

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE CIVIL**



**“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS DRENAJES H Y T,
MUNICIPIO SIMÓN BOLÍVAR, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

Realizado por:

ZULEIKA C., MORALES V.

ROCÍO M., OJEDA C.

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de:**

Ingeniero Civil

Barcelona, Febrero 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE CIVIL**



**“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS DRENAJES H Y T,
MUNICIPIO SIMÓN BOLÍVAR, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

Realizado por:

ZULEIKA C., MORALES V.

ROCÍO M., OJEDA C.

**Prof. Ana Ghanem
ASESOR ACADÉMICO**

Barcelona, Febrero 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE CIVIL**



**“ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS DRENAJES H Y T,
MUNICIPIO SIMÓN BOLÍVAR, ESTADO ANZOÁTEGUI”**

El jurado hace constar que asigno a esta tesis la calificación de:

**Prof. Ana Ghanem
ASESOR ACADÉMICO**

**Prof. Octavio Blas Pinto
JURADO**

**Prof. María Ramírez
JURADO**

Barcelona, Febrero 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

DEDICATORIA

A **Dios** y a **La Virgen** por darme salud, por llenar mi espíritu de bendiciones y por darme la fuerza necesaria para iniciar y terminar esta fase tan importante en mi vida.

A **mis padres**, *Nohelia y Octaviano*, quienes con infaltable amor me impartieron los principios y valores que me conllevaron a culminar exitosamente esta etapa. Sin el irremplazable apoyo de ellos, este logro jamás hubiera sido tan dulce como lo es hoy en día para mí. Ellos son los dos pilares fundamentales en mi vida y son una fuente inagotable de amor, de bendiciones y me dieron todas las herramientas necesarias para llegar a esta meta, así que este logro es de ustedes, *¡DISFRUTENLO AL MÁXIMO, LOS AMO!*

En especial también a **mis hermanos**, *Octaviano y José Daniel*, quienes han sido también mis principales estímulos y que han creído y confiado en mi a largo de todas mis vida: lo logre!! LOS ADORO!.

A mi **prima**, *Oriana*, quien me oriento y me brindo su apoyo incondicional para la realización de esta meta. TE QUIERO!

A toda **mi familia**: *padrinos, tíos, tías, primos y primas* que con buenas intenciones, bendiciones y deseos mantuvieron en alto mis ganas de alcanzar este logro.

A mi **novio**, *Juan Alejandro*, quien Dios y La Virgen colocaron en mi camino desde el inicio de esta larga esta historia, ha sido el compañero que ha sabido

entregarme su interminable amor y comprensión, ha tenido paciencia, ha guardado silencio y ha sabido esperar. TE AMO!

A mi **amiga, hermana y compañera de tesis**, *Zuleika*, que mas que dedicarte este logro Zule quiero que sepas que estoy y estaré eternamente agradecida con Dios y La Virgen por haber hecho de que aparecieras en mi carrera universitaria y quisiera que compartieran tu y tu familia mucho mas conmigo y con la mía!... te quiero un montón!, SON LO MÁXIMO!!!

A **mis amigos y profesores** que siempre serán recordados con cariño, respeto y quedaran grabados en mi corazón y en mi mente.

Con mucho amor y cariño...ESTO PARA USTEDES!!

Rocío Ojeda.

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por ser el que me ha concedido ésta vida tan maravillosa, llena de salud, amor y éxitos, permitiéndome completar mi meta de ser profesional.

A Rogelio y Zulima, los mejores padres que Dios me pudo haber dado, los pilares fundamentales en mi vida, quienes con su apoyo incondicional, amor, paciencia y sabiduría, me han guiado por el camino correcto enseñándome a enfrentar cada momento de la vida con valentía y seguridad, son los primeros responsables de este logro y del éxito de toda mi carrera universitaria. Sin ellos no hubiese podido ver cumplido este éxito. Son mi ejemplo a seguir, los amo!

A mis hermanas que con su infaltable apoyo, su compañía y sus sentidos del humor, me ayudaron a seguir siempre adelante, por ser cada uno de mis extremos; Zugely mi hermana mayor, que vivimos juntas en gran parte de nuestros estudios, que compartimos trasnochos y aventuras; y Zulimita la mas chiquita y la muñequita de la familia, que con su alegría y vitalidad me contagiaba a seguir estudiando siempre feliz, eres única. Cada una me ayudaba de manera especial y me han demostrado un amor inigualable. Me encanta ser su hermana, fueron parte importante para la realización de mi tesis, las adoro!

A mivi por ser la mejor “Mivi” del mundo, por estar presente en cada momento de mi carrera, acompañándome, cuidándome, consintiéndome. Por aconsejarme y darme aliento en los momentos difíciles de esta tesis, por ser tan especial con todos, a ti. Te adoro Mi! Y a papi Hugo, que desde el cielo siempre me cuida y estuvo pendiente, que siempre cada cosa que le hablaba o le pedía el me lo concedía, eres la

ayuda y compañía especial de todos, gracias por ser participe en este trabajo de grado y en nuestras vidas, te extraño!

A mi abuela Alida que a pesar de la distancia y de adversidades en nuestras vidas siempre ha estado pendiente de mi carrera y que cada vez que hablamos me aconsejaba a seguir adelante, gracias abuela. Y a mi abuelo Rogelio que de corazón estuvo siempre conmigo y al final de mi tesis me acompaño y fue un gran apoyo para mi carrera y para la realización de mi tesis.

A mi novio Paolo, que me acompaño a lo largo de toda mi carrera, y en la realización de mi tesis, por ser tan especial desde el primer momento brindándome comprensión, paciencia, compañía, amor incondicional, eres la mejor compañía que Dios pudo elegir para mi, eres parte importante de este trabajo y parte esencial en mi vida. Sin ti no hubiese sido igual, Te amo!

A mi tío Edgar, por ser el Ingeniero Civil que en un futuro quisiera ser, por ser tan especial y estar pendiente en cada momento de mi carrera y de mi tesis, te quiero mucho. Y a Maggi, Andrea y mi Pichichi, por ser las tres chicas coquetas y bellas de siempre, estando pendiente y brindándome apoyo para la realización de este trabajo de grado, son las mejores, cumpliendo su función de tía y primitas respectivamente. Las quiero!

A mi cuñado Francisco por siempre estar al pendiente de mi tesis y de mi carrera, gracias por siempre ser un apoyo importante.

A mi compañera de tesis Rocío, eres como una integrante más de mi familia porque compartimos tantos momentos en la realización de nuestra tesis y en la carrera universitaria. Siempre me diste apoyo y me entusiasmaste cuando mas lo necesitaba.

Te quiero mucho amiga. Y a tu familia muchas gracias por todo, fueron muy especiales en cada momento.

A mis compañeros, amigos y profesores que fueron partícipes en el logro de mi tesis.

Para todos ustedes es este logro, los quiero...

Zuleika C., Morales V.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen por habernos mantenido con fuerza y salud en las oportunidades dadas y por guiarnos siempre por el camino correcto.

A nuestras familias, quienes sin ellos no hubiese sido posible este logro haciéndonos personas de bien y por nunca abandonarnos desde el inicio de nuestras vidas y por estar siempre presentes antes, durante y después de este trabajo de investigación. ¡Gracias a todos!

A la Universidad de Oriente por haber sido nuestra casa de estudio que paso a formar parte importante de nuestras vidas y fue el epicentro de nuestra formación como profesionales.

Al Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Oriente por habernos brindado gran parte de los valiosos recursos necesarios para la realización de los estudios realizados en este centro.

A nuestra tutora, la Profesora Ana Ghanem, quien fue nuestra mentora que nos oriento a lo largo de toda la realización de este trabajo de investigación, convirtiéndose así en nuestro incondicional pilar de apoyo, quien con su espíritu ambientalista tuvo la idea de proponernos realizar este excelente trabajo de investigación. ¡Gracias Profe!

A Petra, nuestra permanente guía en el Laboratorio, quien con mucha paciencia nos adiestro de manera optima para poder realizar todos los ensayos implicados en nuestra tesis, llegando a ser nuestra maestra en el laboratorio. Muchas gracias por todo Petra.

Al Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales por ser uno de los importantes participantes en la realización de nuestra tesis, en especial a los Ingenieros Francisco Ayala y Lárez, quienes amablemente nos orientaron y nos brindaron su ayuda.

De igual manera queremos agradecer a Hidrocaribe, seccional de Puerto la Cruz, por haber sido otra de las instituciones que hicieron posible la realización de este logro, especialmente a la Ingeniera Oriana Requena quien fue nuestra guía en el desenvolvimiento en este centro.

Queremos agradecer a todas aquellas personas: Ingenieros, profesores, alumnos, compañeros, amigos y conocidos; que nos ayudaron y fueron parte fundamental en la realización de este trabajo de investigación.

Mil Gracias a todos!

Rocío y Zuleika.

RESUMEN

El siguiente trabajo fue basado en el estudio de la contaminación de los drenajes H y T que son parte del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Barcelona ubicado en la margen derecha del río Neverí, descargando sus aguas directamente en el mar sin tratamiento alguno. Es por ello que se procedió a realizar la caracterización físico-química y bacteriológica de los mismos, mediante la recolección de muestras de las aguas de los drenajes durante un tiempo significativo. Los estudios aplicados a éstas muestras fueron temperatura, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Nitritos +Nitratos, Fósforo Total (PT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y Aceites y Grasas. Adicionalmente en el punto de muestreo de cada drenaje se midió la altura de agua para mejor interpretación de resultados. El análisis de las aguas de los drenajes H y T arrojó resultados que indicaron un alto nivel de concentración de los parámetros en ambos drenajes, por lo que fue necesario determinar las fuentes contaminantes de los mismos y posteriormente elaborar propuestas que aminoren y/o eliminen los vertidos de sustancias contaminantes provenientes de la actividad humana.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	x
RESUMEN.....	xii
ÍNDICE GENERAL	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
INDICE DE FIGURAS.....	xx
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	xxiii
1.1 Aspectos Generales	xxiii
1.2 Planteamiento del Problema.....	24
1.3 Objetivos	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos Específicos.....	26
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	27
2.1 ANTECEDENTES.....	27
2.2 BASES TEÓRICAS.....	29
2.2.1 Definiciones básicas.....	29
2.2.2 Cuenca Hidrológica.....	33
2.2.2.1 Características de la Cuenca Hidrológica	33
2.2.2.2 Divisoria de una Cuenca de Drenaje.....	33
2.2.2.3 Método para el Trazado de la Divisoria Topográfica	34
2.2.3 Drenaje	34
2.2.3.1 Sistema de drenaje Urbano.....	34
2.2.3.2 Objetivos de los drenajes urbanos.....	35
2.2.3.3 Acciones en Drenaje Urbano	35

2.2.3.4 Tipos de Drenaje	35
2.2.4 Contaminación del Agua.....	36
2.2.4.1 Fuentes de Contaminación del agua.....	37
2.2.5 Técnicas y Métodos de Muestreo.....	39
2.2.5.1 Muestreo en aguas.....	40
2.2.6 Aguas Pluviales.....	44
2.2.7 Aguas Residuales	45
2.2.7.1 Caracterización del Agua Residual	45
2.2.7.2 Efectos de los contaminantes de aguas residuales	62
2.2.8 ANALISIS ESTADÍSTICO.....	65
2.2.8.1 Media Aritmética	65
2.2.8.2 Desviación Estándar.....	66
2.2.8.3 Intervalos de confianza para las medias.....	67
2.2.9 BASES LEGALES	67
CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	69
3.1 Descripción General del Sistema de Drenajes	69
3.2 Descripción actual de los drenajes en estudio.....	73
CAPITULO 4: MATERIALES Y METODOS	77
4.1 Revisión bibliográfica y adquisición de información	77
4.2 Delimitación de las áreas de trabajo y parámetros ambientales a estudiar	78
4.2.1 Delimitación de las áreas tributarias	78
4.2.2 Selección de parámetros ambientales a estudiar	79
4.3 Elaboración del plan de muestreo	82
4.4 Toma de muestras	85
4.4.1 Conservación de la muestras.....	88

