150 °C por 4 h. Inmediatamente a esto dejar enfriar a temperatura ambiente. Medir la absorbancia del blanco y encerrar el espectrofotómetro trabajando con una longitud de onda de 420 nm. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 4.

Caracterización de la Dureza Total por el método de Volumetría

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Realizar una dilución 25 mL de muestra con 50 mL de agua destilada. Agregar 1 mL de solución tampón para obtener un pH de 10.00. Adicionar 1 mL de la solución inhibidora y 3 gotas del indicador, seguido agregar lentamente el EDTA con agitación continua, hasta que cambie de color rojizo a un tono azul. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 5.

Caracterización de Oxígeno Disuelto por el método de Volumetría

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Valorar un volumen correspondiente a 200 mL de muestra original con una solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 M, hasta obtener un color pajizo pálido. Agregar unas gotas de solución de almidón y continuar la titulación hasta la primera desaparición del color azul. Si se sobrepasa el punto final, valorar por retroceso con una solución de bi-yodato 0,0021 M agregada gota a gota. Ignorar los cambios de coloración posteriores debido al efecto catalítico del nitrito o a trazas de sales

férricas que no se hayan acomplejado con el fluoruro. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 6.

Caracterización de Sólidos Totales por el método de Gravimetría

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Secar el crisol en una estufa a 103 °C - 105 °C durante más de 1 h. Enfriar en el desecador a temperatura ambiente y pesar. Homogenizar la muestra y utilizar un cilindro graduado para colocar la muestra al crisol. Colocar el crisol en una estufa a 103 °C – 105 °C y dejar hasta su completa evaporación de líquido, enfriar en un desecador a temperatura ambiente y pesar. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 7.

Caracterización de Sulfatos por el método de Espectrofotometría VIS

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Colocar 100 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Poner 20 mL de la solución tampón y mezclar energéticamente con agitador magnético. Mientras, agregar una cucharada de BaCl₂. Agitar durante 60 s a velocidad constante. Inmediatamente, verter la solución en la celda de absorción del espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm y medir la turbidez. Determinar la concentración de SO₄⁻² en la muestra comparando la lectura de turbiedad con una curva de calibración de SO₄⁻² preparada previamente. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 8.

Caracterización de Sulfuros por el método de Espectrofotometría

De acuerdo con la metodología utilizada (Hach Company, 2018): Diluir 1 mL de muestra en 400 mL de agua tipo I. Iniciar el programa 690 sulfuro en el espectrofotómetro UV – VIS. Preparar el blanco con agua destilada, se utiliza 10 mL. Colocar dentro del equipo. Preparar la muestra con una pipeta, se utiliza 10 mL. Agregar 1 mL de reactivo de sulfuro. Colocar dentro del equipo. Leer los resultados observados en el equipo. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 9.

Caracterización de Tensoactivos por el método de Espectrofotometría VIS

De acuerdo con la metodología utilizada (Baird et al., 2017): Preparar una curva de calibración inicial. Seguido preparar una serie de embudos de decantación. Pipetear volúmenes de solución LAS estándar en embudos de decantación. Agregar agua para que el volumen total sea de 100 mL en cada embudo de decantación. Agregar la muestra a un embudo de decantación y a cada muestra o estándar adicionar tres gotas de fenolftaleína, añadir hidróxido de sodio 1N, hasta obtener un color rosado. Después adicionar H_2SO_4 1N hasta que el color rosado desaparezca. Añadir H_2O_2 y agitar. Agregar 10 mL de cloroformo y 25 mL de reactivo de azul de metileno. Agitar el embudo durante. Separar la capa de cloroformo en un segundo embudo de decantación. Lavar el tubo de suministro del primer embudo de decantación con cloroformo. Adicionar 50 mL de solución anterior del lavado y agitar. Dejar en reposo, extraer a la capa de cloroformo a través de un embudo en un balón aforado de 100 mL. Añadir 10 mL de cloroformo para extraer la solución de lavado. Acumular los extractos clorofórmicos en el balón de 100 mL completar el volumen con cloroformo. Determinar la absorbancia a 652 nm frente a un blanco de cloroformo. Los equipos, reactivos y el procedimiento en más detalle se pueden observar en el Anexo 10.

3.4. Análisis estadístico

Los datos de los resultados obtenidos de los diferentes análisis fueron ingresados en Minitab[®]. En el cual se realizó el análisis de varianza, desviación estándar y media. Se aplicó el diseño de modelo lineal general, los datos se muestran en la Tabla 6 para cada parámetro se realizó el análisis de ANOVA con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$). Se realizaron réplicas del 10% de las 18 muestras obtenidas. La relación de cada parámetro (Hora, Día y Punto) con sus respectivos niveles, relaciones dobles, relaciones triples y la relación de cada parámetro con el número de muestra se representan mediante gráficos en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

En el presente proyecto se tomaron muestras de agua residual proveniente de una industria de curtiembre. Se realizaron los análisis cuantitativos de diferentes parámetros para estudiar la calidad de agua que se dirige hacia el río. Los análisis fueron llevados a cabo por el Laboratorio CICAM de la Escuela Politécnica Nacional que cuenta con una certificación ISO 17025.

Los límites máximos permisibles que se observan en la Tabla 7 fueron obtenidos de la norma ambiental vigente en el Ecuador, (TULSMA) Texto unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente, Libro VI, Anexo I. (Ministero del Ambiente, 2015). Los cuales servirán de guía para identificar que parámetros se encuentran dentro del rango permitido. Los resultados detallados se encuentran en el Anexo 11.

Tabla 7.

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	mg/L	30.00
Cromo total	mg/L	0.032
Demanda bioquímica de oxígeno DB05	mg/L	100.00
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	200.00
Dureza total	mg/L	500.00
Oxígeno disuelto (O2)	mg/L	>80.00
Sólidos totales	mg/L	1,600.00
Sulfatos (S04)	mg/L	1,000.00

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible
Sulfuros (S)	mg/L	0.5
Tensoactivos	mg/L	0.5
Temperatura	°C	Condición natural ± 3
pH	-	6.00-9.00

Nota: Se observan con negrilla los valores que se encuentran por encima del límite establecido.

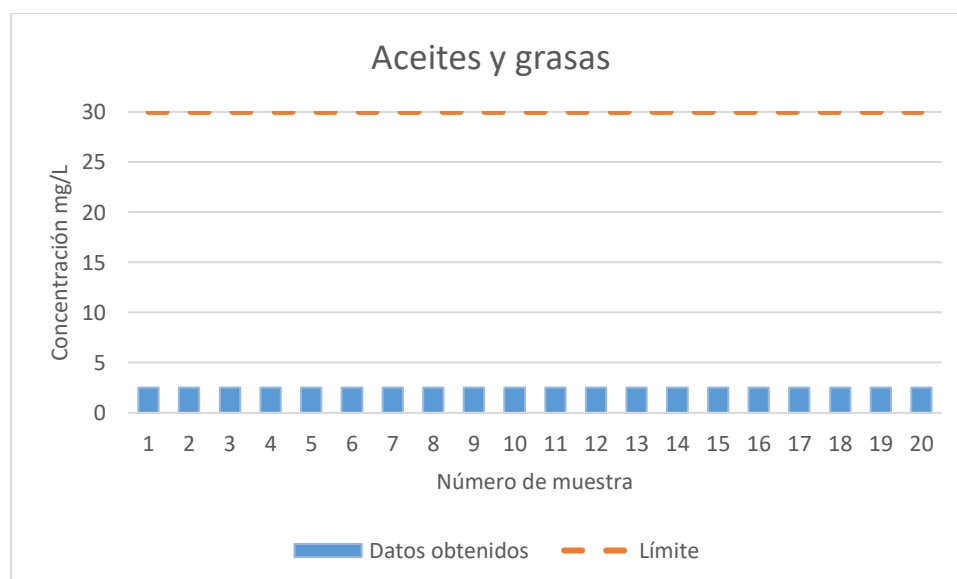
4.1. Análisis de los parámetros de las muestras

Análisis aceites y grasas

Se obtuvo un valor de 2.5 mg/L, sin presentar ninguna variación entre los factores Día, Hora ni Punto. Por lo cual no se realizó el análisis de ANOVA. Se puede observar en la Fig. 3 que todas las muestras se encuentran por debajo del límite establecido de 30 mg/L de aceites y grasas.

Figura 3.

Comparación de los resultados de la concentración de aceites y grasas en los diferentes puntos de toma de muestras.

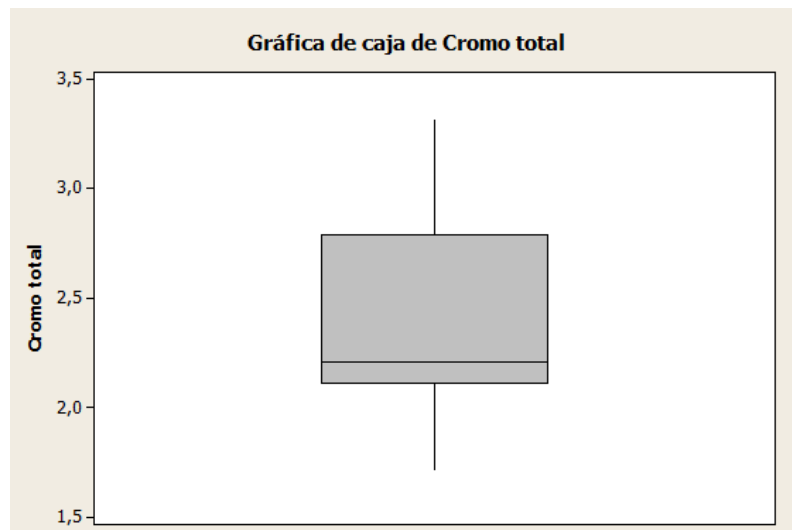


Análisis cromo total

El parámetro cromo total posee una media de 2.391 mg/L, con una desviación estándar de 0.461 mg/L, además, de tener una varianza de 0.213 mg/L y el coeficiente de variación de 19.29 mg/L con un valor mínimo de 1.720 mg/L y un máximo de 3.310 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 2.11 mg/L y 2.79 mg/L respectivamente. Y una mediana de 2.21 mg/L como se puede observar en la Fig. 4.

Figura 4.

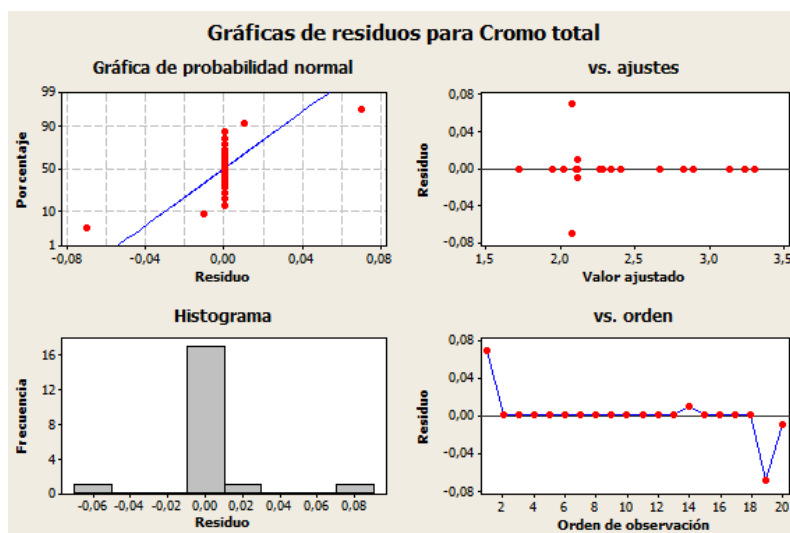
Gráfica de caja de cromo total



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo con éxito. Consecutivamente en la Fig. 5, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 5.

Gráfica de residuos 4 en 1 para cromo total



Como se observa en la Tabla 8 se rechazan las hipótesis nulas para el factor Día y para la interacción triple (Hora*Punto*Día) obteniendo valores de p de 0.003 y 0.047 respectivamente. Y no se rechazan las hipótesis nulas para los factores correspondientes a Punto, Hora e interacciones dobles. Por lo que se concluye que el factor Día y la interacción triple son fuentes de variabilidad para el resultado de cromo total, mientras que el resto no representan una fuente de variabilidad.

Tabla 8.

Análisis de varianza para cromo total

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	0.00024	0.00071	0.00071	0.14	0.742
Punto	2	0.13687	0.08168	0.04084	8.17	0.109
Día	2	3.27649	3.23613	1.61806	3.2361	0.003
Hora*Punto	2	0.01614	0.01676	0.00838	1.68	0.374
Hora*Día	2	0.12780	0.15133	0.07566	1.513	0.062
Punto*Día	4	0.05793	0.07802	0.01951	3.9	0.214

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora*Punto*Día	4	0.41441	0.41441	0.1036	2.072	0.047
Error	2	0.01	0.01	0.005		
Total	19	4.0399				

Como se ve en la Fig. 6, el factor Hora y Punto tienen medias iguales mientras que para el factor Día, la respuesta para el nivel sábado es mayor que para los niveles martes y miércoles, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla 9. Por último, en la Fig. 7 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Los resultados de cromo total obtenidos se pueden apreciar en la Fig. 8. Todas las muestras se encuentran sobre el valor de 0.032 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 6.

Gráfica de efectos principales para cromo total

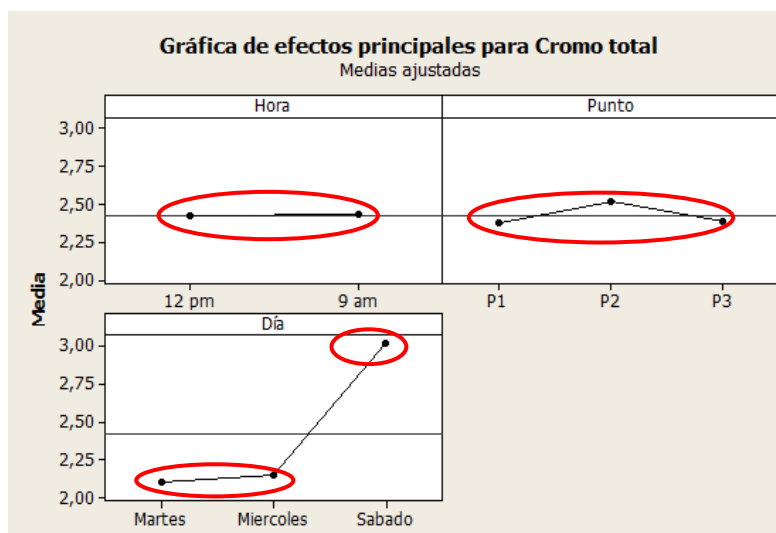


Tabla 9.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
9 am	10	2.429	A
12 pm	10	2.417	A
P2	6	2.517	A
P3	7	2.378	A
P1	7	2.373	A
Sábado	6	3.013	A
Miércoles	7	2.152	B
Martes	7	2.103	B

Figura 7.

Gráfica de interacciones dobles para cromo total

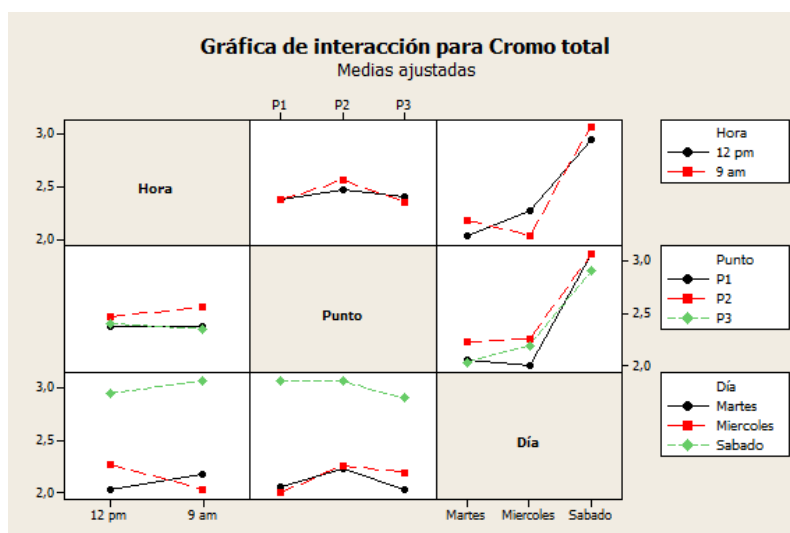
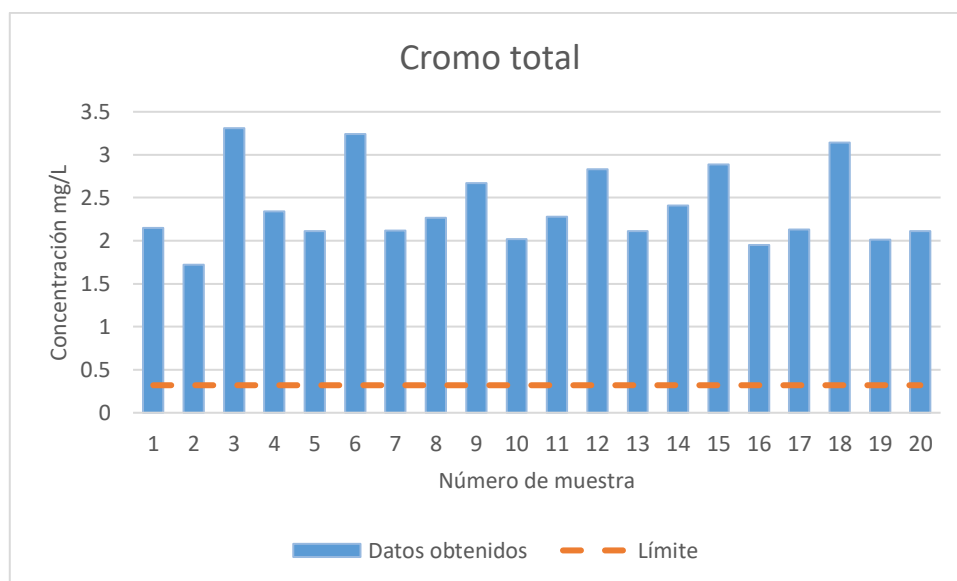


Figura 8.

Comparación de los resultados de la concentración de cromo total en los diferentes puntos de toma de muestras.

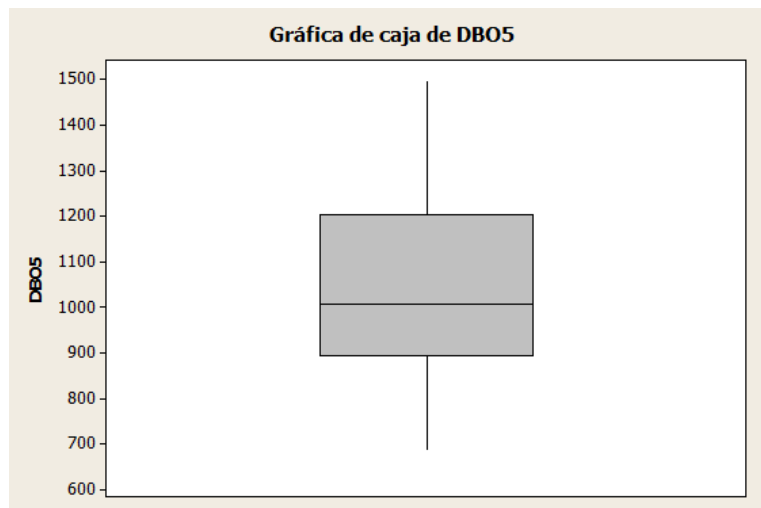


Análisis demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La variable DQO5 posee una media de 1,028.3 mg/L con una desviación estándar de 209.9 mg/L además, de tener una varianza de 44,069.6 mg/L y el coeficiente de variación de 20.42 mg/L con un valor mínimo de 689 mg/L y un máximo de 1,494 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 892 mg/L y 1,202 mg/L respectivamente. Y una mediana de 1,007.5 mg/L como se puede observar en la Fig. 9.

Figura 9.

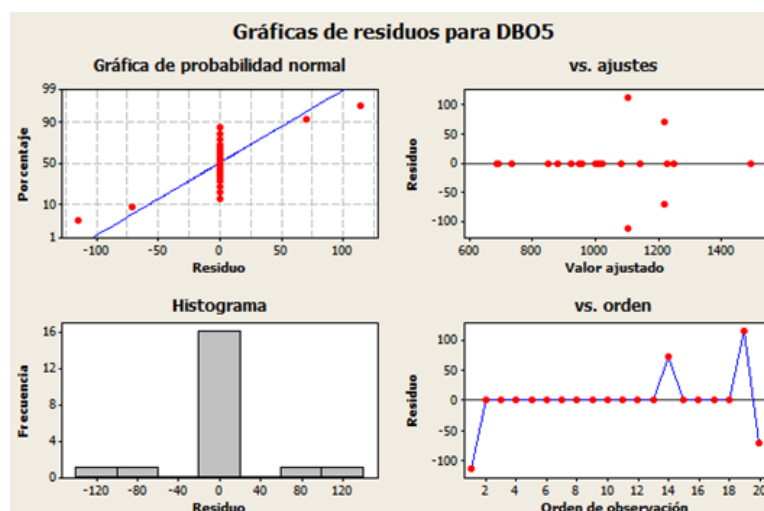
Gráfica de caja de DBO₅



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig. 10, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 10.