4.5 Análisis de Muestras	89
4.5.1 Ensayos de Laboratorio.....	89
4.5.1.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	90
4.5.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO ₅).....	94
4.5.1.3 Fósforo Total (PT)	106
4.5.1.4 Nitrógeno Total (Amoniacal y orgánico).....	112
4.5.1.5 Nitratos.....	117
4.5.1.6 Nitritos	122
4.5.1.7 Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)	125
4.5.1.8 Sólidos suspendidos totales.....	135
4.5.1.9 Aceites y Grasas.....	138
4.5.2 Mediciones en campo.....	141
4.5.2.1 Temperatura	141
4.5.2.2 pH.....	141
4.5.2.3 Altura del Agua.....	141
4.6 Análisis Estadístico.....	141
4.7 Identificación y ubicación de las fuentes contaminantes.....	143
CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	144
5.1 Drenaje H	144
5.2 Drenaje T.....	157
5.3 Análisis estadístico de los resultados de los drenajes H y T.....	168
5.4 Características de las fuentes contaminantes de los drenajes H y T	176
5.4.1 Drenaje H.....	177
5.4.2 Drenaje T.....	180
CAPITULO 6: PROPUESTAS.....	183
6.1 Drenaje H	183
6.2 Drenaje T.....	185

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	188
7.1 CONCLUSIONES	188
7.1.1 Drenaje H.....	188
7.1.2 Drenaje T.....	189
7.2 RECOMENDACIONES.....	191
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	192
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	1/5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.....	49
Tabla 2.2 Valores de Confianza.....	67
Tabla 3.1. Progresivas de las estructuras de paso del drenaje “T”.....	73
Tabla. 4.1. Parámetros ambientales seleccionados para el estudio de las aguas contenidas en los drenajes H y T (1/2).....	81
Tabla 4.2 Envases, volúmenes mínimos y tipo de muestra seleccionado para cada parámetro	84
Tabla 4.3 Días lluviosos registrados durante el periodo de muestreo.....	87
Tabla 4.4 Periodos climáticos presentados en el periodo de muestreo.....	87
Tabla 4.5 Requisitos de preservación para cada parámetro	88
Tabla 4.6 Diluciones de la DBO a partir de la DQO.	105
Tabla 4.7 Volumen de muestra para la determinación de Nitrógeno Total	114
Tabla. 4.8. Preparación del medio líquido de lactosa	129
Tabla 4.9 Número más probable (NMP) y límites de 95% de confianza para ensayos con 5 tubos por dilución (10ml. 1.0 ml, y 0.1 ml)	134
Tabla A.1. Parámetros Físicos – Químicos y Biológicos. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla B.1. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 1. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla B.2. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 2.. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla B.3. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 3.. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla B.4. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 4.. ¡Error! Marcador no definido.	

Tabla B.5. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 5.. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla B.6. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 6.. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla B.7. Datos de Laboratorio y campo con Resultados del Muestreo N° 7.. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla C.1. Resultados de DQO con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador no
definido.**

Tabla C.2. Resultados de DBO₅ con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador no
definido.**

Tabla C.3. Resultados de fósforo total con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador no
definido.**

Tabla C.4. Resultados de nitrógeno total con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador
no definido.**

Tabla C.5. Resultados de nitritos + nitratos con análisis estadístico. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla C.6. Resultados de coliformes totales con análisis estadístico. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla C.7. Resultados de coliformes fecales con análisis estadístico. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla C.8. Resultados de sólidos suspendidos totales con análisis estadístico.. **¡Error!**
Marcador no definido.

Tabla C.9. Resultados de aceites y grasas con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador
no definido.**

Tabla C.10. Resultados del pH con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador no
definido.**

Tabla C.11. Resultados de la temperatura con análisis estadístico. **¡Error!** **Marcador
no definido.**

Tabla D.1. Relación entre la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y la demanda química de oxígeno correspondiente al drenaje H. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.2. Relación entre la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y la demanda química de oxígeno correspondiente al drenaje T. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.3. Relación entre los coliformes totales y los coliformes fecales correspondiente al drenaje H. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla D.4. Relación entre los coliformes totales y los coliformes fecales correspondiente al drenaje T. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla E.1. Tabla resumen de los valores de demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, aceites y grasas y pH de los drenajes. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla E.2. Tabla resumen de los valores de fósforo total, nitrógeno total, nitritos y nitratos de los drenajes. (1/2) **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla E.3. Tabla resumen de los valores de sólidos suspendidos totales y temperatura de los drenajes. **¡Error! Marcador no definido.**

Tabla E.4. Tabla resumen de los valores de coliformes totales y coliformes fecales de los drenajes. **¡Error! Marcador no definido.**

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.4 Curva de calibración del espectrofotómetro para DQO. (690nm).....	93
Figura 4.6 Curva de calibración del espectrofotómetro para fósforo total. (420 nm)	110
Figura 4.7 Curva de calibración del electrodo selectivo de amoniaco.....	117
Figura 4.9. Curva de calibración del electrodo de nitrato.....	120
Figura 5.1 Gráfico representativo de la variación de la Altura del agua entre los muestreos realizados al drenaje H.....	145
Figura 5.2 Gráfico representativo de la variación de la DQO entre los muestreos realizados al drenaje H.....	146
Figura 5.3 Gráfico representativo de la variación de la DBO ₅ entre los muestreos realizados al drenaje H.....	147
Figura 5.4 Gráfico representativo de la relación entre la DBO ₅ y la DQO en el drenaje H.....	148
Figura 5.5 Gráfico representativo de la variación de PT entre los muestreos realizados al drenaje H.....	149
Figura 5.6 Gráfico representativo de la variación de NT entre los muestreos realizados al drenaje H.....	150
Figura 5.7 Gráfico representativo de la variación de NO ₂ +NO ₃ entre los muestreos realizados al drenaje H.....	151
Figura 5.8 Gráfico representativo de la variación de CT entre los muestreos realizados al drenaje H.....	152
Figura 5.9 Gráfico representativo de la variación de CF entre los muestreos realizados al drenaje H.....	153
Figura 5.10 Gráfico representativo de la variación de SST entre los muestreos realizados al drenaje H.....	154

Figura 5.11 Gráfico representativo de la variación de Aceites y Grasas entre los muestreos realizados al drenaje H.....	155
Figura 5.12 Gráfico representativo de la variación de la Temperatura entre los muestreos realizados al drenaje H.....	156
Figura 5.13 Gráfico representativo de la variación del pH entre los muestreos realizados al drenaje H.....	156
Figura 5.14 Gráfico representativo de la variación de la altura del agua entre los muestreos realizados al drenaje T.....	157
Figura 5.15 Gráfico representativo de la variación de la DQO entre los muestreos realizados al drenaje T.....	158
Figura 5.16 Gráfico representativo de la variación de la DBO ₅ entre los muestreos realizados al drenaje T.....	159
Figura 5.17 Gráfico representativo de la relación entre la DBO ₅ y la DQO en el drenaje T.....	160
Figura 5.18 Gráfico representativo de la variación de PT entre los muestreos realizados al drenaje T.....	161
Figura 5.19 Gráfico representativo de la variación de NT entre los muestreos realizados al drenaje T.....	162
Figura 5.20 Gráfico representativo de la variación de NO ₂ + NO ₃ entre los muestreos realizados al drenaje T.....	163
Figura 5.21 Gráfico representativo de la variación de CT entre los muestreos realizados al drenaje T.....	164
Figura 5.22 Gráfico representativo de la variación de CF entre los muestreos realizados al drenaje T.....	165
Figura 5.23 Gráfico representativo de la variación de SST entre los muestreos realizados al drenaje T.....	166
Figura 5.24 Gráfico representativo de la variación de aceites y grasas entre los muestreos realizados al drenaje T.....	167

Figura 5.25 Gráfico representativo de la variación de temperatura entre los muestreos realizados al drenaje T.	167
Figura 5.26 Gráfico representativo de la variación de pH entre los muestreos realizados al drenaje T.	168
Figura 5. 27. Comparación de valores de la DQO con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	169
Figura 5.28. Comparación de valores de la DBO ₅ con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	170
Figura 5.29. Comparación de valores de Fósforo Total con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	171
Figura 5.30. Comparación de valores de Nitrógeno Total con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	171
Figura 5.31. Comparación de valores de Nitritos + Nitratos con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	172
Figura 5.32. Comparación de valores de Coliformes Totales con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	173
Figura 5.33. Valores de Coliformes Fecales	173
Figura 5.34. Comparación de valores de SST con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	174
Figura 5.35. Comparación de valores de Aceites y Grasas con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	175
Figura 5.36. Comparación de valores de pH con el Artículo 10 del Decreto 883 ^[15]	175
Figura 5.37. Valores de Temperatura.....	176

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos Generales

La Ciudad de Barcelona es la capital del Estado Anzoátegui, pertenece al Municipio Simón Bolívar, y fue fundada en el año 1671. Es la ciudad más antigua de la costa oriental venezolana, presenta una extensión de 76,5 km², para la cual se anticipa un alto crecimiento y expansión en la presente década del siglo XXI. (ver Fig. 1.1).

El río Neverí atraviesa la Ciudad de Barcelona en sentido Norte bajando hacia el Mar Caribe, situándose ésta a 13 metros sobre el nivel del mar, además presenta una llanura costera rodeada de montañas que forman parte de la cordillera oriental de Venezuela. Ésta ciudad, junto con Puerto La Cruz, Lechería y Guanta representa una de las áreas metropolitanas de mayor relevancia en el país y la más grande del oriente venezolano. Con respecto a las características del medio físico-natural, la ciudad de Barcelona tiene una topografía plana, y suelo de textura areno – arcillosa. (ver Fig. 1.2).

Las precipitaciones en la zona registran una intensidad media de 650 mm al año diferenciándose dos períodos, uno seco y otro lluvioso. El clima presenta una temperatura media anual en la Ciudad de Barcelona que oscila entre 26 °C y 27 °C, alcanzando aproximadamente una máxima de 32 °C y una mínima de 22 °C.

La ciudad alberga importantes industrias que incluyen complejos petroleros y centros industriales automotrices, entre otros, y posee un gran potencial turístico. Actualmente, la ciudad de Barcelona se ve afectada por un problema de saneamiento, debido principalmente a descargas de líquidos residuales, desechos sólidos y basura,

que son dispuestos en forma discriminada en algunos de los drenajes pluviales de la ciudad, lo que a la larga ocasiona daños perjudiciales al ecosistema marino y provoca la abstención de turistas a visitar la zona.

1.2 Planteamiento del Problema

El desagüe de la cantidad de aguas de lluvia caídas en un tiempo y espacio determinado, es función primordial del sistema de drenaje pluvial. Graves problemas de contaminación de los drenajes pluviales ocurren en Venezuela; principalmente en las zonas urbanas, como consecuencia de las descargas de aguas residuales y de un ineficiente, en su mayoría ausente mantenimiento periódico y preventivo de las estructuras de captación (brocales, aceras, alcantarillas, sumideros, colectores, etc.) por parte de los entes competentes. El estado Anzoátegui no queda exento de la problemática mencionada anteriormente, considerando que el incremento poblacional no planificado ha conllevado a la ocupación incorrecta de las márgenes de los drenajes pluviales, trayendo como consecuencia la obstrucción de los mismos debido a la presencia de los desechos sólidos, rellenos y descargas de aguas servidas.

Actualmente, la ciudad de Barcelona cuenta con un sistema de cloacas que se encuentra en estado de deterioro, y las aguas servidas son descargadas en algunos casos sin tratamiento previo a los drenajes pluviales existentes en la ciudad, acción que resulta incompatible con el debido funcionamiento de tales sistemas de recolección y conducción de aguas de lluvia, que a la larga conllevan a una severa contaminación del medio ambiente produciendo un desequilibrio en los ecosistemas involucrados, debido a que la ciudad se constituye por una compleja red de drenajes naturales interconectados que descargan sus aguas al río Neverí o al mar.

La margen derecha del río Neverí se compone de un amplio sistema de recolección pluvial, del cual solo tres drenajes descargan sus aguas en la laguna de

retención de Tronconal: el colector G, el colector H y el colector T. El colector G, inicia su recorrido en la zona Industrial Los Montones, atraviesa la Vía Alternativa hasta la entrada de la Urbanización Tronconal V; el colector H nace en el sector II de Boyacá se extiende por el sector I del mismo y está ubicado entre las urbanizaciones Fundación Mendoza y Colinas del Neverí, llevando una trayectoria paralela a la Avenida Jorge Rodríguez, por último, el colector T está ubicado entre las urbanizaciones Tronconal III y Tronconal IV, el cual nace al final de la Avenida II de Tronconal V.

Los drenajes anteriormente mencionados sufren los efectos de descargas de aguas residuales y de la presencia de desechos sólidos. En vista de esta situación surgió la idea de realizar un estudio ambiental, enfocado al estudio de la contaminación de los drenajes H y T, el cual consta del análisis de ciertas características físico-químicas y bacteriológicas de sus aguas. Una parte de este proceso contempla la recolección de muestras de los respectivos drenajes durante un tiempo representativo, que fueron sometidas a pruebas *in situ*, tales como temperatura y pH; y de laboratorio, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Nitritos, Nitratos, Fósforo Total (PT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y Aceites y Grasas. Las fases restantes se dirigieron hacia la localización de las fuentes contaminantes de los drenajes H y T, y de la elaboración de propuestas que eliminen, o en su defecto aminoren los afluentes cargados de sustancias orgánicas, inorgánicas, microorganismos y demás sustancias derivadas de la actividad humana.

El presente trabajo de investigación está orientado a una mejor comprensión y conocimiento del área afectada, para posteriormente establecer adecuadas medidas correctivas y preventivas que mejoren las condiciones de vida en las zonas adyacentes a los drenajes H y T.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Estudiar la contaminación que existe actualmente en los drenajes H y T y sus principales fuentes contaminantes, para la elaboración de propuestas para su descontaminación.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Delimitar el área tributaria servida de cada uno de los drenajes en estudio.
2. Elaborar el programa de muestreo para la determinación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de los cuerpos de agua de cada drenaje.
3. Realizar toma de muestras de cada drenaje para su posterior estudio en el laboratorio.
4. Identificar las fuentes contaminantes.
5. Elaborar las propuestas para la descontaminación de los drenajes H y T.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

La degradación de las aguas viene de antiguo, hay niveles altos de contaminación desde hace siglos. Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en sucias cloacas, cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes.

A comienzos de este tercer milenio, determinado por la industrialización, por los grandes avances científicos y tecnológicos, uno de los aspectos cuyos alcances, aplicaciones y efectos son aterradores, está íntimamente vinculado con la contaminación de cuerpos de agua y del impacto que ésta tiene sobre los recursos vivos del mar.

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hoy en día la relevancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda. En base a esto se han efectuado diversos estudios sobre las características físico-químicas y bacteriológicas, y monitoreos continuos de la calidad de agua.

En este sentido, en el estado Anzoátegui se han realizado una serie de evaluaciones, con el objeto de caracterizar las aguas de diferentes zonas, así como también hacerle seguimientos de descargas que son vertidas a las aguas en estudio. El análisis de las características físico - químicas y bacteriológicas de los drenajes H y T no presenta estudios anteriores. Otras investigaciones se han hecho relacionadas con el tema del presente trabajo de investigación, entre ellas resultan de mayor relevancia las que se describen a continuación.

En el año 2007 se efectuó una evaluación del sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Aragua de Barcelona.^[1] Para la elaboración de esta investigación se efectuaron toma de muestras en el afluente y el efluente de este sistema, para un posterior análisis físico-químico y bacteriológico, cuyos resultados fueron comparados con las Normas para la clasificación y el control de calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.^[15] Este estudio contempló la determinación de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF). De igual forma, en esta evaluación se determinaron los valores de las eficiencias de los diferentes parámetros medidos en dicha planta de tratamiento.

En el 2001 se hizo un estudio preliminar para determinar la calidad bacteriológica de las aguas del río Neverí a través de la identificación y cuantificación de los microorganismos indicadores de contaminación.^[2] Los de agentes patógenos estudiados de mayor importancia fueron los coliformes totales y fecales. Para la realización de esta investigación fue necesaria la toma de muestras en puntos establecidos a lo largo del río. Este estudio arrojó datos que sirven como aporte para conocer la condición microbiológica del río y prevenir a las personas que utilizan sus aguas con fines diversos; los riesgos de contraer enfermedades a través del agua.

Adicional a estos estudios, se realizó un trabajo de investigación en el año de 1999; en el que se efectuó la descripción de indicadores microbiológicos de contaminación, donde infieren la presencia de los organismos patógenos para el ser humano.^[3] Señalan los organismos indicadores a estudiar dependiendo del medio ambiente acuático, así como también la utilidad de dichos indicadores en estudio de calidad de agua. Para la elaboración de ese trabajo de investigación se consideraron

conjuntos de microorganismos indicadores, en los que se ubica el grupo de los coliformes.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Definiciones básicas

- **Afluente:** Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar sino en otro curso de agua con el cual se une en un lugar llamado confluencia.

- **Agua contaminada:** La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.

- **Agua gris:** son las aguas generadas por los procesos de un hogar, tales como el lavado de utensilios y de ropa así como el baño de las personas, pero que no contienen excretas.

- **Agua superficial:** Toda agua natural abierta a la atmósfera concerniente a ríos, lagos, reservorios, lagunas, corriente, mares, océanos y humedales.

- **Aguas negras:** Aguas que contienen los residuos de seres humanos, de animales o de alimentos, principalmente excretas.

- **Agua receptora:** Un río, un lago, un océano, una corriente de agua u otro curso de agua dentro de la cual se descarga aguas residuales o efluentes tratados.

- **Aguas residuales:** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado, el gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja o industria que contienen materia orgánica, disuelta o suspendida.

- **Bacterias coliformes:** microorganismos que sirven como indicadores de contaminación patógeno cuando son encontradas en las aguas. Estos son usualmente encontrados en el tracto intestinal de los seres humanos y otros animales de sangre caliente.

- **Caudal:** Es el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en una unidad de tiempo.

- **Concentración:** Cantidad de material disuelto en una unidad de solución, expresado en mg/l.

- **Contaminante:** Compuesto que a una concentración suficientemente alta causa daños en la vida de los organismos.

- **Curvas de Nivel:** es una línea imaginaria que une los puntos de un terreno con las mismas cotas medidas desde un nivel de referencia.

- **Efluente:** resulta de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, más las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pudieran agregarse a un cuerpo receptor.

- **Escorrentía:** es el agua que corre por los cauces, puede incluirse el escurrimiento superficial, el flujo subsuperficial y el subterráneo o base.

- **Escurrimiento superficial:** proviene del agua que no se infiltra directamente en el suelo y se mueve sobre la superficie del terreno.

- **Estación de bombeo de Aguas Negras:** son estructuras destinadas a la extracción de aguas servidas de un determinado sector el cual no puede ser drenado por gravedad.

- **Eutrofización:** Enriquecimiento del agua, la cual causa un crecimiento excesivo de plantas acuáticas e incrementa la actividad de microorganismos anaeróbicos. Como resultado los niveles de oxígeno disminuyen rápidamente y el agua se asfixia, siendo la vida imposible para los organismos acuáticos aeróbicos.

- **Índice de coliformes:** Una posición de la pureza del agua basada en un conteo de bacterias coliformes.

- **Infiltración:** movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el perfil del mismo. Aguas de lluvia que penetran en el suelo por percolación.

- **Nitrificación:** Proceso biológico, durante el cual bacterias nitrificantes convierten el amoníaco tóxico en nitrato para disminuir su efecto dañino. Esto es comúnmente utilizado para eliminar sustancias de nitrógeno de las aguas residuales, pero en lagos y en pantanos esto ocurre de forma natural.

- **Nutriente:** Cualquier sustancia que promueve el crecimiento de organismos vivos. El término es generalmente aplicado para el nitrógeno y el fósforo en aguas residuales, pero es también aplicado a otros elementos esenciales y elementos traza.

- **Oxígeno disuelto:** La cantidad de oxígeno disuelto en agua para un cierto tiempo, expresado en mg/l.
- **Parámetro:** Una variable, propiedad medible cuyo valor está determinado por las características del sistema, en el caso del agua por ejemplo, estos pueden ser la temperatura, la presión, la densidad, etc.

- **Patógeno:** Enfermedad producida por microorganismos.

- **Período de Retorno:** también llamado Intervalo de Recurrencia, es el intervalo promedio, en años, entre acontecimientos, que igualan o exceden una magnitud dada, también es el inverso de la probabilidad de excedencia.

- **Planta de tratamiento:** Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.

- **Precipitación:** agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo.

- **Residuo:** Los residuos secos restantes después de la evaporación de una muestra de agua o de lodo.

- **Sedimentación:** Asentamiento de partículas sólidas en un sistema líquido debido a la gravedad.

- **Sedimentos:** Suelo, arena, y minerales lavados desde el suelo hacia la tierra generalmente después de la lluvia.

- **Sistema de aguas residuales:** Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento y traspaso.

- **Sistema de alcantarillado:** Tuberías que recolectan y transportan aguas residuales desde fuentes individuales hasta una alcantarilla mayor que la transportará a continuación hasta una planta de tratamiento.

2.2.2 Cuenca Hidrológica

Es la zona de la superficie terrestre en la cual, todas las aguas pluviales que caen sobre ella se van a dirigir hacia el mismo punto de convergencia, siendo este el de salida. La cuenca hidrológica está definida por una línea denominada divisoria, la cual es necesariamente trazada para abordar un estudio hidrológico.

2.2.2.1 Características de la Cuenca Hidrológica

a. “Topográficas: tamaño, forma, pendiente, elevación, rede de drenaje, ubicación general, uso y capa superior del suelo, lagos y otros cuerpos de agua, drenaje artificial, orientación, canales y cauces (tamaño, forma de la sección transversal, pendiente, rugosidad y longitud)”^[4]

b. “Geológicas: tipo de suelo, permeabilidad, formaciones de aguas freáticas, estratificación”^[4]

2.2.2.2 Divisoria de una Cuenca de Drenaje

La divisoria o parteaguas, es la línea imaginaria que separa una cuenca hidrológica y las cuencas vecinas. A cada lado de la divisoria de aguas, las aguas

precipitadas acaban siendo recogidas por el curso de agua principal de la cuenca respectiva. Esta se puede trazar sobre planos topográficos de la zona en estudio.

2.2.2.3 Método para el Trazado de la Divisoria Topográfica

- 1- La línea divisoria debe cortar a las curvas de nivel lo mas perpendicular posible.
- 2- Cuando la divisoria aumenta su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte convexa y en lo contrario su parte cóncava.
- 3- El punto de intersección de un plano normal a la divisoria debe dar el punto de mayor altitud del terreno.
- 4- La línea divisoria nunca debe cortar a un río, arroyo o aguada, excepto en el punto de cierre del contorno a partir del cual limitamos la cuenca.^[5]

2.2.3 Drenaje

Los drenajes son obras hidráulicas dispuestas a la recolección del exceso de aguas, que mediante un conjunto de drenes, canalizan el exceso hacia la red de saneamiento o a un desagadero.^[6]

2.2.3.1 Sistema de drenaje Urbano

Un sistema de drenaje urbano comprende una serie de acciones, materiales o no dirigidas al logro de los objetivos establecidos, entre los cuales resulta de mayor relevancia evitar, en la medida de lo posible, que las aguas pluviales perjudiquen a los habitantes, a las propiedades en las ciudades o afecten el normal desenvolvimiento de la vida urbana.

Se entenderá como aguas pluviales, las provenientes de precipitaciones que inciden sobre las áreas urbanizadas constituyentes de la población, además estas incluyen aquellas que precipitan sobre otras zonas adyacentes, cuyo recorrido bien sea por cauces naturales, conductos artificiales, o simplemente a lo largo de su superficie, fluyen a través de la ciudad.

2.2.3.2 Objetivos de los drenajes urbanos

Un sistema de drenaje urbano debe estar orientado al cumplimiento de dos objetivos, los cuales son el básico y el complementario. El primero de ellos consiste en prevenir en el mayor rango posible perjuicios a las personas y a las propiedades presentes en ciudad; y el segundo se basa en procurar el desenvolvimiento cotidiano de las poblaciones, lo que garantizaría un tráfico de personas y vehículos adecuados durante el periodo de precipitaciones.^[6]

2.2.3.3 Acciones en Drenaje Urbano

En los drenajes urbanos se pueden presentar dos tipos de acciones: preventivas y correctivas. Las de carácter preventivo, que consisten en la aplicación apropiada de estrategias que aminoran los daños de las áreas urbanas sujetas a ellos; y las de acciones correctivas, que se aplican en la medida de que las preventivas son insuficientes.^[6]

2.2.3.4 Tipos de Drenaje

a. Drenaje Superficial: “Comprende las acciones correctivas constituidos por el conjunto de estructuras naturales y artificiales que conducen el escurrimiento superficial desde el lugar de caída de las lluvias hasta su entrada en un cauce

natural o en un conducto artificial, disminuyendo las molestias del tráfico de personas y vehículos”.^[6]

b. Drenaje Secundario: “Es el conjunto de acciones correctivas constituidas por los conductos y obras conexas construidas por el hombre, las cuales permiten garantizar que las aguas no obstaculicen el normal desenvolvimiento del tráfico de personas y vehículos en las áreas urbanas”.^[6]

c. Drenaje Primario: “Es el conjunto de acciones correctivas constituido por los cauces naturales y los conductos artificiales y obras conexas, dirigidas a salvaguardar la vida de las personas y evitar el daño a las propiedades”.^[6]

2.2.4 Contaminación del Agua

El agua en estado natural, es una solución acuosa de composición muy variada; formada por compuestos orgánicos e inorgánicos en proporciones que dependen del lugar donde se encuentre.