Gráfica 4 en 1 de DBO₅



Como se observa en la Tabla 10 no se rechazan las hipótesis nulas en ninguno de los factores analizados (Hora, Punto y Día) ni en las interacciones dobles y triples, ya que se obtienen valores de $p > 0,05$. Por lo que se concluye que la concentración de DBO5 es similar en todos los factores e interacciones analizadas. Por lo cual no se consideran fuentes de variabilidad.

Tabla 10.

Análisis de varianza para DBO₅

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	58,536	54,778	54,778	3.04	0.224
Punto	2	87,011	100,824	50,412	2.79	0.264
Día	2	501,002	473,677	236,839	13.13	0.071
Hora*Punto	2	36,915	50,433	25,216	1.40	0.417
Hora*Día	2	74,372	68,246	34,123	1.89	0.346
Punto*Día	4	15,651	15,866	3,966	0.22	0.907
Hora*Punto*Día	4	27,761	27,761	6,940	0.38	0.811
Error	2	36,074	36,074	18,037		
Total	19	837,322				

Se puede observar en la Fig. 11, que los factores Hora, Punto y Día tienen medias iguales, además esto se corrobora según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla 11. Por último, en la Fig. 12 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno obtenidos se pueden apreciar en la Fig. 13. Todas las muestras se encuentran sobre el valor de 100 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 11.

Gráfica de efectos principales DBO₅

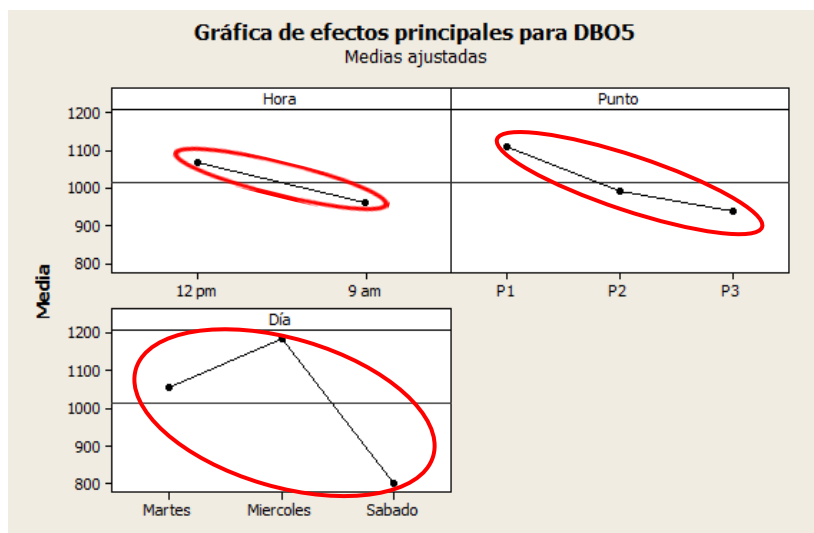


Tabla 11.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	1,066.9	A
9 am	10	959.7	A
P1	7	1,109.8	A
P2	6	992.0	A
P3	7	938.0	A
Miércoles	7	1,184.8	A
Martes	7	1,054.2	A
Sábado	6	800.8	A

Figura 12.

Gráfica de interacciones dobles para DBO₅

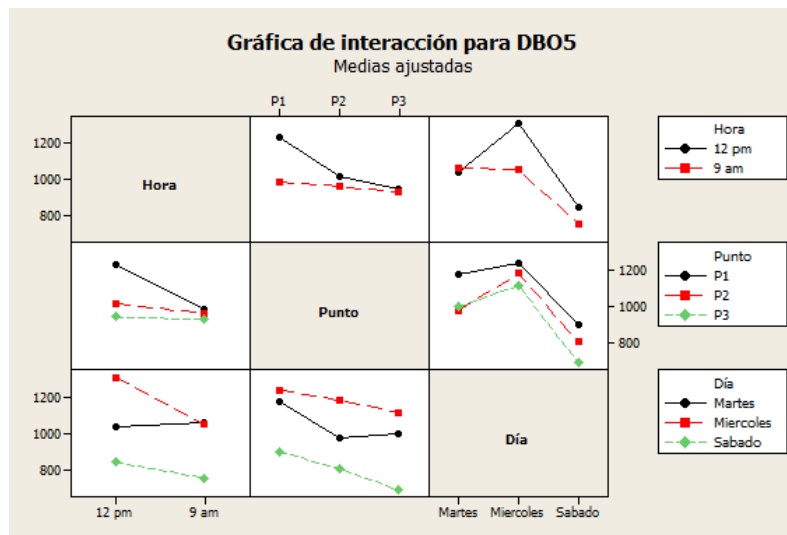
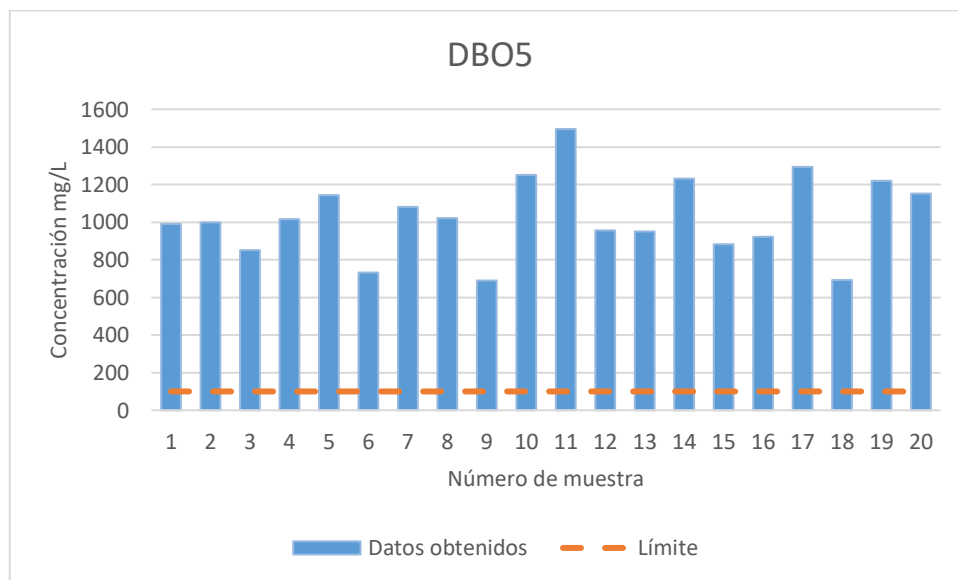


Figura 13.

Comparación de los resultados de la concentración de DBO₅ en los diferentes puntos de toma de muestras.



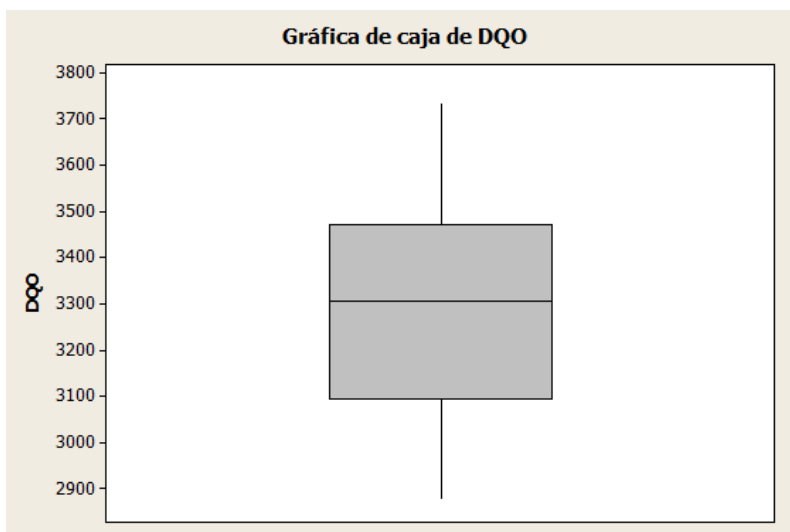
Análisis Demanda química de oxígeno (DQO)

El parámetro DQO posee una media de 3,300 mg/L, con una desviación estándar de 229.3 mg/L además, de tener una varianza de 52,600 mg/L y el coeficiente de variación de 6.95 mg/L con un

valor mínimo de 2,880 mg/L y un máximo de 3,730 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 3,095 mg/L y 3,730 mg/L respectivamente. Y una mediana de 3,305 mg/L como se puede observar en la Fig. 14

Figura 14.

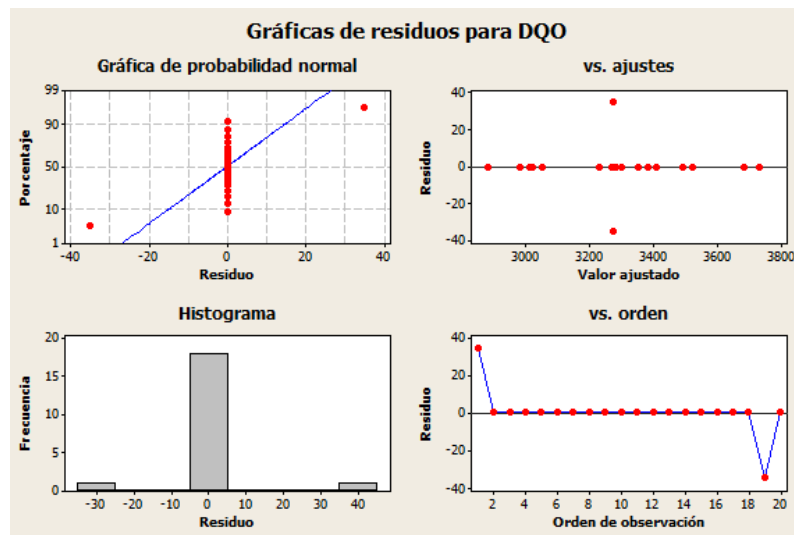
Gráfica de caja DQO



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig. 15, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 15.

Gráfica de residuos 4 en 1 para DQO



Como se observa en la Tabla 12 se rechazan las hipótesis nulas para los factores Hora, Día y Punto y la interacción triple (Hora*Punto*Día) obteniendo valores de p de 0.003, 0.004, 0.021, 0.036 respectivamente. Y no se rechazan las hipótesis nulas para las interacciones dobles. Por lo que se concluye que los tres factores Hora, Día y Punto son fuentes de variabilidad para la respuesta DQO. Mientras que el resto no son fuente de variabilidad. Como se ve en la Fig. 16, el factor Hora y Día tienen medias diferentes mientras que para el factor Punto, la respuesta para el nivel P3 es mayor que para los niveles P2 Y P1, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla 13. Por último, en la Fig. 17 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Como se puede apreciar en la Fig. 18 todas las muestras se encuentran sobre el valor de 200 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Tabla 12.

Análisis de varianza para DQO

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	56,180	39,072	39,072	31.90	0.030
Punto	2	131,242	113,689	56,844	46.40	0.021
Día	2	634,551	661,141	330,571	269.85	0.004
Hora*Punto	2	16,762	13,921	6,961	5.68	0.150
Hora*Día	2	11,554	14,118	7,059	5.76	0.148
Punto*Día	4	13,442	16,682	4,170	3.40	0.240
Hora*Punto*Día	4	133,217	133,217	33,304	27.19	0.036
Error	2	2,450	2,450	33,304		
Total	19	999,400				

Figura 16.

Gráfica de efectos principales para DQO

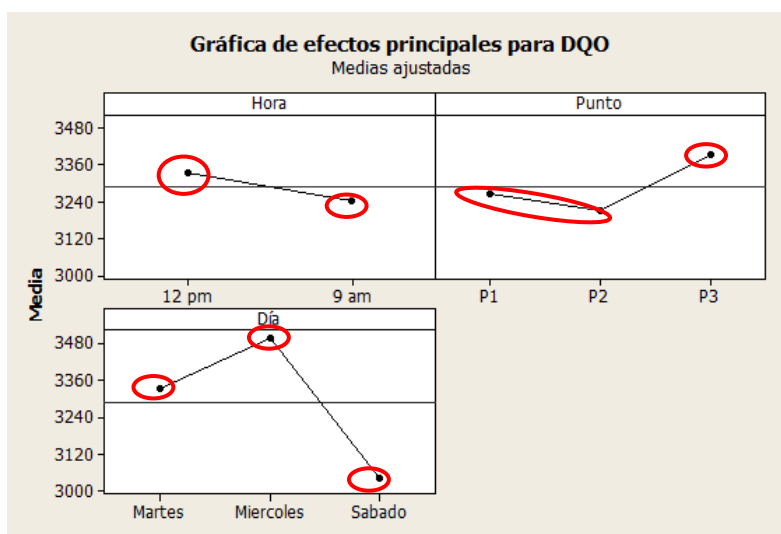


Tabla 13.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	3,334	A
9 am	10	3,244	B
P3	7	3,393	A
P1	7	3,266	B
P2	6	3,208	B
Miércoles	7	3,495	A
Martes	7	3,333	B
Sábado	6	3,040	C

Figura 17.

Gráfica de interacciones dobles para DQO

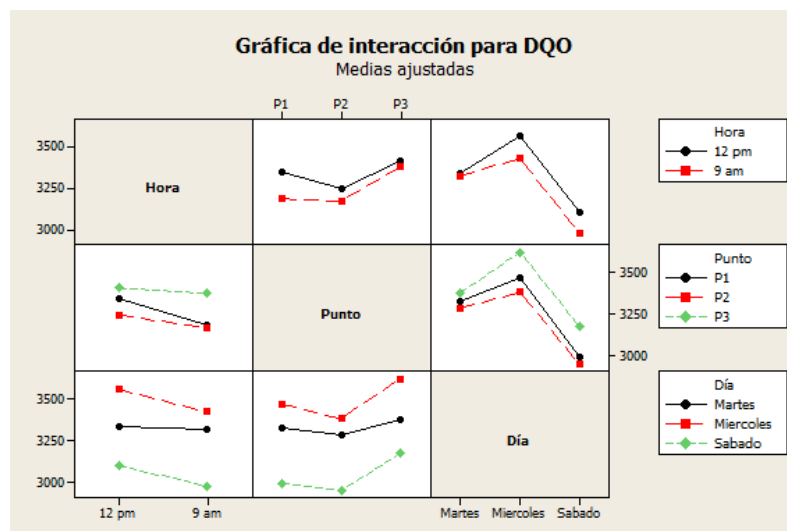
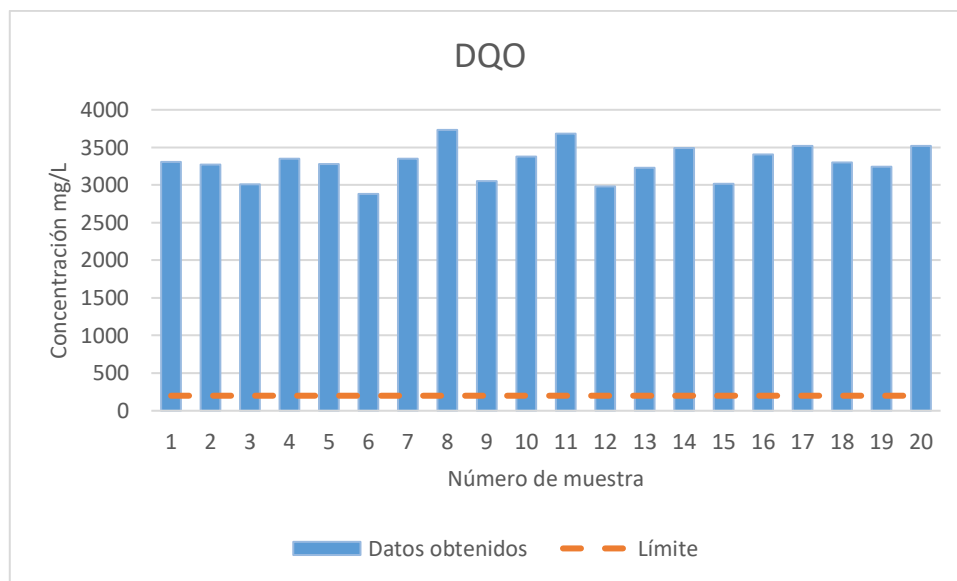


Figura 18.

Comparación de los resultados de la concentración de DQO en los diferentes puntos de toma de muestras.

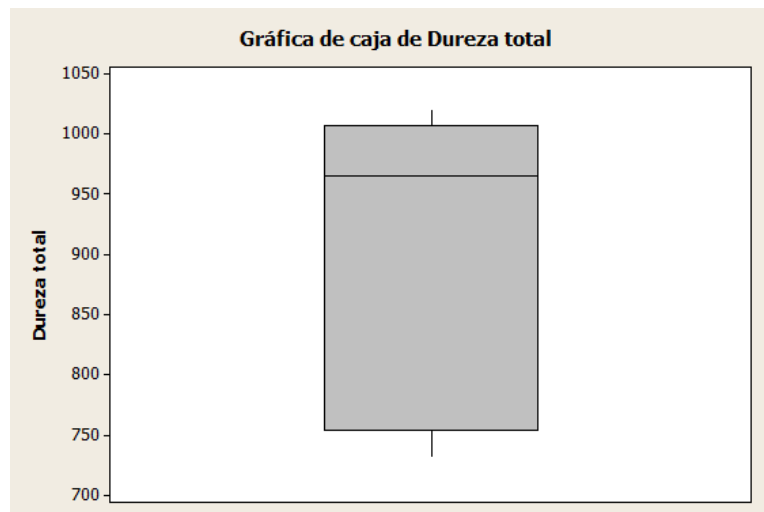


Análisis dureza total

El parámetro dureza total posee una media de 911.9 mg/L, con una desviación estándar de 115.2 mg/L además, de tener una varianza de 13,275.3 mg/L y el coeficiente de variación de 12.63 mg/L con un valor mínimo de 733 mg/L y un máximo de 1,020 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 754.5 mg/L y 1,007.5 mg/L respectivamente. Y una mediana de 965 mg/L como se puede observar en la Fig. 19

Figura 19.

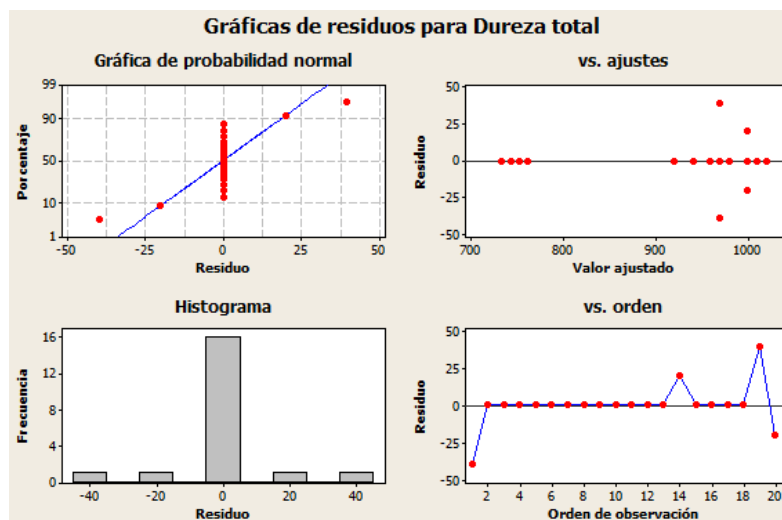
Gráfica de caja de dureza total



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig. 20, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 20.

Gráfica de residuos 4 en 1 para dureza total



Como se observa en la Tabla 14. se rechazan las hipótesis nulas para el factor Día con un valor de p de 0.016. Y no se rechazan las hipótesis nulas para los factores Punto, Hora y las interacciones dobles e interacciones triples. Por lo que se concluye que el factor Día es fuente de variabilidad para la respuesta de dureza total. Mientras que el resto no son fuente de variabilidad.

Tabla 14.

Análisis de varianza para dureza total

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	952	692	692	0.35	0.613
Punto	2	2,972	2,075	1,037	0.53	0.654
Día	2	238,223	234,082	117,041	59.71	0.016
Hora*Punto	2	1,442	1,491	746	0.38	0.724
Hora*Día	2	1,826	1,819	910	0.46	0.683
Punto*Día	4	2,160	2,428	607	0.31	0.854
Hora*Punto*Día	4	733	733	183	0.09	0.975
Error	2	3,921	3,921	1,960		
Total	19	252,230				

Como se ve en la Fig.21, los factores Hora y Punto tienen medias iguales mientras que para el factor Día, la respuesta para el nivel sábado es menor que para los niveles martes y miércoles, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla.15. Por último, en la Fig.22 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Como se puede apreciar en la Fig.23 todas las muestras se encuentran sobre el valor de 500 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Se utilizó esta referencia sin ser la adecuada, ya que no se encontró el parámetro en los Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Figura 21.