Se considera que existe contaminación de las aguas cuando sus características químicas, físicas y biológicas se encuentran alteradas, debido al vertido de residuos sólidos o líquidos, que degradan el recurso de su estado natural y afectan directamente la salud humana y los recursos que de la vida acuática.^[7]

La contaminación del agua presenta factores y condiciones que perjudican los usos que pudiera dársele a un agua en su estado natural. Los agentes contaminantes del agua, bien sea de origen doméstico, industrial o agrícola, causan diversos y multitudinarios efectos que habrán de analizarse en función del uso que se quiera dar al agua, o bien, dentro de la perspectiva de tener unas aguas en mejores condiciones

de calidad, con el fin de resguardar las especies acuáticas y poderla dedicar a áreas con funciones recreativas o estéticos.

2.2.4.1 Fuentes de Contaminación del agua

La contaminación de las aguas ha sido generada por la asociación de un conjunto de factores sociales, económicos y culturales, entre otros. La mayor parte de la contaminación del agua deriva de vertidos no controlados de origen diverso que pueden deberse a factores naturales o a factores antropogénicos. Está claro que los problemas vienen por el impacto de estos últimos años ya que los factores naturales entran dentro del ciclo del agua y son reciclados. Básicamente, la contaminación de las aguas, ha sido originada por la ocupación y uso de los recursos naturales, según su origen se pueden clasificar los contaminantes como: agrícola-ganadero, urbano o doméstico, industrial y pluvial.

a. Origen agrícola-ganadero

Son el resultado del riego y de otras labores como las actividades de limpieza ganadera, que pueden aportar al agua grandes cantidades de estiércol y orines, es decir, mucha materia orgánica, nutrientes y microorganismos.

El agua usada para el riego constituye una causa de contaminación, ya que ha sufrido un aumento de contenido de sales minerales nutrientes, de la concentración de nitratos, además de arrastre de pesticidas, insecticidas y herbicidas. ^[8]

b. Origen urbano o doméstico

Las aguas domésticas son las que provienen de núcleos urbanos. Contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, materias fecales, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.), estos residuos contienen grandes cantidades de materia orgánica que se descomponen mediante la acción de microorganismos y que se manifiesta por sus altos valores en la demanda bioquímica de oxígeno. Estos desechos al ser vertidos a cuerpos de agua alteran su composición química, adquiriendo esta agua olores y sabores desagradables, se modifican su transparencia, densidad y aumentan las partículas en suspensión.

El caudal máximo de aguas residuales domésticas se presenta al mediodía, los valores medios a las 9 de la mañana y a las 7 de la tarde y el valor mínimo hacia las 6 de la mañana. En Venezuela la descarga de aguas de origen domestico se evidencia en todo el territorio nacional. ^[8]

c. Origen industrial

Las industrias constituyen la mayor fuente de contaminación de las aguas. Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales, que pueden tener orígenes muy distintos. Pueden aparecer elementos propios de cada actividad industrial, entre los que cabe citar: tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, etc.

Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química. Los desagües orgánicos se degradan biológicamente empleando el oxígeno disuelto en el curso de agua, lo cual provoca una disminución del mismo. Los desagües inorgánicos degradan la calidad del agua, dándole gusto, olor y color, excesiva mineralización, salinidad, dureza y poder corrosivo. Muchos son tóxicos o parcialmente tóxicos para la vida acuática y potencialmente, para la humana.

La contaminación industrial de origen orgánico puede estar constituida por compuestos que van a ser biodegradable, o por otros completamente diferentes que van a ser muy difícilmente degradables por los microorganismos. [8]

d. Origen pluvial

Al llover el agua arrastra toda la suciedad que encuentra a su paso, presentándose mas turbia que la que se deriva del consumo doméstico.

En las ciudades esta agua arrastra aceites, materias orgánicas y diferentes contaminantes de la atmósfera, y en el campo arrastran pesticidas, abonos, etc.

En la industria de las aguas pluviales arrastran las sustancias que se han caído sobre el terreno, pudiendo presentar un gran problema si son sustancias tóxicas. Además, si existe acumulación de residuos en zonas no preparadas para ello, los lixiviados de los residuos serán arrastrados. Es conveniente tener una red de pluviales, aunque según la composición que tenga, se decidirá su unión al colector que desemboca en la depuradora o se realizará una desviación vertiendo directamente a las aguas superficiales. [9]

2.2.5 Técnicas y Métodos de Muestreo

Cualquier estudio de contaminación del medio, comienza con la obtención de los datos sobre el estado inicial del mismo, ya que son imprescindibles a la hora de adoptar posteriores medidas de tratamiento y control de la contaminación y, en definitiva, de su conservación.

La evaluación implica la utilización de numerosas herramientas con el objetivo último de conocer y valorar una situación, permitiendo el posterior planteamiento de actuaciones. Toda evaluación requiere como mínimo una toma de muestras y datos en campo y un posterior análisis en el laboratorio.

La finalidad de la toma de muestras es conseguir que una fracción extraída del medio a estudiar sea representativa del mismo, así como de fácil manipulación, determinación y conservación. Es esencial que la manipulación de la muestra no afecte a la composición de la misma desde que se toma hasta el momento en que se realiza el análisis. ^[9]

2.2.5.1 Muestreo en aguas

El objetivo de la toma de muestras de agua residual será obtener una muestra representativa, para determinar a partir de ella las características físicas, químicas y bacteriológicas, que en definitiva, serán la base para la determinación del grado de contaminación del curso de agua a estudiar.

El método empleado en la recogida de muestras y el tiempo máximo que debe transcurrir entre ésta y el análisis quedarán sujetos a las determinaciones analíticas que se vayan a realizar; la toma de muestras y los equipos a utilizar variaran sensiblemente dependiendo de la matriz líquida que se está estudiando.

En caso de tratarse de ríos y cursos de agua residual los puntos de recolección deben elegirse preferiblemente donde las variaciones sensibles de calidad sean probables, o donde ocurra una variación significativa del caudal, como confluencias de ríos, vertidos o tomas importantes.

1) Clasificación de muestreo en aguas

La clasificación de las técnicas de muestreo debe hacerse bajo los siguientes criterios:

- **Dependiendo de su representatividad:**

- a. Muestra Simple**

Es aquella muestra que se toma en el mismo momento del día y en un punto específico y representa así las condiciones del efluente en ese instante. Ese tipo de muestras es útil en determinados casos:

- Cuando se precisa analizar ciertos parámetros en el momento de la toma, por ejemplo: pH, cloro libre residual, oxígeno disuelto, temperatura, análisis microbiológicos y cualquier otro parámetro que pueda cambiar durante el tiempo de almacenamiento.
- Cuando se produce una descarga puntual de ciertos productos que es preciso analizar.
- Cuando el vertido se produce de forma intermitente.
- Cuando las variaciones en la carga contaminante del vertido son importantes y es preciso definir los máximos y los mínimos que se producen.

- b. Muestra Compuesta**

Es el tipo de muestra formada por la combinación de un número de muestras simples, los cuales han sido tomados en intervalos regulares de tiempo durante un periodo largo, generalmente un día.

Representan el estado del efluente en un periodo determinado. Éste tipo de muestras se utiliza en los casos siguientes:

- Cuando se precisa obtener un valor medio de contaminación en el período considerado para ajustes en el control del proceso.
- Cuando se necesita obtener un valor medio a efectos administrativos.
- Cuando se desea conocer el rendimiento del proceso de depuración.

La muestra compuesta puede ser de un volumen fijo en la que el intervalo de tiempo entre la toma de muestras como el volumen de la mismas permanece constante, o proporcional al flujo en la cual el volumen de las muestras recogidas es proporcional al volumen de caudal.^[9]

c. Muestra Integrada

Consiste en la mezcla de muestras simples, captadas en diferentes sitios simultáneamente. Se utiliza especialmente en ríos, lagos y aguas costeras, donde ocurren variaciones en la composición dependiendo de la profundidad y el ancho de la corriente.^[10]

- **Dependiendo de la Técnica empleada:**^[10]

a. Manual

La captación es realizada directamente por el personal involucrado con equipos manuales apropiados. Permite observar situaciones variables o no previstas y hacer cambios en la programación, además involucra un equipo mínimo para la captación.

Resulta más económica cuando se trata de programas de caracterización relativamente sencillos, donde el número de puntos y la frecuencia de captación de muestras es reducida. No requiere mantenimiento. Cuando sea necesario se pueden captar muestras adicionales o modificar el programa de captación.

Tiene las desventajas de que requiere de técnicos de campo entrenados y la posibilidad de ocurrencia de errores humanos producto de las dificultades de captación y el cansancio. Puede ser costoso en términos de gastos de personal y tiempo consumido para programas de muestreo rutinarios o a gran escala.

b. Automática

La captación se realiza con equipos automáticos destinados especialmente para el muestreo. Es muy útil cuando es necesaria la captación en muchos sitios simultáneamente o se requiera de un registro más continuo. Los equipos se pueden programar para preparar muestras compuestas en función del tiempo o del caudal.

Entre algunas de las ventajas se puede mencionar consistencia en la captación, requiere poco personal, permite mayor frecuencia de captación de muestras. Presenta desventajas tales como de que requiere inspección y mantenimiento de los equipos, representan un alto costo de inversión y no permite observar situaciones variables.

- **Dependiendo de la variación del efluente** ^[9]

a. Independiente

La muestra se recoge sin tener en cuenta la variación de caudal y, por tanto, la información que suministra no permite conocer con exactitud la carga contaminante.

b. Dependiente

La muestra da información sobre las características del vertido, considerando además las variaciones de su caudal.

2) Conservación de las Muestras

La completa conservación de una muestra, sean éstas aguas naturales, residuales industriales o urbanas, es prácticamente imposible de lograr. En el mejor de los casos se consigue retrasar los cambios químicos y biológicos.

Se emplean, pues, técnicas de conservación que minimicen los posibles cambios al máximo, incidiendo en la temperatura de conservación (casi siempre siendo necesaria la refrigeración), la rapidez de transporte, sellado de la muestra y el tiempo transcurrido hasta el análisis de los compuestos, además de la utilización de productos químicos para su conservación.

2.2.6 Aguas Pluviales

La precipitación es el factor básico en los procesos de escorrentía de agua de lluvia. En un sistema natural, el caudal de escorrentía superficial se controla por la cantidad de precipitación, condiciones del suelo, vegetación y geología subsuperficial.

La lluvia arrastra materiales sobre las aguas superficiales, causando la contaminación de los cursos. Los compuestos orgánicos crean demanda de oxígeno, los nutrientes aceleran la eutrofización de los lagos y los metales pesados se acumulan en el fondo de los sedimentos.

2.2.7 Aguas Residuales

Se denomina a agua residual a la mezcla de residuos líquidos y sólidos originados en los hogares centros comerciales, instalaciones industriales, e instituciones públicas, junto con cualquier agua que pueda penetrar en el sistema de alcantarillado, ya sea proveniente de infiltraciones del sub-suelo, agua de escorrentía o procedente de la red de aguas pluviales.^[11]

2.2.7.1 Caracterización del Agua Residual

Las características del agua residual en términos de cantidad y composición son en primer lugar en función de su origen. Estas se clasifican en tres grandes grupos: físicas, químicas y biológicas.

1) Características Físicas ^[9]

Las características definidoras de los fenómenos aparecidos por la existencia de episodios de contaminación en el medio hídrico proporcionan información complementaria e independiente a la aportada por los muchos componentes químicos o biológicos detectados también en él. Muchos de los parámetros que se incluyen a continuación como lo son el color, la turbidez y la conductividad, satisfacen inequívocamente esta categoría, junto con los demás, pero no siempre pueden

considerarse por separado de la composición química del agua contaminada propia de ese momento.

- **Aspecto**

El aspecto se refiere a la presencia de color, turbidez, sólidos en suspensión, larvas sedimentos o partículas similares detectables *de visu*.

Dada la subjetividad de interpretación de este parámetro, siempre que sea posible debe ir acompañado de valores numéricos sobre el color, la turbidez, o los sólidos en suspensión, parámetros todos ellos que serán expuestos a continuación.