Gráfica de efectos principales para dureza total

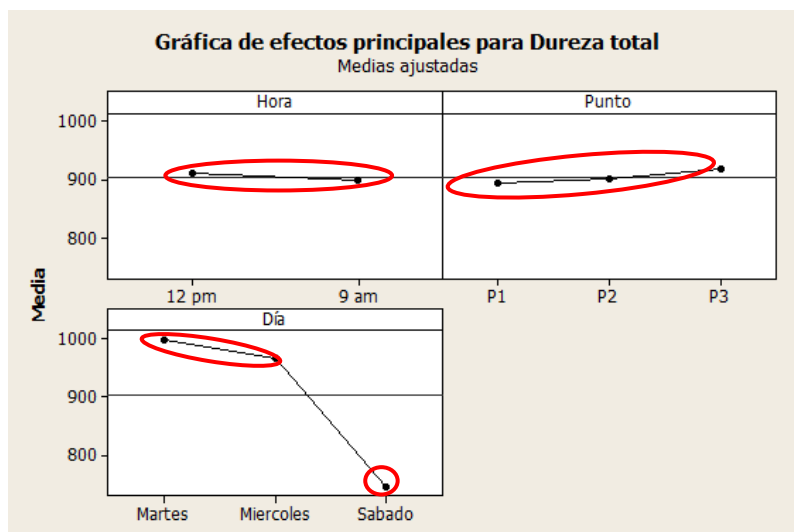


Tabla 15.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	909.8	A
9 am	10	897.7	A
P3	7	917.5	A
P2	6	901.0	A
P1	7	892.8	A
Martes	7	998.4	A
Miércoles	7	967.0	A
Sábado	6	745.8	B

Figura 22.

Gráfica de interacciones dobles para dureza total

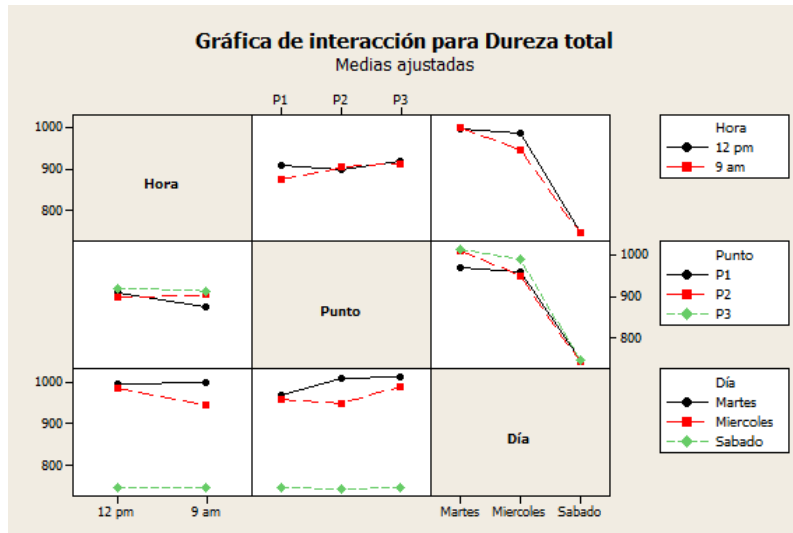
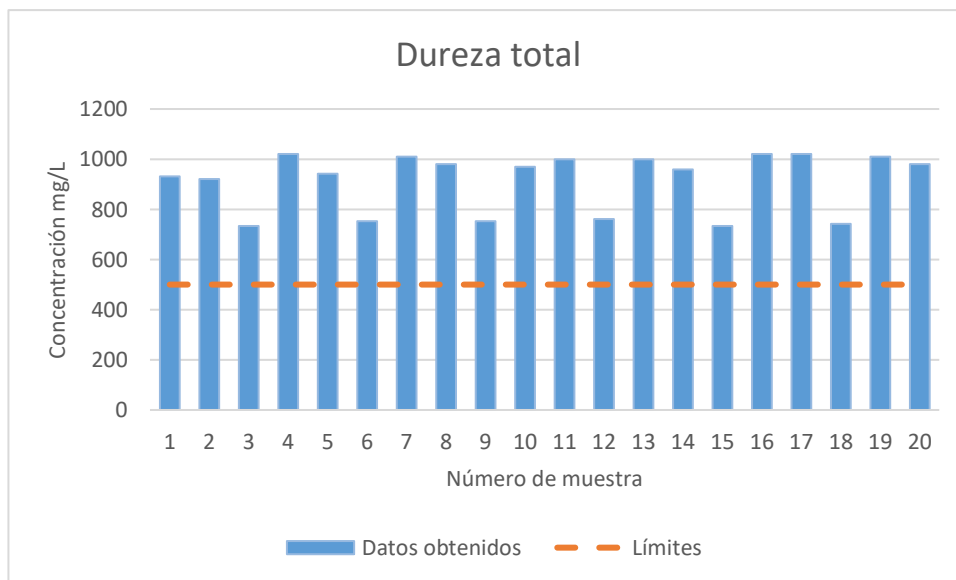


Figura 23.

Comparación de los resultados de la concentración de dureza total en los diferentes puntos de toma de muestras.



Análisis oxígeno disuelto(O₂)

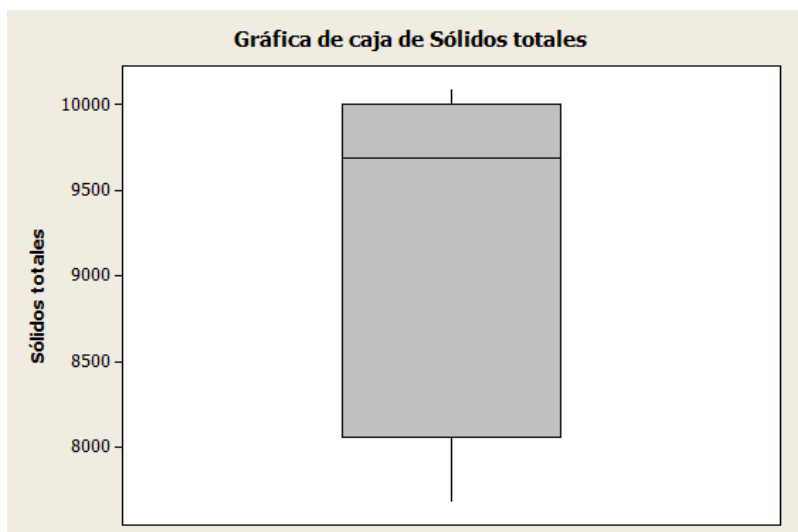
No se realizó el análisis ANOVA para este parámetro, debido a que se obtuvo un valor de oxígeno disuelto de 0 mg/L, sin presentar variación en ninguno de los factores Hora, Día ni Punto. El valor se encuentra fuera del límite establecido.

Análisis sólidos totales

El parámetro sólidos totales posee una media de 9,249 mg/L, con una desviación estándar de 921 mg/L además, de tener una varianza de 847,709 mg/L y el coeficiente de variación de 9.95 con un valor mínimo de 7,692 mg/L y un máximo de 10,082 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 8,057 mg/L y 10,003 mg/L respectivamente. Y una mediana de 965 mg/L como se puede observar en la Fig. 24

Figura 24.

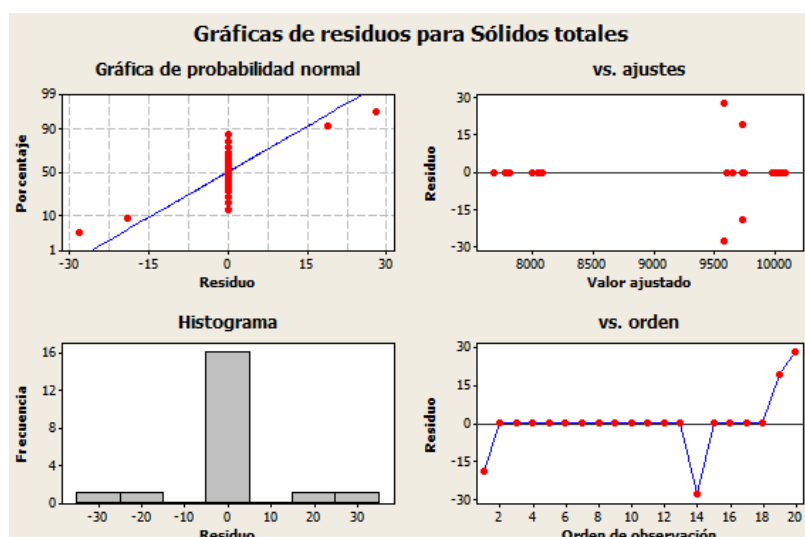
Gráfica de caja de sólidos totales



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig. 25, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 25.

Gráfica de residuos 4 en 1 para sólidos totales



Como se observa en la Tabla 16. se rechazan las hipótesis nulas para el factor Día e interacción doble (Hora*Día) con un valor de p de 0.000 y 0.004 respectivamente. Además, no se rechazan las hipótesis nulas para los factores Punto, Hora y las interacciones dobles e interacciones triples exceptuando la antes mencionada. Por lo que se concluye que el factor Día e interacción doble son fuente de variabilidad para la respuesta de sólidos totales. Mientras que el resto no son fuente de variabilidad.

Tabla 16.

Análisis de varianza para sólidos totales

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	1,656	6,760	6,760	5.90	0.136
Punto	2	9,155	5,372	2,686	2.35	0.299
Día	2	15,509,242	15,627,760	7,813,880	6,824.35	0.000
Hora*Punto	2	12,973	1,552	776	0.68	0.596
Hora*Día	2	557,440	537,924	268,962	234.90	0.004

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Punto*Día	4	9,942	9,186	2,297	2.01	0.359
Hora*Punto*Día	4	3,769	3,769	942	0.82	0.613
Error	2	2,290	2,290	1,145		
Total	19	16,106,468				

Como se ve en la Fig. 26, los factores Hora y Punto tienen medias iguales mientras que para el factor Día, la respuesta para el nivel sábado es menor que para los niveles martes y miércoles, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla 17. Por último, en la Fig. 27 se verifica que no es una fuente de variabilidad la interacción doble (Hora*Día). Como se puede apreciar en la Fig. 28 todas las muestras se encuentran sobre el valor de 1,600 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 26.

Gráfica de efectos principales para sólidos totales

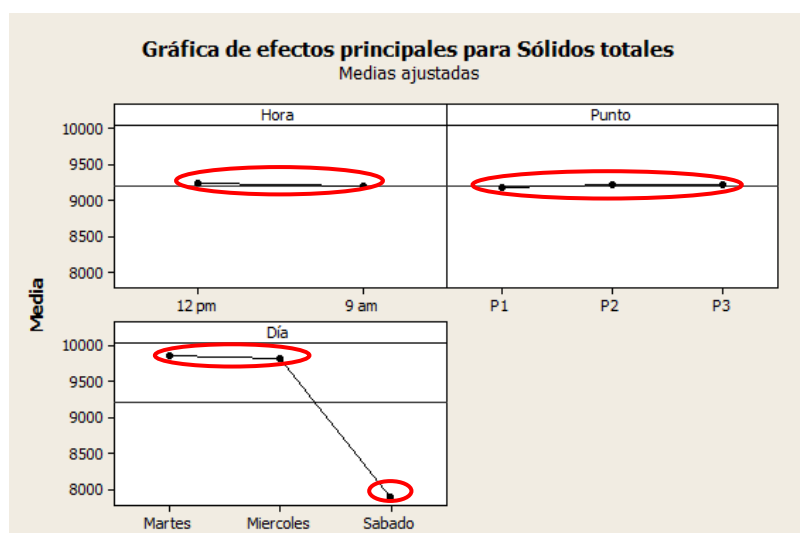


Tabla 17.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	9,222	A
9 am	10	9,185	A
P3	7	9,216	A
P2	6	9,214	A
P1	7	9,186	A
Martes	7	9,874.0	A
Miércoles	7	9,832.0	A
Sábado	6	7,904.0	B

Figura 27.

Gráfica de interacciones dobles para sólidos totales

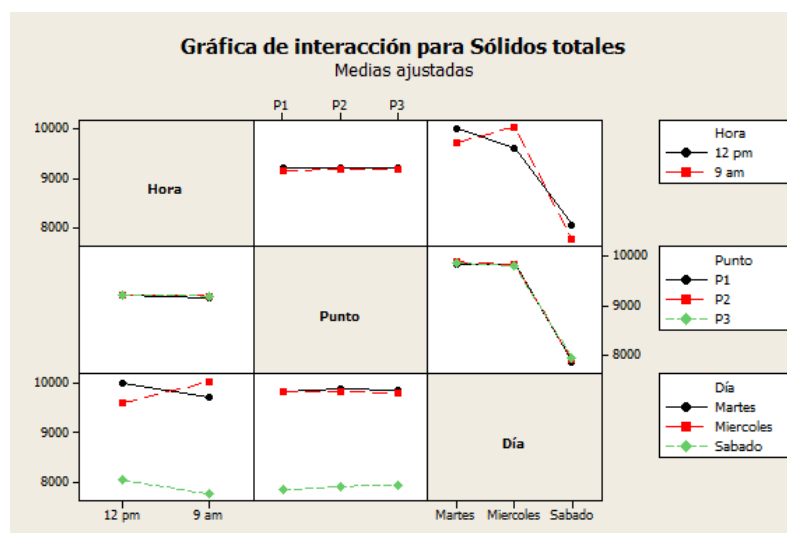
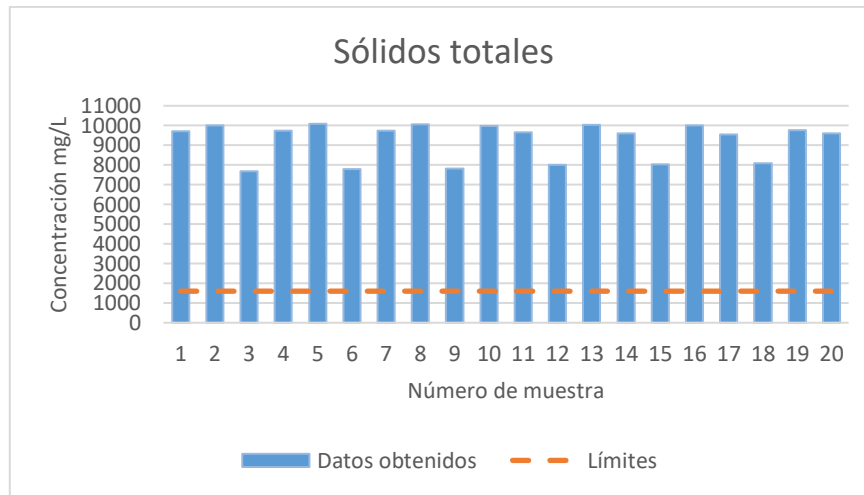


Figura 28.

Comparación de los resultados de la concentración de sólidos totales en los diferentes puntos de toma de muestras.

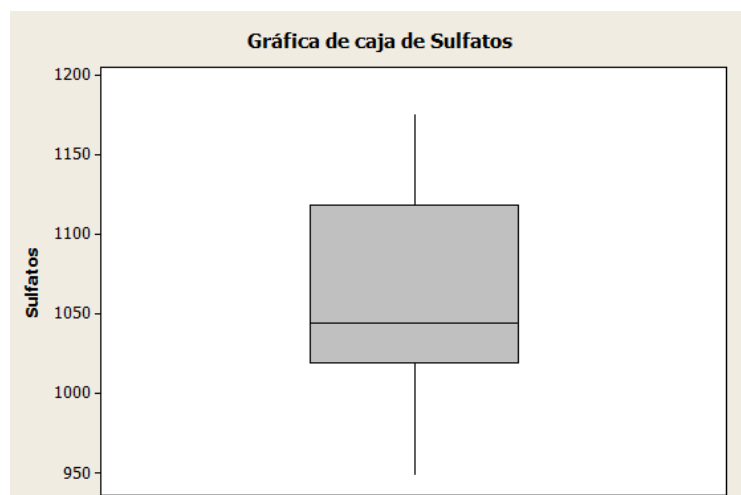


Análisis sulfatos

La variable sulfatos posee una media de 1,055.3 mg/L, con una desviación estándar de 65.5 mg/L además, de tener una varianza de 4,285.5 mg/L y el coeficiente de variación de 6.20 mg/L con un valor mínimo de 950 mg/L y un máximo de 1,175 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 1,020 mg/L y 1,118.8 mg/L respectivamente. Y una mediana de 1,045 mg/L como se puede observar en la Fig. 29.

Figura 29.

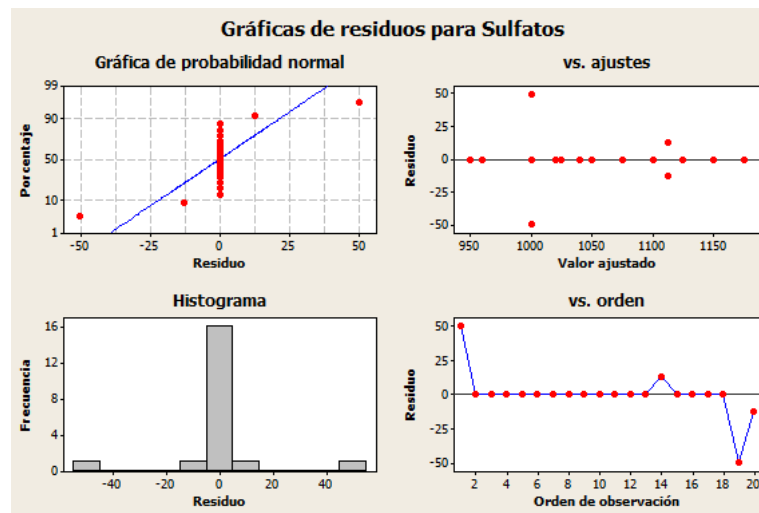
Gráfica de caja de sulfatos



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig. 30, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 30.

Gráfica de residuos 4 en 1 para sulfatos



Como se observa en la Tabla 18 no se rechazan las hipótesis nulas en ninguno de los factores analizados (Hora, Punto y Día) ni en las interacciones dobles y triples, ya que se obtienen valores de $p > 0,05$. Por lo que se concluye que la concentración de sulfatos es similar en todos los factores e interacciones analizadas. Por lo cual no se consideran fuentes de variabilidad.

Tabla 18.*Análisis de varianza para sulfatos*

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	151	194	194	0.07	0.812
Punto	2	405	100	50	0.02	0.981
Día	2	57,669	56,079	28,040	10.56	0.087
Hora*Punto	2	4,320	4,442	2,221	0.84	0.545
Hora*Día	2	9,842	10,129	5,064	1.91	0.344
Punto*Día	4	1,299	1,213	303	0.11	0.965
Hora*Punto*Día	4	2,424	2,424	606	0.23	0.902
Error	2	5,313	5,313	2,656		
Total	19	81,424				

Se puede observar en la Fig. 31, que los factores Hora, Punto y Día tienen medias iguales, además esto se corrobora según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla 19. Por último, en la Fig. 32 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Como se puede apreciar en la Fig. 33 solamente tres muestras, las número 4,18 y 19 se encuentran por debajo del valor de 1,000 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 31.

Gráfica de efectos principales para sulfatos

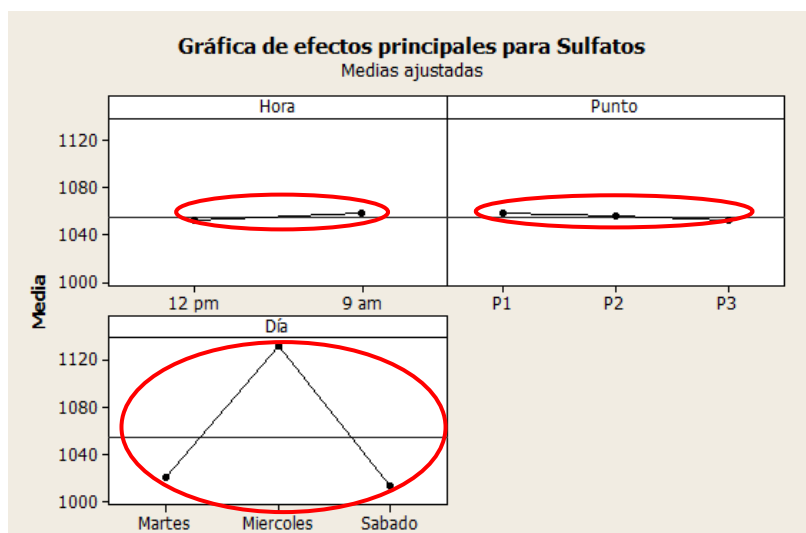


Tabla 19.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
9 am	10	1,058	A
12 pm	10	1,052	A
P1	7	1,058	A
P2	6	1,056	A
P3	7	1,052	A
Martes	7	1,131	A
Miércoles	7	1,021	A
Sábado	6	1,012	A

Figura 32.