- **Color**

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes.

Las sustancias presentes en las aguas residuales productoras de color son de muy variada naturaleza, proporcionando cada una y en conjunto las diversas tonalidades observables.

El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo con el paso del tiempo y desarrollarse condiciones anaerobias el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro y finalmente a negro. En la mayoría de los casos el color gris, gris oscuro y negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

- **Turbidez**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Esta característica indica la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la material coloidal y residual en suspensión.

La transparencia de una masa natural de agua es un factor decisivo para la calidad y productividad de los ecosistemas que contienen, ya que las aguas turbias impiden la penetración de la luz, y con ello disminuye la incorporación de oxígeno disuelto por la fotosíntesis que realizan los productores primarios.

- **Olor**

El olor, junto con el gusto, son determinaciones organolépticas de carácter subjetivo para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. A través del sentido del olfato puede detectarse la presencia de sustancias que están en el agua en mínimas cantidades.

En efecto, todo olor es un signo inequívoco de contaminación o de la presencia de materias orgánicas en descomposición. El olor mas característico del agua residual séptica es el producido por la presencia de sulfuro de hidrogeno.

- **Sabor**

Este parámetro no suele emplearse, debido fundamentalmente a cuestiones de seguridad medica, ya que suele ser común el desconocimiento a priori del origen de la potencial contaminación, careciéndose de unas garantías físico-químicas y biológicas mínimas. Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de Cl^- , y el amargo con más de 450 ppm de SO_4^{2-} .

- **Temperatura**

La temperatura es una de las constantes físicas que tienen más importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua, y determina la evolución o tendencia de sus propiedades, ya sean físicas, químicas o biológicas.

La temperatura desempeña un papel muy importante en la solubilidad de las sales, y principalmente de los gases, por lo tanto, también en la conductividad y en la determinación del pH, sobre todo.

Un incremento de más de 3° C en una zona respecto de las adyacentes, sería síntoma de que se está produciendo una contaminación térmica, es decir, se está produciendo un vertido de aguas más calientes que las del medio receptor.

- **Conductividad**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es, por tanto, indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. Esta proviene de un ácido, una base o una sal, disociadas en iones.

- **Densidad**

La densidad de un agua residual se define como su masa por unidad de volumen. La densidad depende de la temperatura y de la concentración de sólidos totales presentes en el agua residual.

- **Sólidos**

Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro para su consumo de varias maneras. Los análisis de sólidos son importantes en el

control de procesos de tratamientos biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan sus vertidos. (ver tabla 2.1)

Las principales razones que indican porque esta prueba carece de base son las siguientes:

- Los valores medidos de sólidos suspendidos totales (SST) dependen del tipo de filtro usado en la determinación.

- Dependiendo del tamaño de muestra usada en la determinación de SST, los sólidos suspendidos que han sido interceptados por el filtro pueden también servir como medio filtrante, como ocurre cuando se utiliza el método de autofiltración.

- SST es un parámetro agrupado, ya que se desconoce el número y distribución del tamaño de partículas que componen el valor de la medida. ^[12]

Tabla 2.1 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.(1/2)

Prueba	Descripción
Sólidos totales (ST)	Residuos que quedan en un recipiente después de la evaporación de la muestra y su secado en estufa a temperatura definida. (103 a 105°C).
Sólidos volátiles totales (SVT).	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los ST son calcinados (500 ± 50°C).
Sólidos fijos totales (SFT).	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500± 50°C).
Sólidos suspendidos totales (SST).	Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica. El filtro más usado para esta prueba es el filtro Whatman de fibra de vidrio que tiene un tamaño nominal de poros de aproximadamente 1.58 µm.
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SST son calcinados (500 ± 50°C).
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50°C).

Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son del tamaño de 0,001 a 1 μm .
Sólidos disueltos volátiles (SDV) (SVT-SST)	Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los SDT son calcinados ($500 \pm 50^\circ\text{C}$).

Tabla 2.1 Definiciones para sólidos encontrados en agua residual.(2/2)

Sólidos disueltos fijos (SDF).	Residuo remanente después de calcinar los SDT ($500 \pm 50^\circ\text{C}$).
Sólidos sedimentables	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros por litros, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico

Fuente: ^[12]

Los sólidos fijos, expresión aplicada a los sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura especificada. La pérdida de peso por ignición se debe a la pérdida de sólidos volátiles.

El contenido de materias en suspensión es muy variable según los cursos de agua, de hecho todos las contienen, variando mucho en función del origen. En general, el contenido en sólidos en suspensión esta en función de la naturaleza de los terrenos atravesados, de la pluviometría y de los vertidos al cauce, entre otros.

El estudio de los sólidos es de gran importancia en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para estudiar el cumplimiento de las limitaciones que regulan sus vertidos.

2) Características Químicas

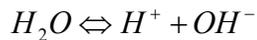
Un número importante de elementos, compuestos y sustancias que, dependiendo de las condiciones físico-químicas del medio hídrico, pueden llegar a convertirse en contaminantes químicos del mismo, son miembros integrados en algunas de las etapas que estructuran el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos principales. Las aguas residuales tienen clasificados sus constituyentes químicos en inorgánicos y orgánicos.

a. Características Químicas Inorgánicas

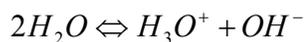
Las aguas residuales se conforman de diversas materias inorgánicas, cuya determinación es importante puesto que van a establecer el control de la calidad del agua. Las concentraciones de estas sustancias en el agua se incrementan por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas y a su vez por las aguas residuales tratadas y sin tratar que a ella se descarguen. Los inorgánicos incluyen elementos individuales y una amplia variedad de compuestos.

▪ pH

Las moléculas de agua están parcialmente disociadas en iones hidronios (H^+) e iones hidroxilo (OH^-):



Los iones hidronios no existen en solución, sino que nada más formarse se unen a una molécula de agua por medio de un puente de hidrógeno para formar el ión H_3O^+ ; así pues, se obtiene:



A la ecuación anterior se le aplica la ley de acción de masas y se obtiene:

$$\frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]} = KW \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Siendo KW una constante que depende de la temperatura.

El numero de iones $[H_3O^+]$ es igual a la de iones $[OH^-]$ en un agua neutra, y como para KW_{H_2O} se ha encontrado un valor de $1.008 \cdot 10^{-14}$ a 25°C , tenemos que la concentración de iones hidronio e hidroxilo en una neutra es igual (10^{-7}).

Se utiliza la notación de pH como medida de la naturaleza acida o alcalina de una solución acuosa.

Se expresa como la concentración de iones hidronio, y se define como:

$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (\text{Ec. 2.2})$$

es decir, que:

pH = 7 en presencia de un medio neutro

pH < 7 medio ácido

pH > 7 medio básico

Los valores de pH adecuados con la vida de las especies acuáticas se ubican entre 5 y 9, siendo el rango más favorable, los valores ubicados entre 6 y 7,2; es por esto que las aguas residuales con intervalos de pH por debajo a 5 y que superan a 9 son de difícil tratamiento a través de procesos biológicos. De no ajustar el valor de pH del agua residual antes de ser descargada, el pH de la fuente receptora puede ser perturbado; por lo que los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser vertidos dentro de los límites específicos de pH establecidos por la normativa vigente.

▪ **Nitrógeno**

El nitrógeno se encuentra en el agua en tres formas: gas disuelto, combinaciones orgánicas y combinaciones inorgánicas. El nitrógeno inorgánico no gaseoso se halla en forma de nitratos, nitritos y amonio. De ocurrir todo normalmente, es natural encontrar la mayor fracción en forma de nitrato, que es precisamente la forma más oxidada. La proporción entre las distintas formas son expresión de la marcha de procesos biológicos. Los factores ambientales que influyen en la actividad de los organismos nitrificantes y desnitrificantes son: la temperatura, la concentración de oxígeno, las fuentes de carbono, el pH, las sustancias tóxicas etc. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico:

✓ **Nitrógeno Total Kjeldahl**

La determinación del Nitrógeno Kjeldahl está referida al amonio y a los compuestos orgánicos de nitrógeno presente en el agua, excluyendo nitratos y nitritos. Las aguas superficiales, si están bien aireadas, no deben contener normalmente amoníaco (NH_3). La presencia de amoníaco libre o ión amonio (NH_4^+) es considerado como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa, a pH elevados el amonio pasa a estado de amoníaco, si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se convierte en nitritos. El Nitrógeno Kjeldahl incluye el nitrógeno orgánico en todas sus formas: proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.

✓ **Nitrógeno Nitroso**

Los nitritos pueden estar presentes en las aguas, bien sea por la oxidación del amoníaco o por la reducción de los nitratos. Igualmente cuando el agua que contiene

nitratos esta en contacto con metales fácilmente atacables, ya sea a pH alcalino o a pH ácido, se pueden presentar nitritos.

✓ **Nitrógeno Nítrico**

Es un indicador de la contaminación que precede al proceso de estabilización y de forma escasa sobre pasa la cantidad de 1 mg/l en el agua residual y 0,1 mg/l en el caso de aguas subterráneas y superficiales. A pesar de que su presencia suele darse en concentraciones pequeñas y tiende a aumentar como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de la población.

▪ **Fósforo**

El Fósforo total es el contenido de fósforo orgánico e inorgánico, tanto disuelto como suspendido presente en el agua. El fósforo generalmente puede clasificarse como ortofosfato, fosfato condensado, o fosfato unido a compuestos orgánicos, es un factor limitado en el crecimiento del fitoplancton y es por esto que existe mucho interés por parte de los científicos, en controlar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y por medio de las esorrentías naturales.

▪ **Alcalinidad**

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio.

La alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular los cambios de pH causados por la adición de ácidos. Normalmente el agua residual es alcalina, propiedad adquirida de las aguas de abastecimiento, aguas subterráneas y los materiales durante los usos domésticos.

- **Cloruros**

La concentración de los cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. En las aguas residuales los cloruros son añadidos como consecuencia del uso. Las heces humanas aportan 6 g/persona-día. Los cloruros son indicadores de descargas en compuestos de aguas superficiales.

- **Azufre**

El ión sulfato se encuentra en forma natural en las aguas residuales y de abastecimiento. El azufre es de gran importancia para la síntesis de proteínas, es liberado cuando ocurre la degradación de las mismas.

- ✓ **Sulfuros**

El hidrógeno sulfurado (H_2S) es un gas muy soluble en el agua, de 3,5 a 7 g/l en condiciones normales, da olor a huevos podridos y es muy venenoso. Las aguas que contengan hidrogeno sulfurado serán muy toxicas a pH ácidos.

- ✓ **Sulfatos**

Los sulfatos tienden a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, y debido a que el vapor del producto de solubilidad de dichas sales es muy bajo,

contribuye muy eficazmente a disminuir su toxicidad. Un incremento de los sulfatos presentes en el medio hídrico es indicador de un vertido próximo.

b. Características Químicas Orgánicas

Como compuesto orgánico se designa a un amplio sector de compuestos químicos que tienen en común en que en su constitución intervienen siempre el carbono. Son pues los compuestos del carbono aunque haya que exceptuar el propio carbono en sus distintas formas, sus óxidos, el ácido carbónico y sus sales, los carburos los cianuros y en algunos otros compuestos carbonados que son completamente inorgánicos. La contaminación orgánica es la mas importante en magnitud, y sus principales fuentes son de origen domestico, industrial, agrícola y ganadero.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son proteínas (40 a 60%), hidratos de carbono (25 a 50%), y grasas y aceites (10%). Dentro de los ensayos mas comunes, se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y el carbono orgánico total (COT).

▪ Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días es el parámetro de contaminación orgánica de mayor empleo, aplicado tanto a aguas residuales como a aguas superficiales. La DBO es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios.

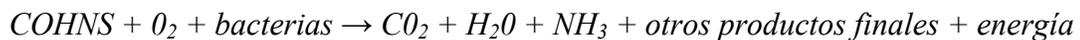
Existen diversas variantes de la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, entre ellas las que se refieren al período de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los 5 días (DBO_5).

Pueden ocurrir en ese proceso tres actividades diferentes ^[13]:

“Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de sus células y la síntesis del nuevo tejido celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. Por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular; este tercer proceso es llamado respiración endógena”.

Los tres procesos se definen por las siguientes reacciones químicas:

Oxidación



Síntesis



Respiración endógena



En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, y en las industriales depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios de miles de ppm.

La relación entre los valores de DBO y DQO es indicativa de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En aguas residuales un valor de la relación de la DBO/DQO menor de 0,2 se interpreta como un vertido del tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0,6.