Gráfica de interacciones dobles para sulfatos

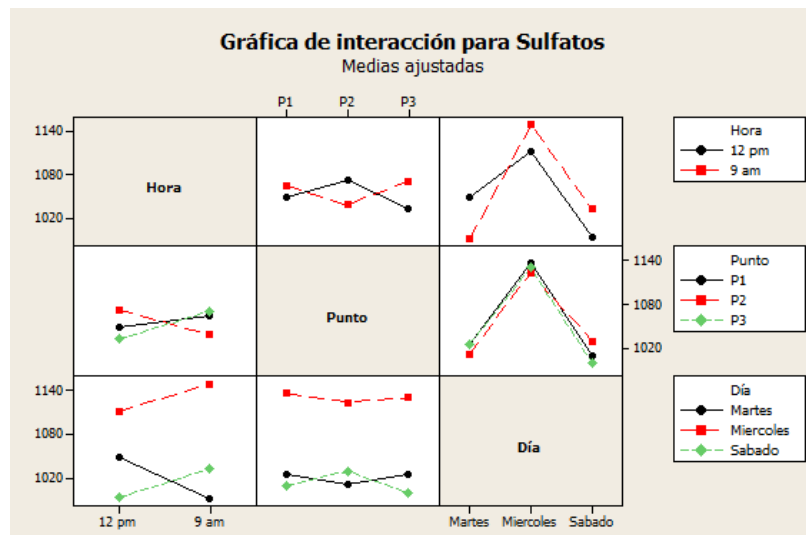
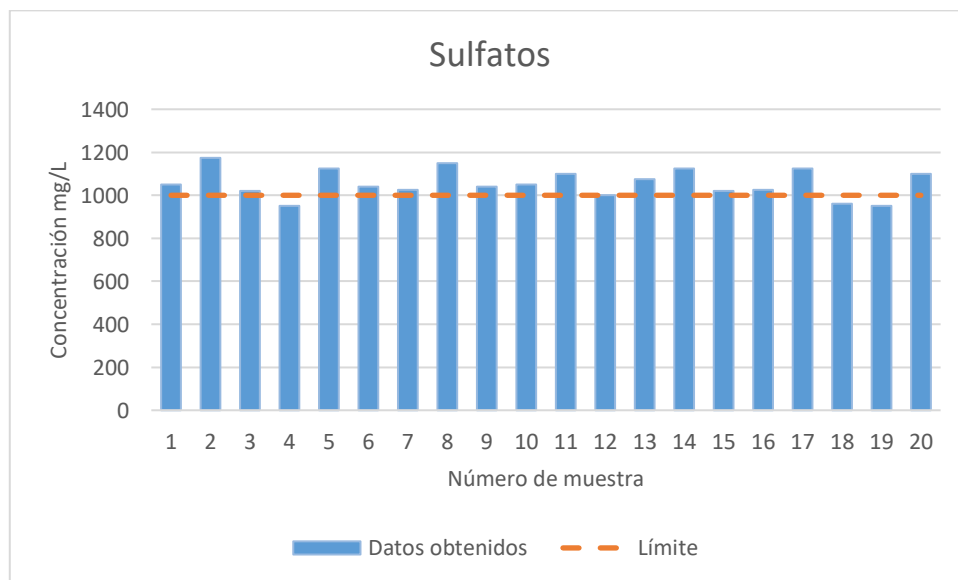


Figura 33.

Comparación de los resultados de la concentración de sulfatos en los diferentes puntos de toma de muestras.



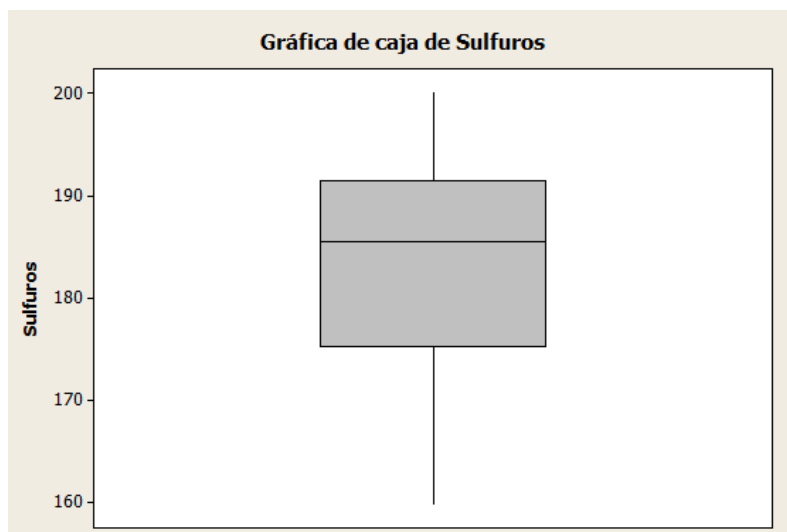
Análisis sulfuros

La variable sulfuros posee una media de 183.80 mg/L, con una desviación estándar de 11.43 mg/L además, de tener una varianza de 130.59 mg/L y el coeficiente de variación de 6.22 mg/L con

un valor mínimo de 160 mg/L y un máximo de 200 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 175.25 mg/L y 191.50 mg/L respectivamente. Y una mediana de 185.5 mg/L como se puede observar en la Fig.34

Figura 34.

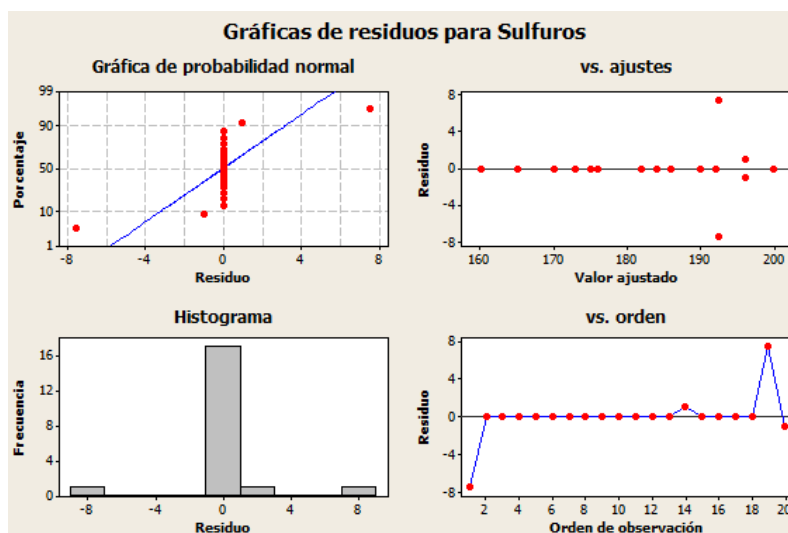
Gráfica de caja de sulfuros



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig.35, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 35.

Gráfica de residuos 4 en 1 para sulfuros



Como se observa en la Tabla.20. no se rechazan las hipótesis nulas en ninguno de los factores analizados (Hora, Punto y Día) ni en las interacciones dobles y triples, ya que se obtienen valores de $p > 0,05$. Por lo que se concluye que la concentración de sulfuros es similar en todos los factores e interacciones analizadas. Por lo cual no se consideran fuentes de variabilidad.

Tabla 20.

Análisis de varianza para sulfuros

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	0.00	0.72	0.72	0.01	0.921
Punto	2	821.60	686.31	343.15	5.99	0.143
Día	2	290.12	243.07	121.53	2.12	0.320
Hora*Punto	2	96.38	80.32	40.16	0.70	0.588
Hora*Día	2	122.54	123.07	61.53	1.07	0.482
Punto*Día	4	779.98	860.20	215.05	3.76	0.221
Hora*Punto*Día	4	256.09	256.09	64.02	1.12	0.522

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Error	2	114.50	114.50	57.25		
Total	19	2,481.20				

Se puede observar en la Fig. 36, que los factores Hora, Punto y Día tienen medias iguales, además esto se corrobora según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla.21. Por último, en la Fig.37 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Como se puede apreciar en la Fig.38 todas las muestras se encuentran muy por encima del valor de 0.5 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 36.

Gráfica de efectos principales para sulfuros

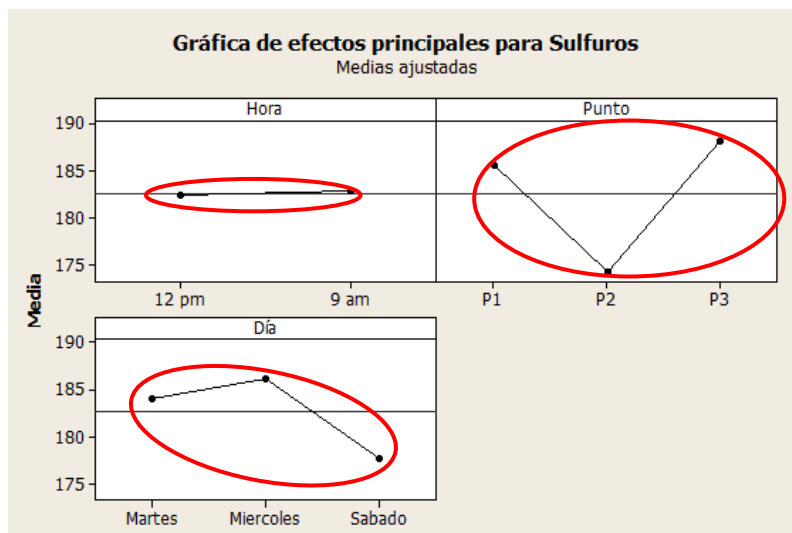


Tabla 21.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
9 am	10	182.8	A
12 pm	10	182.4	A
P3	7	188.2	A
P1	7	185.6	A
P2	6	174.2	A
Miércoles	7	186.2	A
Martes	7	184.1	A
Sábado	6	177.7	A

Figura 37.

Gráfica de interacciones dobles para sulfuros

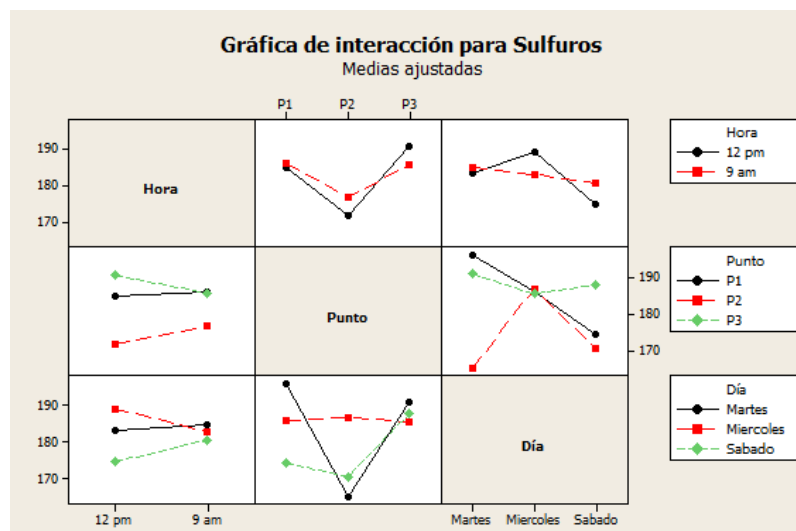
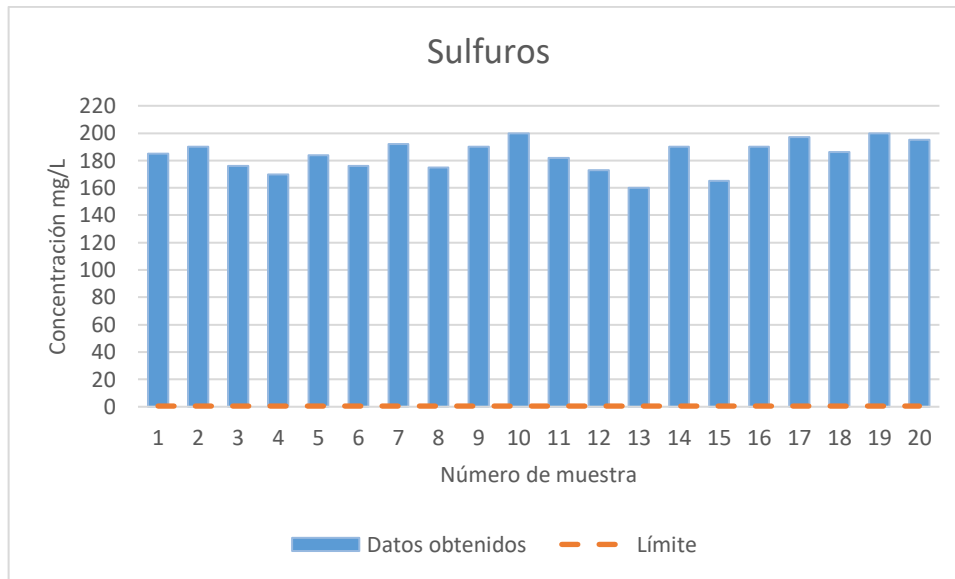


Figura 38.

Comparación de los resultados de la concentración de sulfuros en los diferentes puntos de toma de muestras.

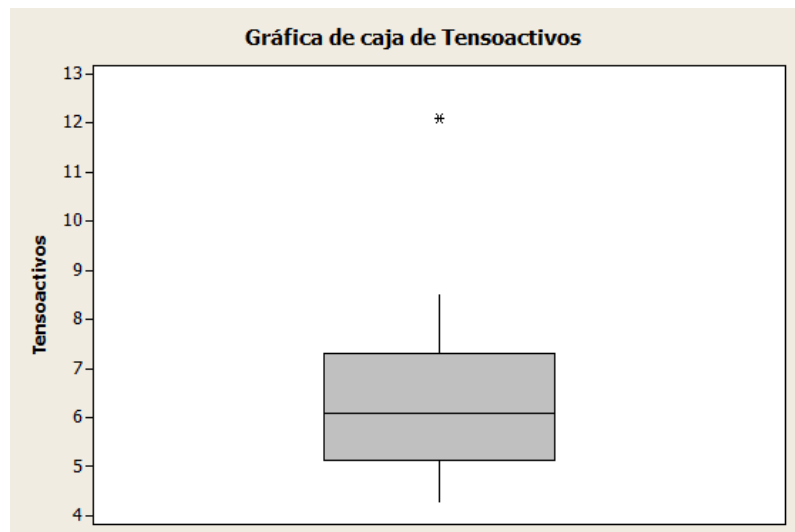


Análisis tensoactivos

El parámetro tensoactivo posee una media de 6.450 mg/L, con una desviación estándar de 1.752 mg/L además, de tener una varianza de 3.068 mg/L y el coeficiente de variación de 27.16 mg/L con un valor mínimo de 4.3 mg/L y un máximo de 12.1 mg/L. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 5.125 mg/L y 7.325 mg/L respectivamente. Y una mediana de 6.1 mg/L como se puede observar en la Fig.39

Figura 39.

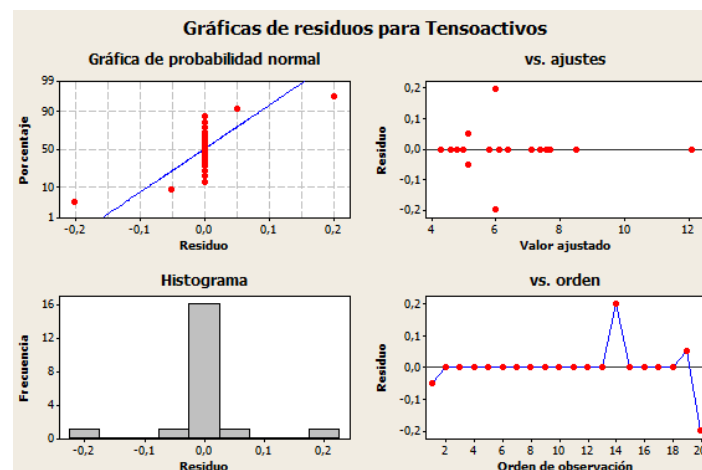
Gráfica de caja de tensoactivos



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig.40, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 40.

Gráfica de residuos 4 en 1 para tensoactivos



Como se observa en la Tabla.22. se rechazan las hipótesis nulas para todos los factores exceptuando la interacción doble (Hora*Día) ya que posee un valor de p 0.11. Por lo que se concluye que los tres factores Hora, Día y Punto son fuentes de variabilidad para la respuesta de tensoactivos. Mientras que solamente la interacción doble no es fuente de variabilidad.

Tabla 22.

Análisis de varianza para tensoactivos

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	2.8880	2.6801	2.6801	63.06	0.015
Punto	2	15.2430	14.1558	7.0779	166.54	0.006
Día	2	7.8630	8.5242	4.2621	100.28	0.010
Hora*Punto	2	9.6603	10.4712	5.2356	123.19	0.008
Hora*Día	2	0.3626	0.6858	0.3429	8.07	0.110
Punto*Día	4	18.9766	18.5592	4.6398	109.17	0.009
Hora*Punto*Día	4	3.2115	3.2115	0.8029	18.89	0.051
Error	2	0.0850	0.0850	0.0425		
Total	19	58.2900				

Como se ve en la Fig.41, el factor Hora, Punto y Día tienen medias diferentes, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla.23. Por último, en la Fig. 42 se verifica que no es fuente de variabilidad la interacción doble (Hora*Día). Como se puede apreciar en la Fig.43 todas las muestras se encuentran muy por encima del valor de 0.5 mg/L, siendo este el límite máximo permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces.

Figura 41.

Gráfica de efectos principales para tensoactivos

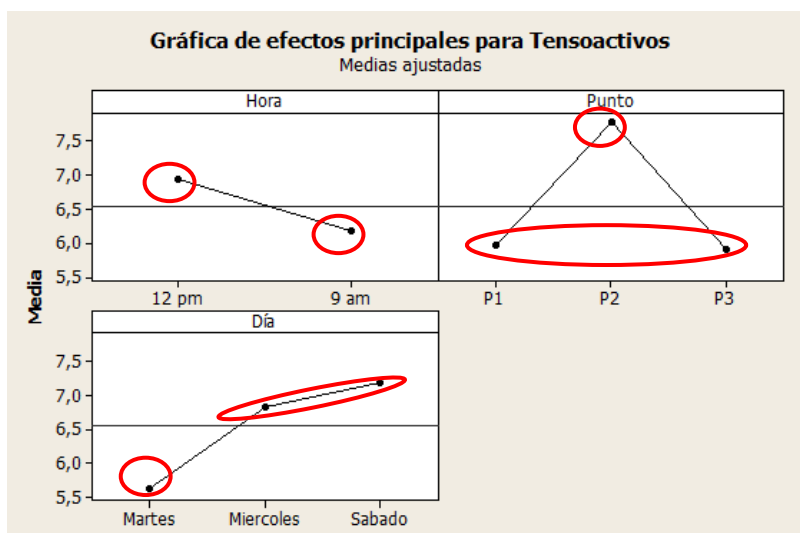


Tabla 23.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	6.922	A
9 am	10	6.172	B
P2	6	7.783	A
P1	7	5.958	B
P3	7	5.900	B
Sábado	6	7.183	A
Miércoles	7	6.833	A
Martes	7	5.625	B

Figura 42.

Gráfica de interacciones dobles para tensoactivos.

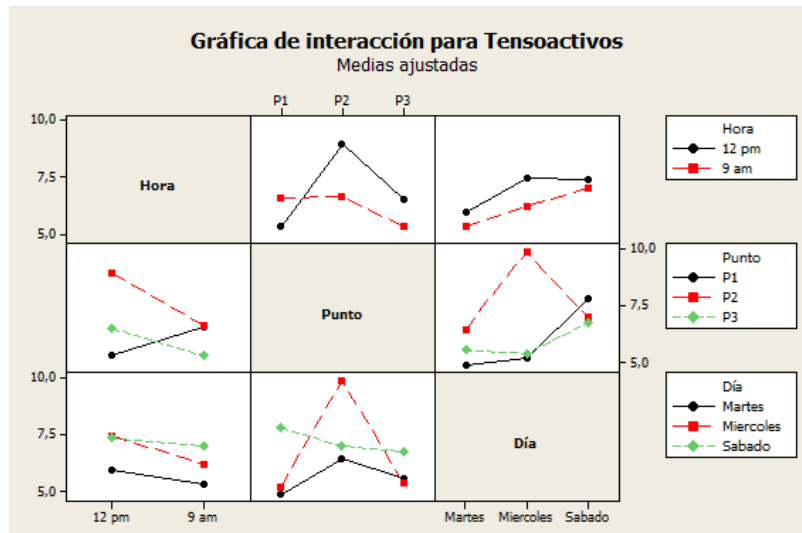
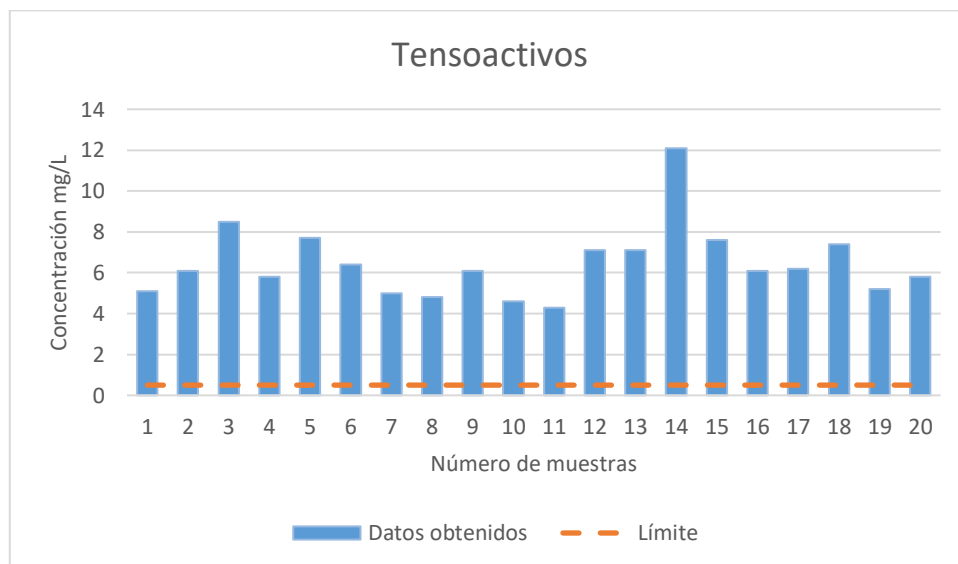


Figura 43.

Comparación de los resultados de la concentración de tensoactivos en los diferentes puntos de toma de muestras.

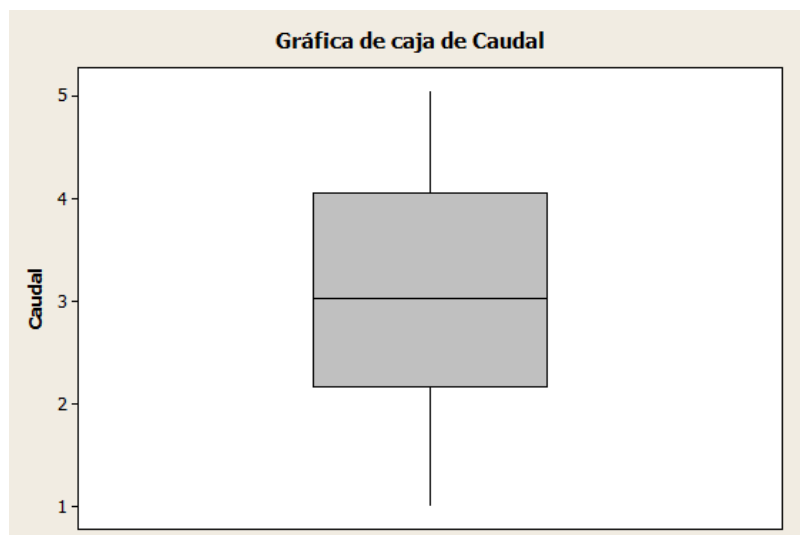


Análisis caudal

El parámetro caudal posee una media de 3.116 L/s, con una desviación estándar de 1.12 L/s además, de tener una varianza de 1.254 L/s y el coeficiente de variación de 35.94 L/s con un valor mínimo de 1.03 L/s y un máximo de 5.04 L/s. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 2.173 L/s y 4.065 L/s respectivamente. Y una mediana de 3.04 L/s como se puede observar en la Fi

Figura 44.

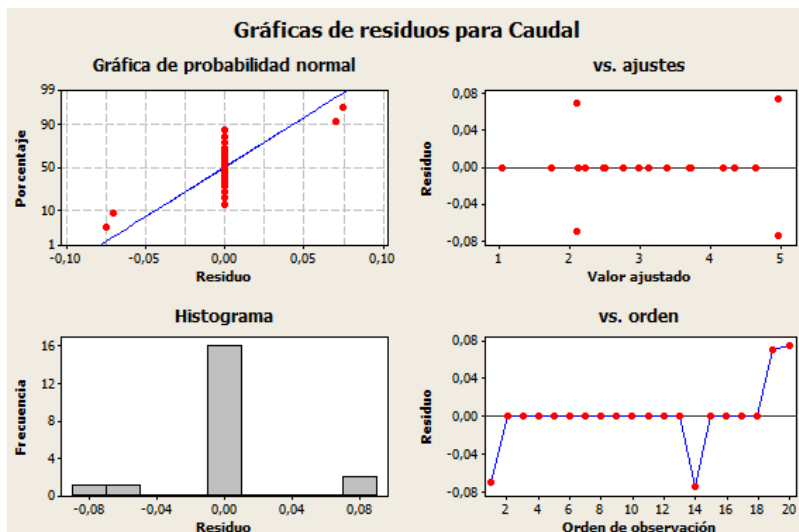
Gráfica de caja de caudal



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig.45, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 45.

Gráfica de residuos 4 en 1 para caudal



Como se observa en la Tabla.24. se rechazan las hipótesis nulas para todos los factores exceptuando la interacción doble (Hora*Punto) ya que posee un valor de p 0.486. Por lo que se concluye que los tres factores Hora, Día y Punto son fuentes de variabilidad para la respuesta de caudal. Mientras que solamente la interacción doble no es fuente de variabilidad. Como se ve en la Fig.46, el factor Hora, Punto y Día tienen medias diferentes, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla.25. Por último, en la Fig.47 se verifica que no es fuente de variabilidad la interacción doble (Hora*Punto).

Tabla 24.

Análisis de varianza para caudal

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	2.5920	1.1003	1.1003	104.54	0.009
Punto	2	1.9025	1.4499	0.7249	68.88	0.014
Día	2	12.2716	10.7863	5.3932	512.41	0.002
Hora*Punto	2	0.0180	0.0223	0.0111	1.06	0.486

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora*Día	2	1.5139	1.5431	0.7715	73.31	0.013
Punto*Día	4	4.3753	4.3560	1.0890	103.47	0.010
Hora*Punto*Día	4	1.1385	1.1385	0.2846	27.04	0.036
Error	2	0.0211	0.0211	0.0105		
Total	19	23.8329				

Figura 46.

Gráfica de efectos principales para caudal

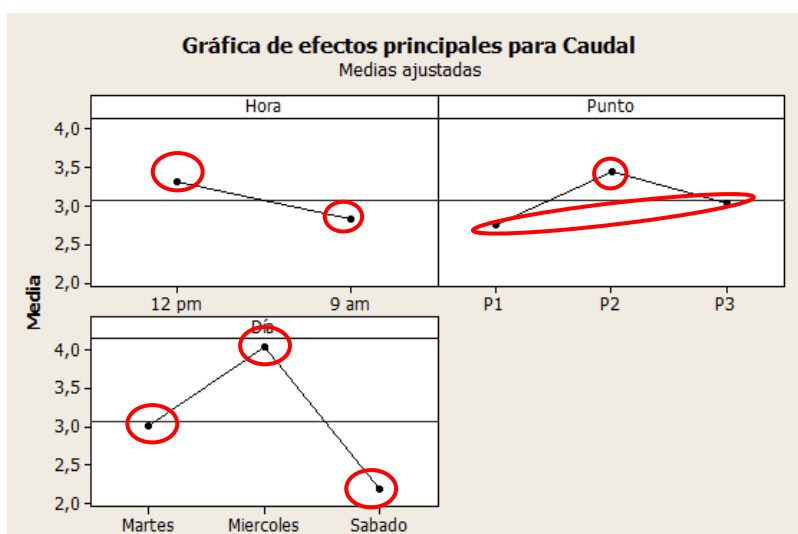


Tabla 25.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	3.311	A
9 am	10	2.830	B
P2	6	3.430	A
P3	7	3.029	B
P1	7	2.752	B

Hora	N	Media	Agrupación
Miércoles	7	4.027	A
Martes	7	3.005	B
Sábado	6	2.178	C

Figura 47.

Gráfica de interacciones dobles para caudal.

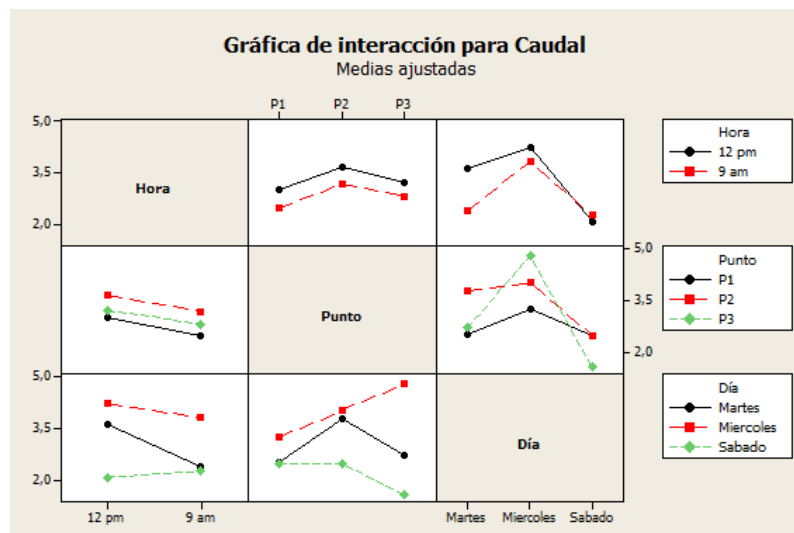
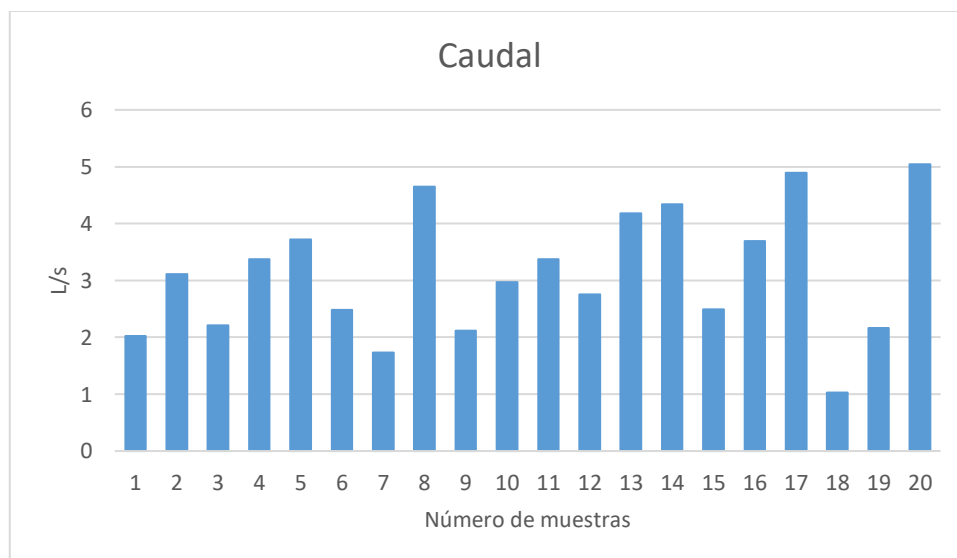


Figura 48.

Comparación de los resultados del caudal en los diferentes puntos de toma de muestras.

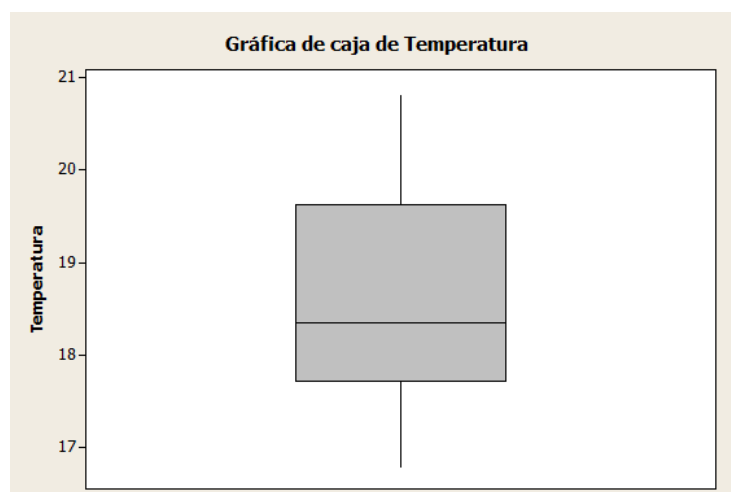


Análisis temperatura

El parámetro temperatura posee una media de 18.665 °C, con una desviación estándar de 1.143 °C, además, de tener una varianza de 1.307 °C y el coeficiente de variación de 6.12 °C con un valor mínimo de 16.8 °C y un máximo de 20.8 °C. Los valores de los cuartiles Q1 y Q3 son 17.725 °C y 19.625 °C respectivamente. Y una mediana de 18.35°C como se puede observar en la Fig.49

Figura 49.

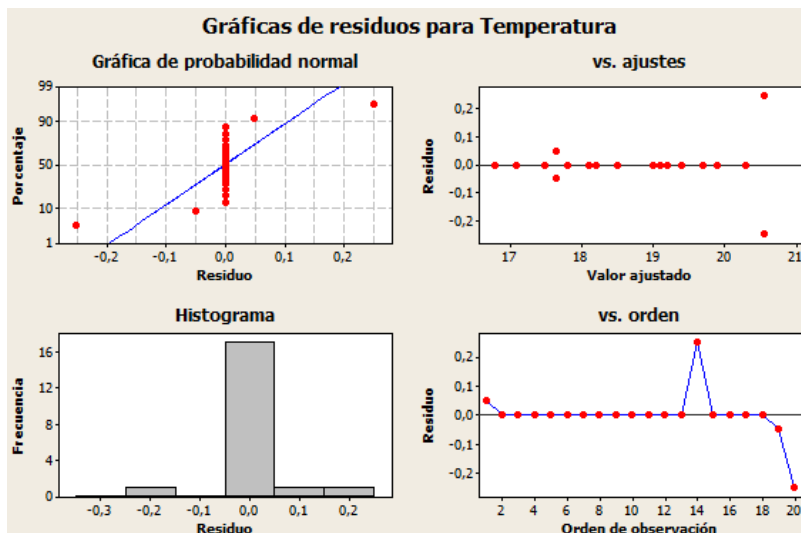
Gráfica de caja de temperatura



Respecto al análisis de varianza ANOVA se realizó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), cabe destacar que se encuentran disponibles los suficientes grados de libertad, siendo un indicativo que el análisis ANOVA se lleva a cabo sin inconvenientes. Consecutivamente en la Fig.50, se puede observar que la normalidad de los datos no tiene un buen ajuste a la recta según los residuales, además los datos poseen un leve ajuste para una varianza constante y tienen un ajuste aceptable acerca de la independencia de los datos.

Figura 50.

Gráfica de residuos 4 en 1 para temperatura



Como se observa en la Tabla.26. se rechazan las hipótesis nulas para los factores Hora y Día obteniendo valores de p de 0.009 y 0.015 respectivamente. Y no se rechazan las hipótesis nulas para el factor Punto ni las interacciones dobles ni triples. Por lo que se concluye que los factores Hora y Día son fuentes de variabilidad para la respuesta de temperatura. Mientras que el resto no son fuente de variabilidad.

Tabla 26.

Análisis de varianza para temperatura

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Hora	1	9.9405	7.3788	7.3788	113.52	0.009
Punto	2	1.6025	2.2731	1.1366	17.49	0.054
Día	2	9.8579	8.6462	4.3231	66.51	0.015
Hora*Punto	2	0.9282	0.9530	0.4765	7.33	0.120
Hora*Día	2	0.5138	0.4239	0.2119	3.26	0.235

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Punto*Día	4	0.2537	0.3428	0.0857	1.32	0.474
Hora*Punto*Día	4	1.5990	1.5990	0.3997	6.15	0.145
Error	2	0.1300	0.1300	0.0650		
Total	19	24.8255				

Como se ve en la Fig.51, el factor Hora y Día tienen medias diferentes mientras que para el factor Punto, la media es similar, según el análisis de rangos múltiples mostrado en la Tabla.27. Por último, en la Fig.52 se verifica que no son fuente de variabilidad las interacciones dobles. Como se puede apreciar en la Fig.53 todas las muestras se encuentran dentro del intervalo de 17°C a 23°C grados de temperatura, siendo este el rango permisible de descargas a cuerpos de aguas dulces. Exceptuando por la muestra número 4 con un valor de temperatura de 16.8 °C.

Figura 51.

Gráfica de efectos principales para temperatura

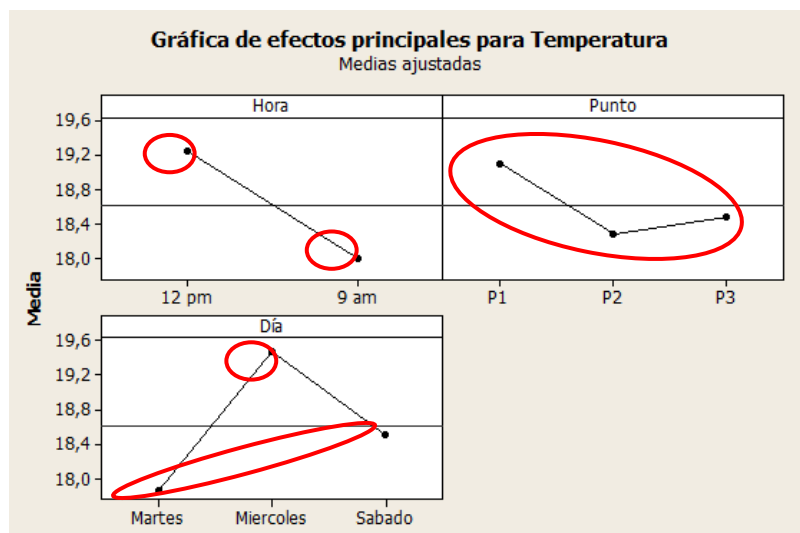


Tabla 27.

Información agrupada por el método de Tukey y con confianza de 95,0%

Hora	N	Media	Agrupación
12 pm	10	19.24	A
9 am	10	17.99	B
P1	7	19.09	A
P3	7	18.48	A
P2	6	18.28	A
Miércoles	7	19.47	A
Sábado	6	18.52	B
Martes	7	17.86	B

Figura 52.

Gráfica de interacciones dobles para temperatura

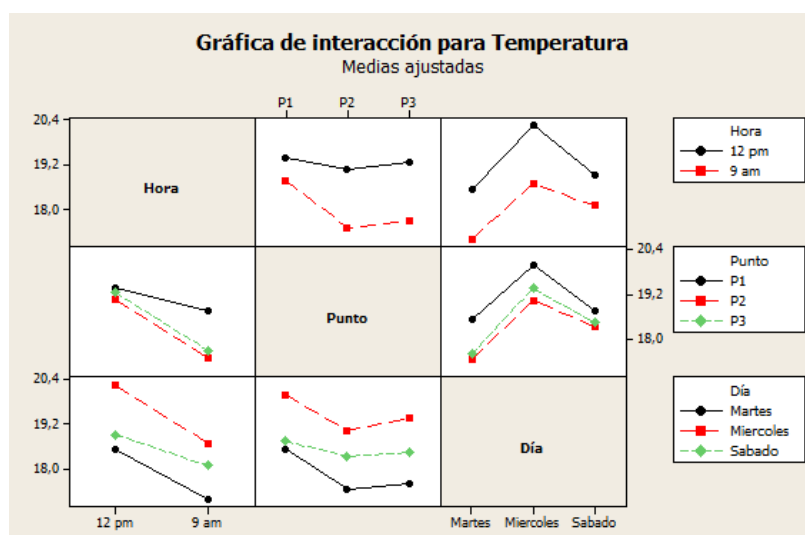
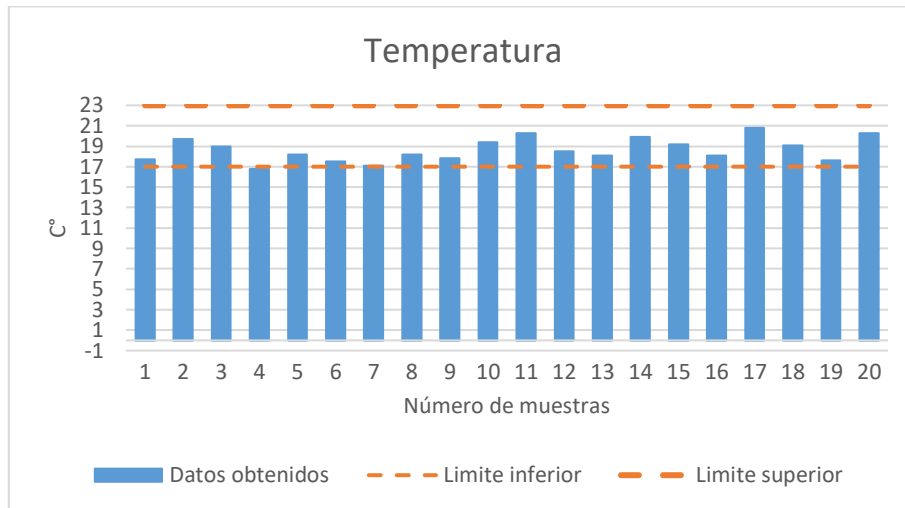


Figura 53.