El ensayo de la DBO₅ tiene varias deficiencias serias: 1) el periodo arbitrario de cinco días no corresponde al momento en que se haya consumido todo el residuo, por lo que no tiene validez estequiométrica; 2) el ensayo incluyen la necesidad de aclimatar bacterias que sirvan como inóculos, el potencial aumento en la demanda por efecto de nitrificación y limitaciones generales sobre la precisión del ensayo.

▪ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en determinadas condiciones. No es necesario el conocimiento de la composición química de las sustancias presentes en el agua para la determinación de la DQO. Para lograr determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica oxidable se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido, el dicromato de potasio.

Los valores de la DQO varían dependiendo del grado de contaminación del agua residual; si se trata de aguas no contaminadas presenta valores entre 1 y 5 ppm, o algo superiores; cuando se trata de aguas residuales domésticas presenta valores entre 250 y 600 ppm, cuando nos encontramos en presencia de aguas residuales industriales estos valores dependerán del proceso de fabricación.

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

▪ **Carbono Orgánico Total (COT)**

Como su propio nombre lo indica, es la medida del contenido total en carbono de los compuestos orgánicos presentes en el agua. Está referida tanto a compuestos orgánicos tanto fijos como volátiles, naturales o sintéticos. Expresa de manera más correcta el contenido orgánico total y especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

Interrelación entre estos parámetros

La presencia de carbono orgánico que no responda a las pruebas de DQO o DBO hace que éstas no sean una determinación adecuada para estimar el contenido total en materia orgánica. El carbono orgánico total es una expresión mucho más conveniente para este fin.

Entre el COT, la DQO y la DBO pueden establecerse relaciones empíricas repetibles de forma independiente tanto para una determinada matriz como para un mismo vertido, o un mismo punto de tratamiento de un proceso, etc. Estas relaciones empíricas establecidas entre dichos parámetros no deben hacerse extensible fuera del marco de estudio. En cualquier caso, una de éstas determinaciones no suple a las otras.

Los valores de la relación DBO_5/DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscilan entre 0,3 y 0,8. Si la relación DBO_5/DQO es menor de 0,3, el residuo

puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir de microorganismos aclimatados para su estabilización.

- **Aceites y grasas**

Este término cubre a las grasas, aceites, ceras y demás constituyentes equivalentes presentes en las aguas residuales. Las grasas y aceites de origen vegetal o animal son semejantes, ya que se componen de ácidos grasos, alcohol y glicerina, los que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente son llamados aceites, y los que se consiguen en estado sólido se llaman grasas.

3) Características Biológicas

Los microorganismos constituyen la parte biológica de la contaminación del agua, y han sido la causa de las grandes epidemias que se han producido a lo largo de la historia de la humanidad. Las características biológicas de las aguas residuales son de vital relevancia en el control de las enfermedades producidas por organismos patógenos de origen humano, y por la principal intervención de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

- **Organismos Coliformes**

El número de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua es muy reducido y difícil de determinar. Por ello, y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, en general la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma. Los principales grupos de organismos presentes en aguas

superficiales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas y animales y virus.

Las condiciones ambientales de temperatura y pH tienen un importante efecto sobre la sobrevivencia y crecimiento de las bacterias. En vista del gran número de organismos patógenos presentes en aguas residuales y poluidas es posible aislar e identificar solo algunos de ellos; los organismos coliformes se emplean como organismos indicadores por su fácil identificación y presencia abundante.

4) Unidades de medida para parámetros físicos y químicos

Los resultados de los análisis de muestras de agua residual son expresados en términos de unidades físicas y químicas. Las medidas de parámetros químicos usualmente se expresan en términos de unidades físicas como miligramos por litro (mg/l) o gramos por metro cúbico (g/m^3). La concentración de constituyentes traza se expresa como microgramo por litro ($\mu g/l$). La concentración también se puede expresar como partes por millón (ppm), que es una relación masa/masa. La relación entre mg/l y ppm es:

$$ppm = \frac{mg/l}{\rho} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

ρ = gravedad específica del fluido

Para sistemas diluidos, como los encontrados en aguas naturales y aguas residuales en los que un litro de muestra pesa aproximadamente un kilogramo, las unidades mg/l o g/m^3 son intercambiables con ppm . Los gases disueltos, considerados como constituyentes químicos, son medidos en unidades de ppm ($volumen/base\ volumen$) $\mu g/l$ o mg/l . Los gases generados como subproductos del tratamiento de aguas residuales, como dióxido de carbono y metano (descomposición anaerobia), son medidas en términos de pie^3 (m^3 o l).^[13]

2.2.7.2 Efectos de los contaminantes de aguas residuales

Los efectos de los contaminantes sobre los ecosistemas acuáticos son principalmente función de la cantidad y naturaleza del contaminante introducido. Tanto los compuestos biodegradables como los tóxicos pueden producir efectos letales, que se pueden manifestar en forma de disminución de la biodiversidad. El número de organismos puede incrementarse o disminuir en función de la naturaleza del contaminante.

1) Efectos provocados por los sólidos en suspensión

El exceso de sólidos en suspensión disminuye la actividad fotosintética de la vegetación acuática, debido a que estos absorben la radiación solar. Otro efecto negativo es que obstruyen el cauce, los embalses y lagos. Intervienen en los procesos de producción industrial y deterioran los materiales y hacen más costosa la depuración del agua.^[9]

2) Efectos provocados las altas temperaturas

El efecto mas perjudicial es la disminución del oxigeno disuelto, así como también puede actuar directamente sobre el metabolismo de los animales acuáticos.

Las altas temperatura incrementan la velocidad de las reacciones biológicas y la solubilidad de algunos compuestos.^[9]

3) Efectos provocados por los detergentes

No es solo la bioconcentración el problema medioambiental, también lo es el acceso del oxígeno a la masa de agua, a causa de la espuma en su superficie. El verdadero problema medioambiental causado por los detergentes reside en los polifosfatos, incluidos en su formulación para ablandar en agua.^[9]

4) Efectos provocados por la materia orgánica

La determinación de la contaminación orgánica es de gran importancia, debido a que ésta es la más relevante en su magnitud, y sus principales fuentes son de origen doméstico, industrial, agrícola y ganadero. La materia orgánica biodegradable provoca una disminución del oxígeno disuelto, que cuando se ha consumido todo, la degradación se torna anaeróbica, desapareciendo la vida animal y apareciendo compuestos típicos de putrefacción. La materia orgánica no biodegradable provoca diferentes efectos que son la acumulación de tejidos animales y la toxicidad.

Los efectos mas perjudiciales producidos por los aceites y grasas es que pueden cubrir extensas superficies de agua por ser estos menos densos que el agua e inmiscibles en ella minimizan la reoxigenación por medio de la interfase aire-agua, lo que ocasiona una reducción del oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar inhibiendo así la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto.^[9]

5) Efectos provocados por la materia inorgánica

Las consecuencias originadas debido a la presencia de materia inorgánica pueden ser de características muy diversas. Uno de los perjuicios producidos por los fosfatos es que favorecen la eutrofización, lo que origina el incremento en el medio de materias orgánicas, bacterias heterótrofas, que alteran el carácter fisicoquímico del agua y hace que reduzca el oxígeno disuelto. El principal efecto patógeno que se le imputa a los nitratos es la metahemoglobinemia, debido a la reacción de los nitritos con la hemoglobina de la sangre, con formación de hierro ferroso. La presencia de nitritos impotabiliza el agua, ya que su existencia indica una polución que trae consigo una aparecida de organismos patógenos.

Los aportes de nitrógeno y fósforo derivados de la actividad humana (detergentes, fertilización, etc.) pueden acelerar el proceso de eutrofización alterando la flora y la fauna acuáticas y limitando las posibilidades de utilización del agua. ^[9]

6) Efectos provocados por los organismos patógenos

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los efectos que los diferentes tipos de organismos pueden producir sobre el hombre son los siguientes:

- Virus: Infecciones víricas, inflamaciones cutáneas y oculares.
- Bacterias: infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas, como cólera, fiebres tifoideas, salmonelosis, etc.
- Protozoos y metazoos: enfermedades parasitarias como la hidatidosis, esquistosomiasis, etc. ^[9]

7) Efectos provocados por los olores

A bajas concentraciones, la influencia de los olores del normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menos consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos. En condiciones extremas, los malos olores pueden desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socio económico y reducir el crecimiento. ^[12]

2.2.8 ANALISIS ESTADÍSTICO

Para estudios de problemas de contaminación de cuerpos de agua, la estadística facilita obtener conclusiones certeras a partir de un grupo de datos representativos obtenidos de una serie programada de muestreos. Así como también, proporciona los métodos científicos necesarios para recopilar, organizar, resumir y analizar datos que permitan lograr una visión más cercana a la realidad del conjunto y una toma de decisiones certeras basadas en tal investigación.

Un análisis estadístico puede reflejar el nivel de contaminación presente en el agua en estudio, permitiendo así la comparación de las características físico-químicas y bacteriológicas contenidas en ella, con los límites establecidos por el organismo regulador de la materia.

Los parámetros estadísticos empleados se enuncian a continuación:

2.2.8.1 Media Aritmética

Se conoce como promedio, equivale a la suma de las observaciones dividida entre el número de ellas. Es la medida más común de localización o centro de datos. Se denota por \bar{X} y se define por:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

\bar{X} = Media de la muestra

X = Datos u observación que contiene la muestra

N = Numero de datos

2.2.8.2 Desviación Estándar

Esta consiste en determinar la desviación de cada término de la muestra con respecto a su media aritmética. Es la raíz cuadrada de la varianza. Se denota por σ y se define por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

X = Datos

\bar{X} = Media aritmética

N = Cantidad total de datos

2.2.8.3 Intervalos de confianza para las medias

El límite de confianza se define por:

$$\bar{X} \pm Z_c \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

\bar{X} = Media aritmética

Z_c = Valor que depende del nivel de confianza deseado (Ver Tabla 2.2)

σ = Desviación estándar

N = Cantidad total de datos

Tabla 2.2 Valores de Confianza

Nivel de confianza	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%	80%	68,27%	50%
Z_c	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645	1,28	1,00	0,6745

Fuente: ^[14]

2.2.9 BASES LEGALES

Las normas para los requerimientos de calidad de agua deben tener presente el uso que se le piensa dar. Es deber del Estado la protección de cuencas hidrográficas, la clasificación de los vertidos o efluentes líquidos susceptibles a degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente.

En base al decreto 883 se establecen las **“Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”**^[15], las cuales contienen la clasificación de las aguas, establecen las medidas de las descargas a cuerpos de agua y de las descargas al medio marino-costero, este decreto entró en vigencia el 11 de Octubre de 1995.

CAPITULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

3.1 Descripción General del Sistema de Drenajes

La ciudad de Barcelona es una región con topografía plana. Esta presenta una altitud baja que en época de lluvia impacta de forma negativa con desbordamientos de las aguas negras y, aunado a la baja pendiente origina que los drenajes presenten cotas desfavorables para conducir las aguas pluviales.

El río Neverí constituye el elemento hidrográfico de mayor relevancia del área. Sobre su extenso delta se ha desarrollado la ciudad de Barcelona, en la que este podría ser considerado como el drenaje primario de la zona urbana, pero, cuando viene crecido, representa un obstáculo para el escurrimiento de las aguas pluviales.

Barcelona se compone de dos sistemas de drenajes separados por la trayectoria que cubre el río Neverí conformándose así de dos grandes sectores: la margen derecha y la margen izquierda.

Sistema de drenaje de la margen izquierda

Esta constituido principalmente de siete (07) drenajes: A, C, D, E, F, sistema colector B y CP1 (Complejo Playa 1), fueron proyectados para drenar la zona central de Barcelona más las zonas periféricas sur y oeste y la zona residencial ubicada al sur de la Avenida Country Club. ^[16]

Sistema de drenaje de la margen derecha del río Neverí

La red primaria de drenaje de la margen derecha se compone esencialmente por un total de ocho (08) drenajes y una laguna de retención, o para control de crecidas, denominada laguna de Tronconal. Estos drenajes son: G, B, H, I, T, GH, HB y CP-2. (ver Fig. 3.1)

El área tributaria que aporta a la margen derecha del río Neverí, se subdivide en subcuencas conformadas por los drenajes anteriormente mencionados y junto con la laguna de Tronconal suman un total de 3087 Ha.