Comparación de los resultados de la concentración de temperatura en los diferentes puntos de toma de muestras.

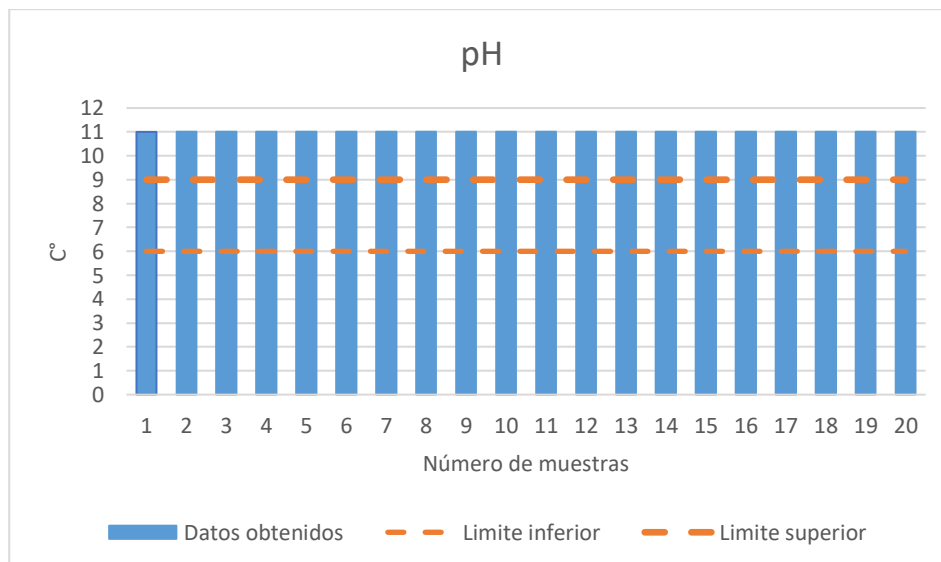


Análisis pH

Se obtuvo un valor de pH de 11 en todos los factores Día, Hora y Punto, por lo cual no se consideró necesario realizar un análisis ANOVA. Consecuentemente como se observa en la Fig.54 que todas las muestras se encuentran sobre el rango permitido, correspondiente al intervalo de valores de 6.00-9.00.

Figura 54.

Comparación de los resultados de la concentración de pH en los diferentes puntos de toma de muestras.



CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se realizó la evaluación las propiedades del agua residual en conjunto con sus elementos contaminantes de una industria de curtiembre ubicada en el Cantón Salcedo.

Se llevó a cabo el proceso de toma, transporte y almacenamiento de muestras del agua residual bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169. Las muestras de las descargas de la empresa de curtiembre fueron obtenidas mediante la visita de campo por tres días, dos veces por día, en tres puntos diferentes. Se les dio un tratamiento de estabilización y preservación a las muestras en las cuales se requería analizar oxígeno disuelto y aceites y grasas, según las indicaciones dadas por el Laboratorio CICAM para su posterior análisis.

Se analizaron las muestras de agua residual para conocer la concentración de contaminantes presentes. Se determinó la calidad del agua de la industria de curtiembre según la norma ambiental vigente en el Ecuador, (TULSMA) Texto unificado de la Legislación Secundaria Medio Ambiente, Libro VI, Anexo I. Estableciendo los puntos de muestreo: Salida del agua residual de la empresa, en el punto medio de la cequia y antes de que se integre al río. Los parámetros tomados en cuenta basados en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua para el análisis fueron: aceites y grasas, cromo total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Demanda química de oxígeno, (DQO), dureza total, oxígeno disuelto(O₂), sólidos totales, sulfatos, sulfuros, tensoactivos.

En el vertimiento de la curtiduría se obtuvieron altas concentraciones tóxicas superiores a la máxima admisible, los únicos parámetros que se encuentran dentro del límite máximo permisible de descargas en cuerpos de aguas dulces son temperatura y aceites y grasas. Todos los demás

presentan valores por encima del límite, significando un potencial riesgo de contaminación del Río Cutuchi que manifiesta un caudal de 9640 L/s.

El cromo total sobrepasa aproximadamente hasta por siete veces más el límite establecido de 0.32 mg/L. Confirmando que las sales usadas en el proceso de curtido no son absorbidas en su totalidad. En cuanto al riesgo toxicológico los derivados Cr (+6) son altamente peligrosos ya que pueden entrar en el organismo por cualquier vía con facilidad, contrario a al Cr (+3).

La demanda bioquímica de oxígeno sobrepasa aproximadamente hasta por diez veces más el límite establecido de 100 mg/L. El DBO₅ y oxígeno disuelto están relacionados inversamente proporcional, al reflejarse bajos valores bajos de oxígeno disuelto se obtienen altos niveles de DBO₅ debido a que las bacterias están consumiendo gran cantidad de oxígeno.

La demanda química de oxígeno sobrepasa aproximadamente hasta por tres veces más el límite establecido de 200 mg/L. Es un parámetro clave para confirmar la desoxigenación del río al presentar altas cargas de contaminantes orgánicos en los resultados. Alterando en gran proporción a la vida acuática.

La dureza total sobrepasa aproximadamente hasta por dos veces más del límite establecido de 500 mg/L. La alcalinidad del agua aumenta la dureza de la misma al tener un alto valor de pH como el obtenido en los resultados.

No hay presencia de oxígeno disuelto al presentar un valor de 0 mg/L este se encuentra muy por debajo del límite establecido que debe ser mayor de 80 mg/L. La vertiente contiene niveles de anaerobiosis (ausencia de oxígeno disuelto), consecuencia del rápido consumo del mismo para la degradación de la materia orgánica existente. Presentando un elevado riesgo para la salud del ecosistema y para la vida acuática de varias especies incluso llegar a su extinción.

Los sólidos totales sobrepasaron aproximadamente hasta por seis veces más el límite establecido de 1,600 mg/L. La alta presencia de sólidos totales representa gran cantidad de materia

orgánica e inorgánica incrementando la turbidez del agua y disminuyendo el paso de radiación solar, causando la disminución de la fotosíntesis y por ende muerte de las plantas del entorno.

Los sulfatos sobrepasaron ligeramente el límite establecido de 1,000 mg/L. Al no presentarse altos valores no existe un riesgo potencialmente grave sin embargo si la concentración aumenta podría causar daños a las tuberías y tanques de concreto. Los sulfatos bajo la acción bacteriana en ausencia de oxígeno disuelto se pueden reducir a sulfuros de hidrógeno y a sulfuros, es por esto que la concentración reflejada en los resultados pudo ser alterada presentando altos valores en el parámetro de sulfuros.

Los sulfuros sobrepasaron en gran medida el límite establecido de 0.5 mg/L. El sulfuro de hidrógeno puede formar ácido sulfúrico por oxidación biológica. Generando el mal olor similar a huevo podrido que es característico de las aguas residuales provenientes de industrias de curtiembre. Además, uno de los daños colaterales es la corrosión causada en las tuberías de alcantarillado. En cuanto a la salud, las personas que se encuentran expuestas a estas concentraciones pueden ver afectadas sus vías respiratorias e irritación en los ojos.

Los tensoactivos sobrepasaron aproximadamente hasta por doce veces más el límite establecido de 0.5 mg/L. Causando la limitación de la propiedad de autodepuración que contienen los ríos, debido a que los detergentes forman una película alrededor de las bacterias aislándolas del medio e impidiendo su acción.

El pH sobrepaso por 3 niveles más del rango de límite establecido de 6.00 a 9.00. Causando alteraciones que afectan la vida acuática de las corrientes del río. Además de estar relacionado su valor con algunos de los parámetros analizados entre ellos la dureza y sulfuros.

La temperatura se encuentra dentro del rango establecido que corresponde a ± 3 de la condición natural, exceptuando una sola temperatura que se encuentra por debajo del límite con un valor de 16.80 °C. Este parámetro afecta principalmente los procesos biológicos, la solubilidad de

muchos elementos y principalmente la del oxígeno disuelto ya que son parámetros inversamente proporcionales a medida que aumenta la temperatura, la solubilidad del oxígeno es menor.

Del análisis de varianza realizado con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) se obtuvo que los parámetros que presentan diferencia significativa según los factores en general (Hora, Punto, Día) son cromo total, DQO, dureza total, sólidos totales, tensoactivos, caudal, temperatura. Mientras que los resultados de aceites y grasas, pH, DBO₅, oxígeno disuelto, sulfatos, sulfuros no representan diferencia significativa.

5.2. Recomendaciones

Los parámetros estudiados representan un potencial riesgo en cuanto a la contaminación del Río Cutuchi por lo cual también se considera necesario analizar el suelo y que efecto provocan en el mismo los contaminantes detallados en el presente proyecto.

Como se observó la etapa de curtición es una de las más contaminantes por el uso de sales de cromo en su proceso. Por lo cual se recomienda utilizar una de las técnicas de remoción de cromo más óptimas según la bibliografía revisada que es la electrocoagulación. Además de reutilizar el agua en todo el proceso para evitar el consumo innecesario de la misma ya que representa gran gasto de este recurso vital.

Debido a que se encontraron altas concentraciones de los parámetros estudiados se recomienda analizar qué porcentaje de contaminación es proporcionado al río por esta vertiente al ser considerada un riesgo potencial para la vida acuática.

Se recomienda realizar un plan de información a las personas que poseen terrenos o habitan alrededor de la vertiente, acerca del estado en el que se encuentra el agua descargada y cuales podrían ser los efectos adversos que posee.

Es recomendable realizar un estudio del estado de salud de los trabajadores que ejecutan sus actividades en diferentes etapas del proceso, para evaluar el posible daño provocado por la presencia de sustancias químicas a lo largo de la producción de cuero.

Se recomienda realizar un estudio de diferentes métodos de remoción de los productos químicos en cada una de las etapas y así evaluar cuál sería el óptimo para su utilización.

6. Bibliografía

- Aldabe, S., Aramendia, P., Bonazzola, C., & Lacreu, L. (2004). *Química 2. Química en acción*. Buenos Aires: Ediciones Colihue SRL.
- Alegría Bartolomé, A. E., & Echeagaray Aveiga, R. C. (2017). *Control De La Contaminación En Aguas Residuales De Curtiembres, Mediante Fotocatálisis Heterogénea Con TiO₂ (Tesis Pregrado)*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito.
- Amangandi Aguilar, G. V. (2016). *Rediseño de planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre Quisapincha. (Tesis pregrado)*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23 ed.)*. Water Environment Federation.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Wastewater (23 ed.)*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Brañez Sánchez, M., Gutiérrez, R., Pérez, R., Uribe, C., & Valle, P. (2018). *Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil*. Escuela Universitaria de Posgrado UNFV, Lima.
- Cabrera, N. R. (2007). *Fundamentos de química analítica básica. Análisis cuantitativo*. Caldas: Universidad de Caldas.
- Cerón, P. (2011). *Estudio de un Sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre. (Tesis de Pregrado)*. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- CICAM. (2021). *Manual de procedimientos de análisis químicos*. Quito.

- Cóndor Basantes, E. E., & Paillacho Coque, P. V. (2016). *Evaluación del consumo y calidad del agua en el proceso de curtido en la industria del cuero en la empresa ecuatoriana de Curtidos Salazar S.A, Provincia de Cotopaxi, Cantón Salcedo, Período 2014-2015 (Tesis de grado)*. Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga.
- Connors, K. A. (1981). *Curso de Analisis Farmaceutico: Ensayo Del Medicamento*. Barcelona: Reverté S.A.
- Costa, M., & Klein, C. B. (2006). Toxicidad y carcinogenicidad de los compuestos de cromo en humanos. *Revisiones críticas en toxicología*.
- Félez Santafé, M. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos.(Master tesis)*. Escola d'Enginyeria de Barcelona Est, Barcelona.
- Gallegos Andrade, A. C. (2013). *Dimensionamiento de un sistema de tratamiento aerobio de aguas contaminadas domésticas (Tesis pregrado)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Gutierrez, C. L. (2010). *La contaminación del Río Cutuchi (Tesis Postgrado)*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Hach Company. (2018). Sulfide, methylene blue method (800ug/L), method 8131. 1–6.
- Hernández Frías, G. J., & Salazar Pinilla, L. C. (2019). Influencia de la dureza del agua en ríos y pozos en la efectividad de plaguicidas. *Investigaciones Agropecuarias*.
- Hidalgo Ruiz, M. G., & Meléndez Garcés, J. E. (2012). *Diseño de un modelo para medir la productividad para una empresa manufacturera de cueros (Tesis Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito.
- Higuera Cobos, O. F., Florez García, L. C., & Arroyave Londoño, J. F. (2009). Estudio de la biosorción de cromo con hoja de café. *Ingeniería e Investigación*.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras(NTE INEN 2169:2013)*. Obtenido de trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf?x42051#:~:text=1.1%20Esta%20norma%20establece%20las,biológicos%20pero%20no%20análisis%20microbiológicos.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Aguas. Demanda Bioquímica De Oxígeno DBO5. (NTE INEN 1202:2013)*. Recuperado el 03 febrero 2021, de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1202-AGUAS.-DEMANDA-BIOQU%3%8DMICA-DE-OX%3%8DGENO-DBO5.pdf?x42051>
- Maldonado, J. I., & Ramón, J. A. (2013). Sistema de tratamiento para aguas residuales. *Revista ambiental agua, aire y suelo*.
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Sociedad Química del Perú*.
- Mencías Rodríguez, E., & Mayero Franco, L. M. (2000). *Manual de toxicología básica*. Madrid: Díaz de Santos.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Estudio para conocer los potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad relacionada con las sustancias químicas y tratamiento de desechos peligrosos en el sector productivo del Ecuador*. Recuperado el 20 marzo 2021, de La industria de los cueros: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/PART2.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Recuperado el 10 marzo 2021, de Revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

- Ministero del Ambiente. (04 de Noviembre de 2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. TULSMA*. Recuperado el 18 marzo 2021, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Monerris, M. M., & Doménech, P. M. (1999). *MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, Valencia.
- Moya Balarezo, E. M. (2014). *Dinámicas socioeconómicas del cantón Salcedo – provincia (Tesis Pregrado)*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito.
- Palazón Bru, I., López Lozano, L., Palazón Bru, A., Arroyo Fernández, M., & González-Estecha, M. (2014). Procedimiento de validación de un método para cuantificar cromo en suero por espectroscopía de absorción atómica con atomización electrotérmica. *Laboratorio Clínico*, 2.
- Pestana, J. A. (2017). *Solución analítica del modelo de calidad de las aguas superficiales*. Santa Clara: UCLV.
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Liza, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Facultad de Ingeniería Industrial*, 75.
- Rubinson, K. A., & Rubinson, J. F. (2001). *Análisis Instrumental*. Madrid: Prentice Hall.
- Salcedo Gobierno Autónomo Descentralizado*. (17 de marzo de 2021). Recuperado el 15 marzo 2021, de El cantón Salcedo: <https://www.salcedo.gob.ec/informativo/el-canton-salcedo/>
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2015). *Química Analítica* (Novena ed.). México D.F: Cengage Learning.
- USEPA. (2007). *Method 7010: graphite furnace atomic absorption spectrophotometry*. US Environmental Protection Agency.
- Vintimilla Palacios, D. M. (2016). *Determinación de contaminación difusa en la cuenca del Río Tomebamba en Monay. (Tesis de Máster)*. Universidad de Cuenca, Cuenca.

7. Anexos

ANEXO 1.

Metodología de análisis para aceites y grasas en aguas residuales mediante el procedimiento PE-14/SM ED.23, 2017, 5520 B/GRAVIMETRÍA.

Según (Baird et al., 2017) el procedimiento que se utilizó para determinar aceites y grasas.

Materiales:

- Embudo de decantación, 2 L, con llave de paso de TFE *.
- Matraz de destilación, 125 ml.
- Embudo de líquido.
- Papel de filtro.
- Centrífuga, capaz de girar tubos de centrífuga de vidrio de 100 ml a 2400 rpm o más.
- Tubos de centrífuga de vidrio de 100 ml.
- Estufa
- Desecador.

Reactivos:

- Ácido sulfúrico, 1:1.
- n-Hexano, 85% de pureza.

Consideraciones:

- Al momento de recolectar la muestra acidificar con 1 ml de ácido sulfúrico, 1:1 para preservar la misma hasta ser analizada.

Procedimiento:

- Con un embudo de líquido, transferir la muestra a un embudo de decantación.
- Enjuagar la botella de muestra con 30 ml de hexano al 85% de pureza, agregar al embudo de decantación.
- Agitar vigorosamente durante 2 minutos y dejar que las capas se separen

- Drenar las capas de emulsión y disolvente en un tubo de centrifuga de vidrio y centrifugar durante 5 minutos aproximadamente a 2400 rpm.
- Transferir el material centrifugado a un embudo de decantación apropiado y escurrir la capa de solvente a través de un embudo con papel de filtro
- Volver a combinar las capas acuosas y sólidos restantes en el embudo de decantación.
- Extraer dos veces más con 30 ml de hexano al 85% de pureza, cada vez, pero primero enjuagar el recipiente de muestra con cada porción de disolvente (hexano).
- Repetir el paso de centrifugación si la emulsión persiste en los siguientes pasos de extracción
- Colocar la muestra en un matraz y calentar en la estufa a 85°C durante 3 o 4 horas hasta eliminar el remanente restante.
- Enfriar el matraz en el desecador hasta obtener un peso constante.
- Calcular la cantidad de aceites y grasas de la siguiente manera:

$$mg \text{ de aceite y grasa/L} = \frac{W_r}{V_s}$$

Donde:

W_r = peso total del matraz y del residuo, mg

V_s =volumen de muestra inicial, L

ANEXO 2.

Metodología de análisis para el Cromo total mediante en aguas residuales, el procedimiento utilizado es Absorción atómica/EPA 7010.

Según (USEPA, 2007) el procedimiento que se utilizó para determinar cromo total es:

Materiales

- Espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer modelo PPinAAcle-900H)
- Campana de extracción de gases
- Tanque de argón
- Pipeta volumétrica
- Pinzas
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Matraz Erlenmeyer
- Vidrio reloj
- Perlas de ebullición
- Planchas de calentamiento
- Lámparas de cátodo hueco
- Balón volumétrico de 100 mL
- Matraces aforados de adecuada precisión y exactitud

Reactivos

- Ácido nítrico ultra puro
- Argón ultra puro (gas de purga)
- Trióxido de cromo
- Agua destilada

Consideraciones

- Se debe realizar la digestión de la muestra debido a su alto nivel de material orgánico antes de ser analizada.
- Se debe preparar soluciones estándar del Cromo.
Disolver 1.923 g de trióxido de cromo, CrO_3 , en agua destilada, acidificar con HNO_3 ultra puro y diluir a 1 L con agua destilada.
- Utilizar una plataforma de temperatura estabilizada para maximizar un ambiente isotérmico dentro de la celda del horno para ayudar a reducir las interferencias
- No se debe utilizar nitrógeno como gas de purga debido a una posible interferencia de la banda CN.
- Utilizar reactivos de pureza suficientemente alta para no disminuir la precisión del análisis.

Procedimiento para la digestión de la muestra

Se usa el “Método 3020A: Digestión ácida de muestras y extractos acuosos para metales totales para análisis por espectroscopia GFAA”. Las muestras se digieren vigorosamente con ácido nítrico ultra puro seguido de dilución con ácido nítrico ultra puro. El método es aplicable a muestras acuosas, lixiviados y extractos de procedimientos de movilidad.

- Mezclar bien la muestra y transferir un volumen de 50 mL a 100 mL a un matraz erlenmeyer de 125 mL
- Añadir 5 mL de ácido nítrico ultra puro, perlas de ebullición, cubrirlo con un vidrio reloj y dejarlo reposar durante 30 minutos en temperatura ambiente.
- Calentar suavemente en las planchas a 120°C .
- Calentar durante aproximadamente dos horas, agregando 2 mL de ácido nítrico ultra puro o hasta que se observe que solo queda entre 10 mL a 20 mL de solución y tome un color más claro, no dejar secar la solución, ya que se puede perder parte de algunos metales; en caso contrario repita este paso.

- Deje enfriar y lave las paredes del erlenmeyer con un poco de agua destilada y filtre.
- Se transfiere cuantitativamente las soluciones digeridas en el erlenmeyer, al balón volumétrico de 100mL con 10mL de agua destilada y completar a volumen con el agua destilada.
- Se agitan las soluciones con el fin de homogenizarlas.
- Las soluciones quedan listas para el análisis en el GFAA
- En caso de que la lectura no se vaya a realizar inmediatamente, se recomienda guardar las soluciones en el cuarto frío

Procedimiento usado en el GFAA

- Secado: Colocar una alícuota de 100mL en el tubo de grafito en el horno, calentar la muestra una temperatura del horno alrededor de 80°C a 180°C, para que el solvente se evapore al alcanzar su punto de ebullición.
- Calcinado: Se eleva la temperatura del horno de 350°C a 1600°C, para que la mayor cantidad de material sólido presente se descomponga y separe de la muestra
- Atomización: Se eleva la temperatura del horno de 1800°C a 2800°C, para que se atomice la muestra
- El equipo usa como gas de purga Argón ultra puro
- La radiación del elemento excitado pasa a través del vapor que contiene átomos en estado fundamental de ese elemento.
- La intensidad de la radiación transmitida disminuye en proporción a la cantidad del elemento en estado fundamental en el vapor.
- Los átomos de metal a medir se colocan en el haz de radiación aumentando la temperatura del horno, lo que hace que la muestra inyectada se volatilice.

- Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga sin electrodos, y un dispositivo fotosensible mide la radiación transmitida atenuada.
- La longitud de onda del cromo debe ser 357,9 nm
- Si la concentración de analito es suficientemente alta (como mínimo, un factor de 10 por encima del límite inferior de cuantificación después de la dilución), se debe realizar un análisis de una dilución 1:5 debe coincidir dentro de $\pm 10\%$ de la determinación original y realice nuevamente la lectura. (USEPA, 2007)

$$\frac{\mu g}{L} \text{ metal en la muestra} = \frac{A(C + B)}{C}$$

A = concentración del metal en la alícuota diluida $\mu\text{g/L}$

B = Volumen de la muestra inicial mL

C = Volumen final de la muestra mL

ANEXO 3.**Metodología de análisis para DBO₅ en agua residual mediante el método PE-06/ SM Ed.23, 2017, 5210 B/ Volumetría.**

Según (Baird, Eaton, & Rice, Standard Methods for the Examination of Wastewater, 2017) y (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) se utilizó el siguiente método para el análisis de DBO₅.

Materiales:

- Envases DBO winkler de 300ml de capacidad
- Incubadora de aire.
- Bureta 25ml.

Reactivos:

- Agua destilada

El agua que se use para la preparación de las soluciones y diluciones debe ser de la más alta calidad, destilada en equipo de vidrio o con refrigerante de estaño; debe contener menos de 0,01 mg/l de Cu y debe estar exenta de cloro, cloraminas, alcalinidad cáustica y sustancias orgánicas o ácidos.

- Solución tampón de fosfato.

Disolver fosfato monopotásico de 8,5 g (KH₂PO₄), fosfato de dipotasio de 21,75 g (K₂HPO₄), fosfato disódico de 33,4 g (Na₂HPO₄ · 7H₂O), y cloruro de amonio de 1,7 g (NH₄Cl) en aproximadamente 500 ml de agua de grado reactivo y diluir a 1 L. El pH debe ser de 7,2 sin más ajustes.

- Solución de sulfato de magnesio (MgSO₄).

Disolver 22,5 g de MgSO₄ · 7H₂O en agua de grado reactivo y diluir a 1 L.

- Solución de cloruro de calcio (CaCl₂)

Disolver 27,5 g de CaCl_2 en agua de grado reactivo y diluir a 1 L.

- Solución de cloruro de férrico (FeCl_3).

Disolver 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua de grado reactivo y diluir a 1 L.

- Soluciones ácidas y alcalinas 1N.

Para neutralizar muestras cáusticas o ácidas de residuos.

1) Ácido: A un volumen apropiado de agua destilada agregar muy lentamente y mientras se agita, 28 mL de ácido sulfúrico concentrado. Diluir a 1 L.

2) Alcali — Disolver 40 g de NaOH en agua destilada. Diluir a 1 L.

- Solución de tiosulfato de sodio (Na_2SO_3).

Disolver 6,205g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada. Añadir 1,5 ml de una solución NaOH 6N y diluir a 1000 ml. Para valorarla en un matraz disolver 1g de yoduro potasio exento de yodato en 60 mL de agua. Agregar 0.5 mL de ácido sulfúrico concentrado y 10 ml de la disolución de dicromato de amonio empleando la pipeta aforada. Diluir a 100 mL con agua y valorar el yodo con la solución de tiosulfato. Agregar almidón hasta el final de la determinación, cuando se alcance un color amarillo pálido. Anotar el volumen gastado.

- Inhibidor de la nitrificación.

1) 2-cloro-6-(triclorometil) piridina (TCMP).

- Solución de cloruro de amonio.

Disolver 1,15 g NH_4Cl en aproximadamente 500 ml de agua de grado reactivo, ajustar el pH a 7,2 con la solución NaOH y diluir a 1 L.

- Inóculo.

Colocar 50 mL de sobrenadante del agua del Machángara (decantado por lo menos 1 hora) en un vaso plástico. Añadir 10 gotas de la muestra a analizar (previamente regulado su pH entre 6.5 y 7.5 con las soluciones ácida o alcali 1N. Incubar a 20°C por 30 min. Añadir 5 gotas de la muestra e incubar durante 1 hora. Añadir 5 gotas de la muestra e incubar a 20°C por 24 horas.

Procedimientos preparatorios:

- Preparación y pretratamiento de muestras:
 - 1) Comprobar el pH; si no está entre 6.0 y 8.0, ajustar la temperatura de la muestra a $20\pm 3^{\circ}\text{C}$, luego ajustar el pH a entre 6.5 y 7.5 usar una solución H_2SO_4 o NaOH lo suficientemente fuerte como para no diluir la muestra en más del 0.5%.

Procedimiento:

- Preparación de agua de dilución.

Se requiere preparar al menos 2 L de agua de dilución. Esto debido a que se llenarán seis botellas de DBO₅ (3 para el OD inicial y tres para el OD final de la muestra), por tanto, se requieren preparar al menos 2 L de agua de dilución para el procedimiento de análisis. El número de réplicas puede variar según el criterio del analista. Colocar la cantidad de muestra necesaria en el botellón.

Añadir por cada litro de muestra, 1 mL de cada una de las siguientes soluciones (también denominadas nutrientes): solución tampón, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico. Añadir 0,5 mL del inóculo por cada litro de muestra.

Saturar la muestra por burbujeo de aire filtrado libre de materia orgánica, durante 30 min y dejar estabilizar por 30 min. Añadir 10 mg de inhibidor de nitrificación por cada litro de muestra luego de su estabilización. Es posible que el inhibidor se disuelva lentamente.

- Diluciones preparadas directamente en botellas de BOD.

Trasvasar el agua de dilución a seis botellas de DBO₅ procurando burbujear lo menos posible, para ello se recomienda colocar la llave del botellón pegado a la pared del Winkler para que el agua se deslice por la pared y evitar la entrada de aire. Dejar estabilizar por 15 min antes de tapar las botellas.

- Botellas de sellado.

Llenar completamente cada botella añadiendo suficiente agua de dilución para que la inserción del tapón no deje burbujas en la botella. Mezclar la muestra girando la botella manualmente varias veces. Colocar una tapa de papel o plástico o papel de aluminio sobre la boca acampanada de la botella para reducir la evaporación del sello de agua durante la incubación.

- Determinación del DO inicial.

Utilizar el método volumétrico para determinar el DO inicial en los 3 envases e incubar las otras tres por 5 días a 20°C.

- Determinar el consumo de OD del blanco

Preparar un litro de agua de dilución. Trasvasar el agua de dilución a dos botellas de DBO₅. Evitar la entrada de aire. Determinar el OD inicial del blanco e incubar por 5 días a 20°C la otra botella.

- Incubación de muestras.

Incubar a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ las botellas de BOD tapadas y selladas. Excluir la luz para evitar el crecimiento de algas en botellas durante la incubación.

- Corrección por el inóculo.

Determinar el abatimiento del oxígeno del inóculo llevando una serie separada de diluciones del inóculo y seleccionando aquellas que en 5 días conduzcan a un abatimiento del 40 - 70 por 100 del oxígeno. Uno de estos abatimientos se usa para calcular la corrección debida a la pequeña cantidad de inóculo en el agua de dilución. No se emplea el testigo inoculado para la corrección por el inóculo porque el testigo de agua de dilución inoculada, incubado por 5 días, está sujeto a una oxidación errática debida a la muy alta dilución del inóculo que no es característica de la muestra inoculada.

- Determinación del DO final.

Después de 5 días de incubación, determinar DO en todas las diluciones de muestras y blanco, utilizando el método volumétrico. Registrar los valores y realizar el cálculo de DBO_5 . Reportar el promedio de las tres mediciones como resultado final.

- Criterio de medida para reportar el gasto de la solución valorante

Si al observar el menisco en la bureta, éste se encontrara entre la fracción más pequeña de una escala de división según la apreciación del analista, se podrá reportar valores del gasto de la solución valorante correspondiente a 0,025 mL, así, por ejemplo, se esté en capacidad de reportar valores iguales a 1,175mL.

Cálculos:

Cuando el agua de dilución ha sido inoculada

$$BOD_5, \frac{mg}{f} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

Dónde:

D_1 = DO de muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/L.

D_2 = DO de muestra diluida después de incubación de 5 d a 20°C, mg/L.

B_1 = DO del inóculo control antes de la incubación, mg/l.

B_2 = DO del inóculo después de la incubación, mg/l.

P =Alícuota de la muestra usada en el análisis.

f = Relación de inóculo en la muestra con el inóculo en el control = (% de inóculo en D1) / (% de inóculo B1).

ANEXO 4.**Metodología de análisis DQO de una muestra de agua mediante el método PE-01/ SM Ed.23, 2017, 5220 D/ Espectrofotometría VIS.**

Según (Baird, Eaton, & Rice, Sthandard Methods for the Examination of Wastewaster, 2017) se utilizó el siguiente método para el análisis de DQO.

Materiales:

- Espectrofotómetro HACH
- Viales HACH
- Bloque digestor HACH

Reactivos:

- Reactivo Hatch: Sulfato de plata, Iones de Mercurio, ácido sulfúrico y Dicromato de potasio

Consideraciones

- El reactivo Hatch que será el cual ayude a la digestión de la muestra contiene dicromato de potasio el cual cuando se oxida la materia orgánica se consumirá dando como producto el Ion crómico +3 (color verdoso) y contiene Sulfato de plata como catalizador, iones de Mercurio para evitar la interferencia de los cloruros y el Ácido sulfúrico que dará el medio ácido.

Procedimiento:

- Colocar 2 ml de muestra en un viral Hach (viral 1) con el reactivo Hatch.
- Colocar 2 ml de agua destilada en un viral de Hach (viral 2) con el reactivo Hach.
- Colocar los virales 1 y 2 en el bloque digestor seteado a una temperatura de 150°C por 2 horas para que se realice la digestión.
- Enfriar la muestra a una temperatura ambiente lentamente para evitar precipitados.
- Colocar en el equipo la longitud de onda de 420 nm.

- Medir la absorbancia del blanco y encerrar el equipo. Medir la absorbancia de la muestra en la longitud seleccionada. Restar de la absorbancia de la muestra la absorbancia del blanco y comparar con la curva estándar.

ANEXO 5.**Metodología de dureza total del agua por titulación EDTA, basada en la norma 2340.**

Según (Baird et al., 2017): el procedimiento utilizado fue el siguiente:

Materiales:

- Erlenmeyer de 100 ml
- Bureta de 25 ml
- Agitador magnético
- Cintas de pH
- Recipiente de porcelana

Reactivos:

- Agua destilada
- Solución EDTA 0,01M

Pesar 3,723 g de dihidrato de etilendiaminotetraacetato de disodio de grado reactivo analítico o EDTA, disolver en agua destilada y diluir a 1000 ml. Almacenar la sustancia en recipientes de vidrio o de borosilicato.

- Solución tampón

Disolver 16,9 g de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 143 ml de hidróxido de amonio concentrado (NH_4OH), agregar 1,25 g de sal de magnesio EDTA y diluir a 250 ml con agua destilada.

- Indicador

Negro eriocromo T: Sal sódica de 1-(1-hidroxi-2-naftilazo)- Ácido 5-nitro-2-naftol-4-sulfónico.

Disolver 0,5 g de negro eriocromo en 100 g de trietanolamina. Agregar 2 gotas por cada 50 ml de solución a titular. Si es que es necesario ajustar el volumen.

- Inhibidor

Ajustar las muestras de ácido a un pH de 6 o mayor con un tampón de NaOH 0,1N. Agregar 250 mg de cianuro de sodio (NaCN) en forma de polvo. Agregar suficiente solución tampón para obtener un pH de $10 \pm 0,1$. Tener cuidado con el NaCN porque es una sustancia venenosa.

Se puede utilizar otro inhibidor en donde debe disolver 5 g de sulfuro de sodio en 100 ml de agua destilada. Excluya el aire con un tapón de goma bien ajustado. Este inhibidor se deteriora por oxidación del aire.

Consideraciones:

- Realizar un pretratamiento de la muestra utilizando digestión de ácido nítrico – ácido sulfúrico.
- Para realizar el procedimiento se sugiere realizarlo a la luz del día o con una lámpara fluorescente de luz diurna.

Procedimiento:

- Seleccionar un volumen de la muestra que requiera menor de 15 ml de titulador EDTA y complete la titulación durante 5 minutos.
- Diluir 25 ml de muestra con aproximadamente 50 ml de agua destilada en un recipiente de porcelana.
- Agregar 1 ml de solución tampón para obtener un pH de 10 a 10,1.
- Si existe un cambio de color brusco en el punto final de la titulación debe agregar un inhibidor o si no el indicador ya se ha deteriorado.
- Agregar de 1 a 2 gotas de indicador, seguidor colocar lentamente EDTA con agitación continua, hasta que desaparezca un color rojizo. Las últimas gotas agregar en intervalos de 3 a 5 segundos. En el punto final la solución se vuelve de color azul.
Si es que existe suficiente cantidad de muestra disponible y no hay interferencia, puede mejorar la precisión aumentando el tamaño de la muestra.
- Calcular la dureza con la siguiente formula:

$$\text{Dureza (EDTA)} \frac{\text{mgCaCO}_3}{L} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{ml muestra}}$$

A = ml del titulante de la muestra

B = mg CaCO₃ equivalente a 1,00 ml de titulante EDTA

- Obtener los resultados.

ANEXO 6.**Metodología de análisis para Oxígeno disuelto (O₂) en agua residual mediante el método PE-18/ SM Ed.23, 2017, 4500-O C/ Volumetría.**

Según (Baird, Eaton, & Rice, Standard Methods for the Examination of Wastewater, 2017) se utilizó el siguiente método para el análisis de Oxígeno disuelto (O₂).

Materiales:

- Erlenmeyer de 100 ml
- Botellas BOD
- Pipetas 1 mL, 5mL

Reactivos:

- Solución de Sulfato Manganoso

Disolver 480 g de $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 400 g de $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ o 364 g $MnSO_4 \cdot H_2O$ en agua destilada, filtrar y diluir a 1 L. La solución de $MnSO_4$ no debe dar color con almidón cuando se agrega a una solución de yoduro de potasio acidificado (KI).

- *Alkali-iodide-azide reagent:*

1. Para muestras saturadas o menos que saturadas; disuelva 500 g de hidróxido de sodio (NaOH) o 700 g de hidróxido de potasio (KOH) y 135 g de yoduro de sodio (NaI) o 150 g de (KI) en agua destilada y diluya a 1 L. Agregue 10 g de NaN_3 disueltos en 40 mL de agua destilada. Las sales de potasio y sodio se pueden usar indistintamente. Este reactivo no debe dar color con la solución de almidón cuando se diluye y se acidifica.
2. Para muestras sobresaturadas; disuelva 10 g de NaN_3 en 500 mL de agua destilada. Agregue 480 g de NaOH y 750 g de NaI y revuelva hasta que se disuelva. Habrá una turbidez blanca debido al carbonato de sodio (Na_2CO_3), pero esto no hará daño.

PRECAUCIÓN: No acidifique esta solución porque pueden producirse humos tóxicos debido al ácido hidrazoico que se genera.

- Ácido Sulfúrico (puro)

Un mililitro es equivalente a aproximadamente 3 ml de *Alkali-iodide-azide reagent*.

- Almidón

Utilice una solución acuosa o mezclas de polvo de almidón soluble. Para preparar una solución acuosa, disuelva 2 g de almidón soluble de laboratorio y 0,2 g de ácido salicílico (como conservante) en 100 ml de agua destilada caliente. Para neutralizar muestras cáusticas o ácidas de residuos.

- Solución estándar de tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$)

Disolver 6,205 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en agua destilada, añadir 1,5 ml de NaOH 6 M o 0,4 g de NaOH sólido y diluir hasta 1000 ml. Estandarizar con solución de biyodato de potasio [$KH(IO_3)_2$].

- Solución estándar de biyodato de potasio 0.0021 M

Disolver 812,4 mg de biyodato de potasio [$KH(IO_3)_2$] en agua destilada y diluir hasta 1000 ml.

- Estandarización

Disolver aproximadamente 2 g de KI, sin yodato, en un matraz Erlenmeyer con 100 a 150 ml de agua destilada. Añadir 1 ml de H_2SO_4 3M o unas gotas de H_2SO_4 concentrado y 20 ml de solución estándar de biyodato.

Diluir a 200 ml y valorar el yodo liberado con titulador de tiosulfato, añadiendo almidón hacia el final de la valoración, cuando se alcance un color pajizo pálido. Cuando las soluciones lleguen a la misma concentración, deben requerirse de 20 mL de $Na_2S_2O_3$ 0,025M. De lo contrario, ajustar la solución de $Na_2S_2O_3$ a 0.025M.

Procedimiento

- 2) Valorar con una solución de $Na_2S_2O_3$ 0,025 M, hasta obtener un color amarillo. Agregue unas gotas de solución de almidón y continúe la titulación hasta la primera desaparición

del color azul. Si se sobrepasa el punto final, valore por retroceso con una solución de bi-yodato 0,0021 M agregada gota a gota o agregando un volumen medido de muestra tratada. Corrija la cantidad de solución o muestra de bi-yodato. Ignore los cambios de coloración posteriores debido al efecto catalítico del nitrito o a trazas de sales férricas que no se hayan acompañado con el fluoruro.

Cálculos

- Para la titulación de 200 mL de muestra, 1 mL de $Na_2S_2O_3$ 0,025 M = 1 mg DO/L
- Para expresar los resultados como porcentaje de saturación a 101,3 kPa, utilizar los datos de solubilidad de la figura 1. Las ecuaciones para corregir las solubilidades a presiones barométricas distintas del nivel medio del mar y para diversas clorinidades se dan a continuación. Diluciones preparadas directamente en botellas de BOD.

Temperature °C	Oxygen Solubility mg/L						Temperature °C	Oxygen Solubility mg/L					
	Chlorinity: 0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0		Chlorinity: 0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
0.0	14.621	13.728	12.888	12.097	11.355	10.657	26.0	8.113	7.711	7.327	6.962	6.615	6.285
1.0	14.216	13.356	12.545	11.783	11.066	10.392	27.0	7.968	7.575	7.201	6.845	6.506	6.184
2.0	13.829	13.000	12.218	11.483	10.790	10.139	28.0	7.827	7.444	7.079	6.731	6.400	6.085
3.0	13.460	12.660	11.906	11.195	10.526	9.897	29.0	7.691	7.317	6.961	6.621	6.297	5.990
4.0	13.107	12.335	11.607	10.920	10.273	9.664	30.0	7.559	7.194	6.845	6.513	6.197	5.896
5.0	12.770	12.024	11.320	10.656	10.031	9.441	31.0	7.430	7.073	6.733	6.409	6.100	5.806
6.0	12.447	11.727	11.046	10.404	9.799	9.228	32.0	7.305	6.957	6.624	6.307	6.005	5.717
7.0	12.139	11.442	10.783	10.162	9.576	9.023	33.0	7.183	6.843	6.518	6.208	5.912	5.631
8.0	11.843	11.169	10.531	9.930	9.362	8.826	34.0	7.065	6.732	6.415	6.111	5.822	5.546
9.0	11.559	10.907	10.290	9.707	9.156	8.636	35.0	6.950	6.624	6.314	6.017	5.734	5.464
10.0	11.288	10.656	10.058	9.493	8.959	8.454	36.0	6.837	6.519	6.215	5.925	5.648	5.384
11.0	11.027	10.415	9.835	9.287	8.769	8.279	37.0	6.727	6.416	6.119	5.835	5.564	5.305
12.0	10.777	10.183	9.621	9.089	8.586	8.111	38.0	6.620	6.316	6.025	5.747	5.481	5.228
13.0	10.537	9.961	9.416	8.899	8.411	7.949	39.0	6.515	6.217	5.932	5.660	5.400	5.152
14.0	10.306	9.747	9.218	8.716	8.242	7.792	40.0	6.412	6.121	5.842	5.576	5.321	5.078
15.0	10.084	9.541	9.027	8.540	8.079	7.642	41.0	6.312	6.026	5.753	5.493	5.243	5.005
16.0	9.870	9.344	8.844	8.370	7.922	7.496	42.0	6.213	5.934	5.667	5.411	5.167	4.933
17.0	9.665	9.153	8.667	8.207	7.770	7.356	43.0	6.116	5.843	5.581	5.331	5.091	4.862
18.0	9.467	8.969	8.497	8.049	7.624	7.221	44.0	6.021	5.753	5.497	5.252	5.017	4.793
19.0	9.276	8.792	8.333	7.896	7.483	7.090	45.0	5.927	5.665	5.414	5.174	4.944	4.724
20.0	9.092	8.621	8.174	7.749	7.346	6.964	46.0	5.835	5.578	5.333	5.097	4.872	4.656
21.0	8.915	8.456	8.021	7.607	7.214	6.842	47.0	5.744	5.493	5.252	5.021	4.801	4.589
22.0	8.743	8.297	7.873	7.470	7.087	6.723	48.0	5.654	5.408	5.172	4.947	4.730	4.523
23.0	8.578	8.143	7.730	7.337	6.963	6.609	49.0	5.565	5.324	5.094	4.872	4.660	4.457
24.0	8.418	7.994	7.591	7.208	6.844	6.498	50.0	5.477	5.242	5.016	4.799	4.591	4.392
25.0	8.263	7.850	7.457	7.083	6.728	6.390							

Figura 1. Solubilidad del oxígeno, en agua expuesta al aire saturado a presión atmosférica (101.325 kPa)

- Calcule la concentración de equilibrio de oxígeno, C^* , a partir de la ecuación:

$$\begin{aligned} \ln C^* = & -139.34411 + \left(1.575701 * \frac{10^5}{T}\right) - \left(6.642308 * \frac{10^7}{T^2}\right) \\ & + \left(1.243800 * \frac{10^{10}}{T^3}\right) - \left(8.621949 * \frac{10^{11}}{T^4}\right) - Chl[(3.1929) * 10^{-2}) \\ & - \left(1.9428 * \frac{10}{T}\right) + \left(3.8673 * \frac{10^3}{T^2}\right)] \end{aligned}$$

Donde:

C^* = Concentración de equilibrio de oxígeno a 101.325 kPa, mg/L

T = Temperatura (K) = °C + 273.150

Chl = Clorinidad

Para condiciones de presión no estándar se aplica la ecuación siguiente:

$$C_p = C^* P \left[\frac{(1 - P_{wv}/P)(1 - \theta P)}{(1 - P_{wv})(1 - \theta)} \right]$$

Donde:

C_p = Concentración de equilibrio de oxígeno a condiciones no estándar de presión, mg/L.