Los drenajes T, G y H, son los que descargan directamente sobre la laguna de Tronconal, mientras que, los drenajes I, HB, GH, B y CP-2, lo hacen sobre el río Neverí.^[16]

Drenaje H

El drenaje H comienza a 17,70 metros del canal de Boyacá (dren B), presentando un alineamiento paralelo a la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez y descargando hacia el drenaje CP-2. Este dren, en su inicio, se encuentra comunicado al dren B mediante un canal de alivio de longitud de 17,70 metros, con un ancho interno de 1,00 metro y un alto de 0,55 metro, que permite el desagüe del drenaje de Boyacá.

La ubicación geográfica de este drenaje se encuentra delimitada por el drenaje B al sur, por el drenaje CP2 al norte, por la Urbanización Fundación Mendoza al este y por la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez al oeste. (ver Fig. 3.2)

El drenaje H es un canal de tierra de sección trapecial cuyas características predominan en la mayoría de su recorrido. Tiene una longitud de 1750 metros aproximadamente.

Este drenaje presenta seis (06) estructuras de paso a lo largo de su recorrido que se describen a continuación:

A corta distancia del módulo de la Policía de Boyacá I, en la progresiva 2+415, se ubica un puente peatonal de concreto que mide 2,60 m de ancho; 6,80 m de largo y 1,50 m de altura, siendo este la primera estructura de paso. Dicho elemento contiene seis (06) orificios de entrada y salida de 0,60 m de diámetro, repartidos tres (03) a cada lado de una sección trapecial que éste posee con una base de 1,95 m. (ver Fig. 3.3)

Seguido al puente del paso peatonal, el drenaje presenta un revestimiento de concreto con una longitud de 12,20 metros aproximadamente, para luego volver a la sección trapecial de tierra a lo largo de su recorrido.

En la Avenida “B” Boyacá, en la entrada de la urbanización Boyacá I, a una progresiva de 2+126, se encuentra la segunda estructura de paso, constituida por seis (6) tubos de 0,80 m de diámetro y 28 m de longitud. (ver Fig. 3.4)

En la Avenida “A” Boyacá, primera entrada de la urbanización Fundación Mendoza en la progresiva 1+596 se localiza la tercera estructura de paso, que se conforma de un tubo de concreto de 1,52 m (60”) de diámetro y 20,6 m de longitud. La cuarta estructura de paso se ubica en la progresiva 0+491, localizada en la Avenida Wollmer, segunda entrada de la urbanización Fundación Mendoza, que se consiste en un tubo de concreto de 1,52 m (60”) de diámetro y 20,10 m de longitud. Ambas estructuras de paso presentan la misma sección transversal. (ver Fig. 3.5)

En la progresiva 0+745 ubicada en una de las entradas al Centro Comercial Barcelona Mall, Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez, se localiza la quinta estructura de paso, constituida por dos tubos de concreto de 1,52 m de diámetro. Cabe mencionar que ésta nueva estructura de paso modifica la sección transversal del drenaje H y ésta no estaba contemplada en el diseño ni en el proyecto original del mismo. (ver Fig. 3.6)

En la progresiva 0+695, ubicada en la Avenida Rotaria, entrada de la urbanización Tronconal III, se encuentra la sexta estructura de paso la cual se compone por dos tubos de concreto de diámetros 1,32 m y 1,07 m y de longitud de aproximadamente 10 m. (ver Fig. 3.7)

Drenaje T

Es un drenaje que está ubicado entre las urbanizaciones Tronconal V y Tronconal IV. Nace al final de la Avenida II de Tronconal V, y descarga en la laguna de Tronconal.

La ubicación geográfica de este drenaje está enmarcada por el sector de Tronconal V al norte, por el sector de Tronconal IV al sur, por el barrio El Esfuerzo y drenaje G al este y por la laguna de Tronconal al oeste. (ver Fig. 3.8)

Este drenaje posee una longitud de 905 m y a lo largo de la misma se presentan ocho (08) estructuras de paso en forma de cajón rectangular de concreto. Presenta una sección transversal de forma trapecial de 3 m de plantilla y 2 m de altura aproximadamente, con talud de 1.33H:1.00V en concreto. Éste drenaje fue diseñado para un gasto de 15,15 m³/seg. A continuación se presentan las progresivas de las estructuras de paso que contiene el drenaje “T”. (ver tabla 3.1, Fig. 3.9 y 3.10)

Tabla 3.1. Progresivas de las estructuras de paso del drenaje “T”.

ESTRUCTURAS DE PASO	PROGRESIVA
Primera	0+905
Segunda	0+795
Tercera	0+580
Cuarta	0+540
Quinta	0+465
Sexta	0+365
Séptima	0+150
Octava	0+025

3.2 Descripción actual de los drenajes en estudio

Se procedió a la visita de las áreas en estudio correspondientes a los drenajes H y T, y a través de la técnica de observación directa se pudo apreciar la problemática presente en cada una de las zonas y el impacto causado por la misma.

Las visitas de campo realizadas a los drenajes H y T reflejaron una diversidad de conflictos urbanos, que ponen en manifiesto el uso indiscriminado de los mismos como sitios para la disposición de líquidos residuales y desechos sólidos, a ésta problemática se le añade el mantenimiento insuficiente de dichos drenajes.

Drenaje H

El canal de alivio que comunica el drenaje B con el drenaje H presenta hojas secas provenientes de la vegetación adyacente al mismo, las cuales frecuentemente permanecen en el aliviadero por falta de labores de limpieza. (ver Fig. 3.11).

En meses anteriores, el inicio del drenaje y la primera estructura de paso se encontraban potencialmente cubiertos por vegetación, situación que predomina a lo largo de todo el año aún en periodo de sequía. En la actualidad la primera estructura de paso se encuentra parcialmente cubierta por maleza. Un corto tiempo después de una de las pocas labores de mantenimiento realizadas al drenaje durante el año, se pudo apreciar que esta vegetación presentó un crecimiento brusco lo que conlleva a una obstrucción severa de dicha estructura y del inicio del drenaje. (ver Fig. 3.12)

Inmediatamente después de la primera estructura de paso el drenaje tiene un nivel de agua considerable, cuya altura permanece constante tanto en periodo lluvioso como de sequía. Se puede notar que a lo largo de este trayecto el drenaje presenta abundante vegetación, agua de color oscuro acompañada de malos olores y a la presencia de roedores que perturban a la comunidad adyacente. (ver Fig. 3.13)

A pocos metros de la segunda estructura de paso, hasta llegar a la misma, persiste la presencia de desechos sólidos, roedores junto con abundante vegetación. Cabe destacar que de las seis tuberías que componen esta estructura de paso, cuatro de ellas están totalmente obstruidas. (ver Fig. 3.14)

Continuando el recorrido del drenaje H, el agua presenta en su superficie natas verdosas que le dan una apariencia desagradable a la misma y en la que una vez más la basura y los malos olores se hacen notar. Esta condición persiste hasta llegar a la tercera estructura de paso. (ver Fig. 3.15)

Llegando a la cuarta estructura de paso, se aprecia de igual forma la abundante vegetación acompañada de malos olores. (ver Fig. 3.16)

La excesiva vegetación sigue presente a lo largo del tramo comprendido entre la quinta y la sexta estructura de paso. Igualmente tiene un cierto nivel de agua que permanece invariable independientemente en periodo de sequía. (ver Fig. 3.17)

Pocos metros después de la sexta estructura de paso se encuentra una tubería rota en la que los malos olores son intensos, y en este tramo el drenaje un presenta un constante nivel de agua independientemente de que la zona este en período de sequía. (ver Fig. 3.18)

Otras de las características que se pudieron observar en el tramo restante del drenaje H es que los canales de descarga de aguas pluviales del sector Colinas del Neverí ubicados a lo largo de la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez, se encuentran cubiertos por sedimentos, basura y maleza. Los desechos sólidos, la vegetación y abundante bora se hace presente hasta el fin de este drenaje. (ver Fig. 3.19 y 3.20)

Drenaje T

En condiciones similares al drenaje H, desde el inicio, el drenaje T presenta cantidades considerables de Boras, Lemna y maleza, las cuales hacen suponer que el agua contenida en el drenaje esta contaminada. Esta vegetación permanece constante independiente de que sean periodos lluviosos o no. En ciertas ocasiones, la maleza presenta un crecimiento acelerado, y aunado a la falta de mantenimiento ésta se acumula en las estructuras de paso ocasionando así un bloqueo parcial y en el peor de los casos total, lo que conlleva a una retención o estancamiento del agua produciendo malos olores y dando así a la formación de larvas. (ver Fig. 3.21)

En diversos puntos de todo el recorrido del drenaje T, se observó también la formación de vegetación a lo largo del revestimiento del drenaje. (ver Fig. 3.22)

Adicionalmente existen en el drenaje sustancias extrañas que presentan diferentes aspectos, textura y color. Como se puede apreciar en la imágenes, algunas de éstas sustancias se disuelven en el agua lo que le da una apariencia turbia, otras de ellas son aceitosas de diferentes tonalidades y se disponen en la superficie del agua. (ver Fig. 3.23)

Se observa además, la presencia de desechos sólidos a lo largo de todo el drenaje, en el que el final del mismo no se escapa de ésta situación, puesto que en él abunda la presencia de éstos desperdicios y demás desechos provocados por las actividades humanas. (ver Fig. 3.24)

CAPITULO 4: MATERIALES Y METODOS

4.1 Revisión bibliográfica y adquisición de información

En esta fase se procedió a un amplio chequeo en documentaciones, revistas y trabajos científicos inherentes al tema en estudio, y en el contenido presente en la red mundial de información (Internet) de elementos teóricos que permitieron el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Adicionalmente se asistieron a centros que proporcionaron de forma definida, datos básicos que sirvieron de orientaron acerca del comportamiento, localización geográfica, y problemática de los drenajes H y T. Entre los centros visitados, se encuentran organismos públicos del estado Anzoátegui tales como: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Hidrocaribe seccional Puerto la Cruz y COVINEA. Estas instituciones brindaron información respecto al sistema de aguas servidas de la zona en estudio, permitiendo la ubicación de colectores y estaciones de bombeo, así como también hacia donde descarga dicha red.

Igualmente se obtuvo información más detallada acerca de la problemática presentada por cada uno de los drenajes H y T, entrevistando a los habitantes más afectados en las diferentes zonas que abarcan estos drenes, los cuales manifestaron su gran preocupación ante el grado de contaminación presentado en los drenajes.

También se consultaron trabajos de grados que han sido realizados previamente en el departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, que están relacionados con el tema^[1,2,3] y el proyecto realizado por Martínez^[16].

4.2 Delimitación de las áreas de trabajo y parámetros ambientales a estudiar

A lo largo de esta fase se procedió a establecer los límites de las áreas de estudio correspondientes a cada uno de los drenajes H y T, estableciendo así las áreas tributarias servidas por cada uno de ellos. A su vez se eligieron los parámetros ambientales que permitieron realizar el estudio de la contaminación de los drenajes H y T, los cuales indicaron de manera representativa ciertas características físico-químicas y bacteriológicas de sus aguas.

4.2.1 Delimitación de las áreas tributarias

Drenaje H

Para delimitar esta área tributaria se tomó la información obtenida por medio de visitas de campo, recorriendo calle por calle tanto en periodo lluvioso y de sequía para conocer el escurrimiento superficial actual de las mismas hacia éste dren. Las zonas visitadas fueron las siguientes: urbanización Colinas del Neverí, urbanización Fundación Mendoza, urbanización Boyacá y por último un recorrido al tramo paralelo del drenaje H a la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez, cubriendo así todas las áreas que rodean al mismo.

El área total cubierta por este drenaje se digitalizó mediante el empleo del programa Autocad 2008, y con el debido uso de sus herramientas se pudo cuantificar la misma. La unidad de medida fue la hectárea (Ha.) con una precisión de 0,01Ha. El área tributaria de este drenaje es de 235 Ha aproximadamente. (Ver Anexo G, Plano N°1).

Drenaje T

Luego de haber recorrido las zonas adyacentes al drenaje T durante el escenario lluvioso y de sequía, se pudo conocer el actual escurrimiento superficial que presentan las calles de las diferentes zonas cubiertas por este drenaje. Las áreas visitadas para la delimitación estuvieron comprendidas por la Avenida Principal de Tronconal IV, Avenida 2 de Tronconal IV, urbanización Tronconal V y por último la urbanización Tronconal III.

Igualmente para demarcar el área servida por el drenaje T se recurrió al uso del programa Autocad 2008, logrando la digitalización y cuantificación de la misma. La unidad de medida fue la hectárea (Ha.) con una precisión de 0,01 Ha través de dicho programa. El área tributaria de este drenaje es de 69 Ha aproximadamente. (Ver Anexo G, Plano N°1).