C^* = Concentración de equilibrio de oxígeno a condiciones de 1 atm de presión, mg/L.

P = Presión no estándar, atm

P_{wv} = Presión parcial de vapor de agua, atm, calculada a partir de:

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - \left(\frac{3840.70}{T}\right) - \left(\frac{216961}{T^2}\right)$$

T = Temperatura, K

$$\theta = 0.000975 - (1.426 * 10^{-5}t) + (6.436 * 10^{-8}t^2)$$

t = Temperatura, °C

ANEXO 7.

Metodología de análisis para Sólidos totales en aguas residuales, el procedimiento utilizado es PE-34/SM Ed.23, 2017, 2540B/ Gravimetría.

Según (Baird, Eaton, & Rice, Standard Methods for the Examination of Wastewater, 2017) se utilizó el siguiente método para el análisis de sólidos totales.

Materiales

- Estufa marca LINDBERG/BLUE, modelo GO1310A, serie V03H-394507-VH
- Balanza analítica marca METTLER TOLEDO, modelo A204-5, serie 1119480613
- Pinzas
- Porcelana de 90mm de diámetro
- Horno de mufla para funcionamiento a 550°C.
- Desecador
- Agitador magnético
- Pipetas
- Cilindro graduado
- Vaso de precipitación

Reactivos

- Agua de grado reactivo

Procedimiento (APHA, AWWA, & WEF, 2017).

Preparación del plato evaporador: I

- Calentar el plato de porcelana limpio a 103 a 105 °C durante 1 h.
- Conservar y enfriar el plato en desecador hasta que sea necesario.
- Pesar inmediatamente antes de su uso y registrar.

Análisis de la muestra

- Se homogeniza la muestra y se transfiere 25mL o se elije un volumen de muestra que produzca un residuo entre 2,5 y 200 mg.
- Pipetear el volumen medido de muestra bien mezclada a la mitad, pero no en el vórtice del plato de porcelana.
- Evapore a sequedad en la estufa al menos 1 h a 103 a 105 °C
- Pesar inmediatamente el plato de porcelana
- Repita el ciclo de secado, desecación y pesaje hasta que se obtenga un peso constante, o hasta que el cambio de peso sea inferior al 4% del peso anterior o de 0,5 mg, lo que sea menor.
- Al pesar la muestra seca, esté alerta para que cambie de peso debido a la exposición al aire y/o a la degradación de la muestra.

La siguiente fórmula se utiliza para el cálculo de TSS:

$$\frac{\text{mg de sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{volumen de la muestra (mL)}}$$

Dónde:

A=Peso final del filtro + peso de residuos secos (mg)

B=peso del filtro (mg)

ANEXO 8.**Metodología de análisis para sulfatos en agua residual mediante el método PE-47/ SM Ed.23, 2017, 4500 - SO4 -2 E/ Espectrofotometría VIS.**

Según (Baird, Eaton, & Rice, Standard Methods for the Examination of Wastewater, 2017) se utilizó el siguiente método para el análisis de sulfatos.

Materiales:

- Agitador magnético
Utilice una velocidad de agitación constante además de imanes de forma y tamaños idénticos, para cada serie de muestras y estándares.
- Fotómetro
Espectrofotómetro, para su uso a 420 nm, proporcionando una trayectoria de luz de 2,5 a 10 cm.
- Cronómetro o temporizador eléctrico.
- Cuchara de medición, capacidad de 0,2 a 0,3 ml.

Reactivos:

- Solución tampón A. Disolver
30 g de cloruro de magnesio ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), 5 g de acetato de sodio ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$), 1,0 g de nitrato de potasio (KNO_3) y 20 ml ácido acético al 99% (CH_3COOH), en 500 ml de agua destilada y rellenar hasta 1000 ml.
- Solución tampón B.
Disolver 30 g de sulfato sódico (Na_2SO_4) y 20 ml ácido acético al 99% en 500 ml de agua destilada y rellenar hasta 1000 ml.
- Cloruro de bario ($BaCl_2$), cristales, 20 a 30 malla.
En la estandarización, se produce turbidez uniforme con este rango de malla y el tampón adecuado.

- Solución estándar de sulfato

Preparar una solución estándar de sulfato como se describe en 1) o 2) a continuación; 1,00 ml = 100 $\mu\text{g SO}_4^{-2}$.

1) Diluir 10,4 ml estándar 0.0200N H_2SO_4 valorante especificado en Alcalinidad, a 100 ml con agua destilada.

2) Disolver 0,1479 g anhidro Na_2SO_4 en agua destilada y diluir a 1000 ml.

Procedimiento:

- Formación de turbidez del sulfato de bario.

Medir 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Añadir 20 ml de una solución tampón y mezclar en un agitador. Mientras se mezcla, agregar una cucharada de cristales de BaCl_2 y comenzar a cronometrar inmediatamente. Revolver durante $60 \pm 2\text{s}$ a velocidad constante.

- Medición de la turbidez del sulfato de bario.

Una vez finalizado el período de agitación, verter la solución en la celda de absorción del fotómetro y medir la turbidez a $5 \pm 0,5$ min.

- Preparación de la curva de calibración.

Estimar la concentración de SO_4^{-2} en la muestra comparando la lectura de turbidez con una curva de calibración preparada por el transporte de las normas SO_4^{-2} a través de todo el procedimiento. Estándares de espacio en incrementos de 5 mg/L en el rango de 0 a 40 mg/L SO_4^{-2} . Comprobar la fiabilidad de la curva de calibración ejecutando un estándar con cada tres o cuatro muestras.

- Corrección del color de la muestra y la turbidez.

Corrección para el color de la muestra y la turbidez mediante la ejecución de espacios en blanco a los que no se agrega BaCl_2 .

Cálculo:

$$\frac{\text{mg SO}_4^{2-}}{L} = \frac{\text{mg SO}_4^{2-} * 1000}{\text{mL muestra}}$$

- Si se utilizó la solución tampón A, determine la concentración de SO_4^{2-} directamente desde la curva de calibración después de restar la absorbancia de la muestra antes de agregar BaCl_2 .
- Si se utilizó la solución tampón B restar SO_4^{2-} concentración de blanco de la concentración aparente de SO_4^{2-} según se determinó anteriormente; porque la curva de calibración no es una línea recta, esto no equivale a restar la absorbancia en blanco de la absorbancia de la muestra.

ANEXO 9.**Metodología de análisis para análisis de sulfuros por el método azul de metileno basado en la norma 8131.**

Según (HACH, 2018) el procedimiento a seguir fue el siguiente:

Materiales:

- Pipeta de 1 ml
- vasos de precipitación de 500 ml
- Espectrofotómetro UV-VIS marca HACH modelo DR2800 serie 1154432
- Cubetas de cuarzo

Reactivos:

- Ácido sulfúrico
- Dicromato de potasio
- Reactivo de sulfuro
- Agua tipo I

Consideraciones:

- Realizar una acidificación de la muestra utilizando ácido sulfúrico y dicromato de potasio.
- Cuando la muestra está muy concentrada hay que diluir en agua tipo I.

Procedimiento:

- Tomar 1 ml de la muestra y diluir en 400 ml de agua tipo I.
- Encender el espectrofotómetro UV – VIS, iniciar el programa 690 sulfuro.
- Preparar el blanco con agua destilada, se utiliza 10 ml.
- Colocar dentro del equipo.
- Preparar la muestra con una pipeta, se utiliza 10 ml.

- Agregar 1 ml de reactivo de sulfuro.
- Colocar dentro del equipo.
- Leer los resultados observados en el equipo.

ANEXO 10.

Metodología de análisis para Tensoactivos (detergentes aniónicos) en agua residual mediante el método PE-03/ SM Ed.23, 2017, 5540 C/ Espectrofotometría VIS/ Anionic Surfactants as MBAS.

Según (Baird, Eaton et al. 2017) se utilizó el siguiente método para el análisis de Tensoactivos (detergentes aniónicos).

Materiales:

a) Equipo colorimétrico: se requiere uno de los siguientes:

- 1) Espectrofotómetro, para usar a 652 nm, que proporciona una trayectoria de luz de 1 cm o más.
- 2) Fotómetro de filtro, que proporciona una trayectoria de luz de 1 cm o más y está equipado con un filtro de color rojo que exhibe una transmitancia máxima cercana a 652 nm

b) Embudos de separación: 500 mL, preferiblemente con llaves de paso y tapones de TFE inerte.

Reactivos:

- Solución *stock* de LAS
Pesar una cantidad del material de referencia igual a 1 g de LAS sobre una base 100% activa.
Disuelva en agua y diluya a 1000 mL; 1 mL= 1 mg LAS. Conservar en nevera para minimizar la biodegradación. Si es necesario, prepárese semanalmente.(Sayago 2016)
- Solución LAS estándar
Diluir 10 ml de solución LAS *stock* a 1000 ml con agua; 1 mL= 10,0 µg LAS. Prepárese a diario.
- Solución indicadora de fenolftaleína, alcohólica.
- Hidróxido de sodio ($NaOH$), 1N.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4), 1N y 6N
- Cloroformo $CHCl_3$

PRECAUCIÓN: El cloroformo es tóxico y se sospecha que es carcinógeno. Tome las precauciones adecuadas contra la inhalación y exposición de la piel.

- Reactivo de azul de metileno

Disuelva 100 mg de azul de metileno en 100 ml de agua. Transfiera 30 mL a un matraz de 1000 mL. Agregue 500 ml de agua, 41 ml de (H_2SO_4), 6N y 50 g de fosfato de sodio, monobásico, monohidratado, ($NaH_2PO_4 \cdot H_2O$), agite hasta que se disuelva y diluir a 1000 mL.

- Solución de lavado

Agregue 41 mL de (H_2SO_4) 6N a 500 mL de agua en un matraz de 1000 mL, en otro envase agregue 50 g de ($NaH_2PO_4 \cdot H_2O$), y agite hasta que se disuelva, posteriormente diluir a 1000 mL.

- Metanol (CH_3OH)

PRECAUCIÓN: Los vapores de metanol son inflamables y tóxicos; tome las precauciones adecuadas.

- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2), al 30%.

- Lana de vidrio

Extraiga previamente con $CHCl_3$ para eliminar las interferencias.

- Agua, grado reactivo, sin MBAS

Úselo para hacer todos los reactivos y diluciones.

Procedimiento

- a. Preparación de la curva de calibración.

Prepare una curva de calibración inicial que conste de al menos cinco estándares que cubran el rango de concentración referenciado o deseado. Siempre que se demuestre la linealidad en el rango de interés ($r = 0,995$ o mejor), ejecute los estándares de verificación diaria en el límite de informe y una concentración por encima de la concentración esperada de las muestras. Los resultados estándar de verificación deben estar dentro del 25% del valor

original en el límite de informe y del 10% del valor original para todos los demás. De lo contrario, prepare una nueva curva de calibración.

Prepare una serie de embudos de decantación para un blanco de reactivo y estándares seleccionados. Pipetee porciones de solución LAS estándar (5540C.3b) en embudos. Agregue suficiente agua para que el volumen total sea de 100 ml en cada embudo de decantación.

Trate cada estándar como se describe en los párrafos d y e a continuación; y trace una curva de calibración de absorbancia frente a microgramos de LAS tomados, especificando el peso molecular de LAS utilizado.

b. Tamaño de la muestra

Para el análisis directo de aguas y aguas residuales, seleccione el volumen de la muestra en base a la concentración esperada de MBAS:

Expected MBAS Concentration <i>mg/L</i>	Sample Taken <i>mL</i>
0.025–0.080	400
0.08–0.40	250
0.4–2.0	100

Si la concentración esperada de MBAS es superior a 2 mg / L, diluya la muestra que contiene de 40 a 200 µg de MBAS a 100 ml con agua.

Para el análisis de muestras purificadas por sublimación, disuelva el residuo de sublimato (5540B.4e) en 10 a 20 mL de metanol, transfiera cuantitativamente la cantidad completa (o una porción adecuada si se esperan más de 200 µg de MBAS) a 25 a 50 mL de agua, evapore sin hervir hasta que se acabe el metanol, agregando agua según sea necesario para evitar que se seque, y diluir hasta aproximadamente 100 mL con agua.

c. Tratamiento con peróxido

Si es necesario para evitar la decoloración del azul de metileno por sulfuros, añadir unas gotas de H_2O_2 al 30%.

d. Emparejamiento y extracción de iones

1) Agregue la muestra a un embudo de decantación. Se alcaliniza mediante la adición gota a gota de $NaOH$ 1N, utilizando un indicador de fenolftaleína. Descargue el color rosa mediante la adición gota a gota de H_2SO_4 1N.

2) Agregue 10 mL de $CHCl_3$ y 25 mL de reactivo de azul de metileno. Agite el embudo vigorosamente durante 30 segundos y deje que las fases se separen. Alternativamente, coloque una barra de agitación magnética en el embudo de decantación; coloque el embudo de costado en un mezclador magnético y ajuste la velocidad de agitación para producir un movimiento de balanceo. La agitación excesiva puede provocar la formación de emulsiones. Para romper las emulsiones persistentes agregue un pequeño volumen de alcohol isopropílico (<10 mL); agregue el mismo volumen de alcohol isopropílico a todos los estándares. Algunas muestras requieren un período de separación de fases más prolongado que otras. Antes de drenar la capa de $CHCl_3$, agite suavemente y luego deje reposar.

3) Extraiga la capa de $CHCl_3$ en un segundo embudo de decantación. Enjuague el tubo de suministro del primer embudo de decantación con una pequeña cantidad de $CHCl_3$. Repita la extracción dos veces más, usando 10 mL de $CHCl_3$ cada vez. Si el color azul en la fase acuosa se debilita o desaparece, deséchelo y repita, usando una muestra más pequeña.

4) Combine todos los extractos de $CHCl_3$ en el segundo embudo de decantación. Añada 50 ml de solución de lavado y agite vigorosamente durante 30 segundos. En esta etapa no se forman emulsiones. Deje reposar, agite y extraiga la capa de $CHCl_3$ a través de un embudo que contiene un tapón de lana de vidrio en un matraz aforado de 100 ml; El filtrado debe ser transparente. Extraer la solución de lavado dos veces con 10 mL de $CHCl_3$ cada una y agregar al matraz a través de la lana de vidrio. Enjuague la lana de vidrio y el embudo con $CHCl_3$. Recoger los lavados en un matraz aforado, diluir hasta marcar con $CHCl_3$ y mezclar bien.

e. Medición

Determine la absorbancia a 652 nm frente a un blanco de $CHCl_3$.

Cálculos

- De la curva de calibración (5540C.4a) lea microgramos de LAS aparente (peso molecular) correspondiente a la medida absorbancia.

$$mg \frac{MBAS}{L} = \frac{\mu g \text{ LAS aparentes}}{mL \text{ muestra original}}$$

Informe como "MBAS, calculado como LAS, peso molecular".

ANEXO 11.

RESULTADOS

Orden Corrida	A	B	C	Aceites y grasas	Cromo total	DBO5	DQO	Dureza total	OD	Sólidos totales	Sulfatos	Sulfuros	Tensoactivos	Caudal	Temperatura	pH	
				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	L/s		°C
1	1	9 am	P1	Martes	2.50	2.15	991	3,310	931	0	9,718	1,050	185	5.1	2.02	17.7	11
8	2	9 am	P3	Miércoles	2.50	2.27	1,021	3,730	980	0	10,048	1,150	175	4.8	4.65	18.2	11
15	3	12pm	P2	Sábado	2.50	2.89	882	3,020	733	0	8,046	1,020	165	7.6	2.49	19.2	11
16	4	12pm	P3	Martes	2.50	1.95	922	3,410	1,020	0	10,010	1,025	190	6.1	3.69	18.1	11
9	5	9 am	P3	Sábado	2.50	2.67	689	3,050	752	0	7,816	1,040	190	6.1	2.11	17.8	11
12	6	12pm	P1	Sábado	2.50	2.83	957	2,980	762	0	8,000	1,000	173	7.1	2.75	18.5	11
6	7	9 am	P2	Sábado	2.50	3.24	733	2,880	752	0	7,782	1,040	176	6.4	2.48	17.5	11
2	8	9 am	P1	Miércoles	2.50	1.72	1,000	3,270	921	0	10,016	1,175	190	6.1	3.11	19.7	11
11	9	12pm	P1	Miércoles	2.50	2.28	1,494	3,680	1,000	0	9,654	1,100	182	4.3	3.38	20.3	11
14	10	12pm	P2	Miércoles	2.50	2.41	1,230	3,490	960	0	9,610	1,125	190	12.1	4.34	19.9	11
10	11	12pm	P1	Martes	2.50	2.02	1,252	3,380	970	0	9,980	1,050	200	4.6	2.97	19.4	11
18	12	12pm	P3	Sábado	2.50	3.14	693	3,300	743	0	8,090	960	186	7.4	1.03	19.1	11
5	13	9 am	P2	Miércoles	2.50	2.11	1,142	3,280	941	0	10,082	1,125	184	7.7	3.72	18.2	11
17	14	12pm	P3	Miércoles	2.50	2.13	1,293	3,520	1,020	0	9,552	1,125	197	6.2	4.89	20.8	11
4	15	9 am	P2	Martes	2.50	2.34	1,015	3,350	1,020	0	9,748	950	170	5.8	3.37	16.8	11
3	16	9 am	P1	Sábado	2.50	3.31	851	3,010	733	0	7,692	1,020	176	8.5	2.21	19	11
7	17	9 am	P3	Martes	2.50	2.12	1,081	3,350	1,010	0	9,740	1,025	192	5	1.73	17.1	11
13	18	12pm	P2	Martes	2.50	2.11	950	3,230	1,000	0	10,030	1,075	160	7.1	4.18	18.1	11
19	19	9 am	P1	Martes	2.50	2.01	1,219	3,240	1,010	0	9,756	950	200	5.2	2.16	17.6	11
20	20	12pm	P3	Miércoles	2.50	2.11	1,151	3,520	980	0	9,608	1,100	195	5.8	5.04	20.3	11

Nota: Los parámetros que se encuentran fuera del límite permitido, se encuentran resaltados y con negrilla.

ANEXO 12.

Evidencia de toma de datos in situ del día 1.

		DÍA # 1					
⑫	D ₁ P ₁ H ₂	t(s)	V(L)	pH	T(°C)		
		2,04	7,3			11	18,5
		2,28	6				
		2,64	5,5				
⑬	D ₁ P ₂ H ₂	t(s)	V(L)	pH	T(°C)		
		2,35	6			11	19,2
		2,21	4,5				
		2,33	6				
2,51	7						
⑭	D ₁ P ₃ H ₂	t(s)	V(L)	pH	T(°C)		
		3,73	5			11	19,1
		4,81	5				
		4,28	3				

ANEXO 13.

Fotografía de toma de muestras en el campo de estudio.