4.2.2 Selección de parámetros ambientales a estudiar

Para lograr una eficiente caracterización del agua contenida en los drenajes H y T, se fijaron ciertos parámetros físico-químico y bacteriológico que indican los agentes contaminantes de mayor interés.

Como ya se mencionó anteriormente, para la caracterización química del agua, se presentan diversos parámetros de origen orgánico, y otros de origen inorgánico. La materia orgánica puede tener origen animal o vegetal y normalmente se aporta al agua como desecho de la actividad humana, es la responsable en gran medida de la degradación que sufren los cauces receptores de aguas residuales. En el análisis de la materia orgánica presente en el agua de los drenajes H y T se seleccionaron parámetros que dan una idea acerca del oxígeno necesario para estabilizarse como

DBO₅ y DQO, y de igual forma para aquellas sustancias de naturaleza lipídica se optó por aplicar el ensayo de Aceites y Grasas.

En cuanto al estudio de los componentes inorgánicos de las aguas presente en los drenajes H y T, se escogieron los parámetros que muestran los nutrientes fundamentales en el deterioro de estas aguas. Se consideró el estudio del pH, debido a que la concentración de las especies químicas del nitrógeno y fósforo está íntimamente relacionada con la concentración del ión hidrógeno en solución.

Entre los parámetros escogidos para un acorde análisis de las características físicas de las aguas de estos drenajes, están comprendidos los sólidos suspendidos totales y un chequeo de la temperatura en cada toma de muestra realizada a estos cuerpos de agua.

Para llegar a resultados significativos que permitan determinar la cantidad de los agentes patógenos contenidos en las aguas de los drenajes H y T se tomó como referencia las características biológicas aportadas por los organismos coliformes.

De manera más representativa, se presenta el siguiente cuadro que contiene los parámetros seleccionados que permitan determinar la calidad del agua descargada al medio ambiente por los drenajes en estudio:

Tabla. 4.1. Parámetros ambientales seleccionados para el estudio de las aguas contenidas en los drenajes H y T (1/2)

Características		Parámetros		Información suministrada
Características Químicas	Orgánicas	Demanda Química de Oxígeno (DQO)		Medida aproximada de oxígeno consumida para la oxidación total de los constituyentes orgánicos. Se relaciona de manera directa con la DBO, asociado a las descargas de materia orgánica y otros.
		Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO ₅)		Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica biodegradable presente. Muchas de estas son difíciles de oxidar biológicamente y pueden ser oxidadas químicamente por la DQO.
		Aceites y Grasas		No da la medida de la cantidad de este grupo de sustancias, sino que incluye otros grupos de características similares que van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas.
	Inorgánicas	Fósforo		Su exceso en el agua provoca eutrofización, indica el vertido de detergentes y fertilizantes. Usado como medida de nutrientes.
		Nitrógeno	Nitrógeno Kjeldhal	Parámetro crítico en la calidad de aguas debido a su influencia en el proceso de eutrofización. Usado como medida de nutrientes.
			Nitritos(*)	Indican actividad bacteriológica. Usado como medida de nutrientes.

Tabla. 4.1. Parámetros ambientales seleccionados para el estudio de las aguas contenidas en los drenajes H y T (2/2)

		Nitratos(*)	Indican contaminación agrícola. Usado como medida de nutrientes.
		pH	Tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua. Procede de aguas residuales domésticas, industriales o comerciales.
Características Físicas		Sólidos Suspendidos Totales	Indican descargas de aguas residuales domésticas e industriales sin tratar al entorno acuático. Igualmente proceden de la erosión del suelo.
		Temperatura	Determina la evolución o tendencia de las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua. Infiere en la determinación del pH.
Características Biológicas		Organismos Coliformes	Indican la presencia de organismos patógenos y desechos fecales

Fuente: Adaptado de la Bibliografía. ^[9] y ^[12]

(*) El análisis de la concentración de nitritos y nitratos se hizo de forma separada pero a la hora de estudiarlo ambos se sumaron para poder comparar estos parámetros con la normativa. ^[15]

4.3 Elaboración del plan de muestreo

Para el presente estudio fue fundamental la toma de muestras, la cual tuvo por objetivo conseguir una porción representativa de las características físico-químicas y bacteriológicas de los cursos de agua estudiados.

La recopilación de muestras de estas aguas estuvo regida por un cronograma en el que se estableció el inicio y el fin del periodo muestreo, como a su vez los intervalos en los cuales se practicó la toma de muestra en los drenajes H y T, esto con la finalidad de abarcar diferentes periodos del año en el que se presenten diversos escenarios ambientales.

El plan de muestreo fue diseñado para cubrir un número de tomas específico, correspondiendo a seis para los drenajes H y T, que tuvieron un periodo de tiempo equivalente a tres semanas transcurrido entre cada toma en un punto pre-establecido para cada drenaje estudiado. Cabe destacar que se estableció para cada muestreo la recopilación de aguas de ambos drenajes el mismo día. A continuación se presentan las fechas determinadas a lo largo del diseño del plan de muestreo:

- Muestreo #1: Martes 19-05-2009
- Muestreo #2: Martes 09-06-2009
- Muestreo #3: Martes 30-06-2009
- Muestreo #4: Miércoles 22-07-2009
- Muestreo #5: Miércoles 12-08-2009
- Muestreo #6: Miércoles 02-09-2009
- Muestreo #7: Miércoles 23-09-2009 (*)

(*) Muestreo Adicional

El horario para muestrear tanto para el H como para el T estipulado en el cronograma fue a primera hora de la mañana. Se fijaron volúmenes de agua tomando como consideración los mínimos requeridos por cada ensayo, así como también se preestablecieron durante esta etapa los envases requeridos por norma para cada parámetro físico-químico y biológico estudiado. Igualmente fue necesaria la precisión

del tipo de muestra a captar en cada ensayo. A continuación se presenta de forma detallada el tipo de botella, de muestra y volumen propuestos para los ensayos:

Tabla 4.2 Envases, volúmenes mínimos y tipo de muestra seleccionado para cada parámetro

Lugar de Ensayos	Parámetro	Envase	Mínimo Volumen de Muestra (ml)	Tipo de Muestra
Laboratorio	Aceites y grasas	V(*)	500	I
	Coliformes	V (**)	100	I, C
	DBO	P, V	1000	I, C
	DQO	P, V	100	I, C
	Fósforo Total	P, V	150	I, C
	Nitrato	P, V	100	I, C
	Nitrito	P, V	100	I, C
	Nitrógeno Total	P, V	500	I, C
	Sólidos	P, G	200	I, C
Campo	Temperatura	P, V	---	I
	pH	P, V	50	I

P = Plástico

V = Vidrio

(*) = Envase con boca ancha y calibrado

(**) = Envase esterilizado

I = Instantánea

C = Compuesta

Fuente: adaptado de la bibliografía.^[17]

El muestreo fue establecido para la recolección de aguas en dos puntos, uno en el drenaje H y otro en el drenaje T. El primer punto de muestreo fijado en el Drenaje H está ubicado en la progresiva 0+500 y en la progresiva 0+027 se ubica el segundo punto correspondiente al drenaje T. (ver anexo E, Plano N°1) Ambos puntos se

estipularon que fueran constantes durante el periodo de captación de muestras. Vale destacar que ambos se localizaron de manera estratégica, de forma tal que permitieran una captación de muestras representativas de los drenajes estudiados.

La técnica de muestreo fijada fue de tipo manual ya que permite observar situaciones variables y, es flexible en el momento de modificar el programa de captación cuando fuera necesario. El muestreo automático fue descartado ya que no resultaba factible económicamente la adquisición de equipos especializados.

4.4 Toma de muestras

La operación más importante de los programas de muestreo para determinar la calidad del agua viene dada por la toma de muestras. En este caso la toma de muestras de los drenajes H y T fueron realizadas en los puntos previamente establecidos, y estas se efectuaron de acuerdo a los intervalos de tiempo pautados en el programa de muestreo.

Las muestras captadas en cada punto de los drenajes H y T, fueron tomadas de manera simple en alícuotas de diferentes volúmenes, colectadas cada corto tiempo, dependiendo esta cantidad colectada del parámetro que se iba a analizar. La profundidad de la toma fue entre 10 a 30 cm bajo la superficie del cuerpo de agua de cada drenaje, colocando la boca del recipiente (de material plástico o vidrio según sea el caso) que se quería llenar en sentido contrario a la corriente. En cada punto se realizaron in situ mediciones de características fisicoquímicas consideradas relevantes en un estudio de calidad de aguas, como es el caso del pH y temperatura del cuerpo de agua, adicionalmente la altura del nivel del agua en los puntos de recolección fue determinada, esta última medición se hizo con la finalidad de efectuar una mejor interpretación de los parámetros estudiados.

Para esta colecta de muestra fueron necesarios los siguientes materiales:

- Cavas de anime con hielo
- Sal
- Termómetros
- pH metro
- Gotero con acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Botellas de vidrio. Capacidad: 1 l
- Botellas de vidrio. Capacidad: 0,5 l
- Botellas de vidrio ámbar. Capacidad: 0,15 l
- Tubos plásticos para la recolección de las muestras.
- Papel de parafina y de aluminio
- Guantes
- Cinta métrica

Adicional a estos materiales empleados fue necesaria una libreta de campo en las que se anotaron las observaciones y se escribieron las mediciones efectuadas en campo. Una vez recolectadas las muestras se procedió a marcar todas las botellas con etiquetas individuales con lápices o marcadores indelebles, en las que se anotaron la localización, la fecha, el número de muestreo y el tipo de análisis que se requiere, dicha información guarda relación con la libreta de campo.

Durante el periodo de toma de muestras se manifestaron los dos periodos climáticos característicos de la zona: lluvioso y de sequía. A continuación se muestran los días lluviosos registrados y por lo tanto la condición presentada para la fecha seleccionada para la recolección del agua:

Tabla 4.3 Días lluviosos registrados durante el periodo de muestreo.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
días lluviosos	7	1	1	12
no registrados	8	6	2	15
	13	10	3	16
	22	14	4	
	26	15	5	
		17	7	
		18	8	
		22	10	
		23	12	
		24	13	
		28	17	
		30	19	

Tabla 4.4 Periodos climáticos presentados en el periodo de muestreo.

MUESTREO	FECHA	CONDICION
1	19-05-2009	No llovió
2	09-06-2009	Llovió dos días antes
3	30-06-2009	Llovió días antes
4	22-07-2009	Llovió días antes y el mismo día de muestreo
5	12-08-2009	Llovió días antes y el mismo día de muestreo
6	02-09-2009	Dos semanas antes del muestreo no se registraron días lluviosos
7^(*)	23-09-2009	Se registraron días lluviosos una semana antes del muestreo

(*) Muestreo para compensar parámetros no estudiados al drenaje T en el muestreo N° 1 por fallas eléctricas en el laboratorio.

En la siguiente figura se muestra el proceso seguido para la toma de muestras de los drenajes, en este caso se muestran imágenes de la captación de agua realizadas

en el punto establecido para el drenaje T, todos estos pasos realizados se aplicaron de igual forma para la toma de muestras en el drenaje H. (ver fig. 4.1)

4.4.1 Conservación de la muestras

El análisis de laboratorio debe ser realizado lo más pronto posible para garantizar una mínima alteración de la muestra de agua desde su recolección en los drenajes hasta la realización de los ensayos, sobre todo para muestras que contengan alto contenido bacteriano. Por seguridad, inmediatamente después de la toma de muestras en los dos puntos de los drenajes H y T, se procedió a la conservación de las aguas con sustancias químicas y condiciones de temperaturas requeridas por cada parámetro estudiado. La metodología empleada en la preservación de las muestras se basó en las técnicas recomendadas por el método estándar para el análisis de aguas y aguas de desecho ^[17].

En el siguiente cuadro se presentan las condiciones y el tiempo de preservaciones exigidas por cada ensayo para su debido resguardo:

Tabla 4.5 Requisitos de preservación para cada parámetro (1/2)

Lugar de Ensayos	Parámetro	Preservación	Tiempo máximo recomendado
Laboratorio	Aceites y grasas	H ₂ SO ₄ a Ph <2, refrigerar	28 días
	Coliformes	Analizar inmediatamente; Refrigerar	2 días
	DBO	Refrigerar	6 horas
	DQO	Analizar inmediatamente o añadir H ₂ SO ₄ a Ph <2	7 días

Tabla 4.5 Requisitos de preservación para cada parámetro (2/2)

	Fósforo Total	añadir H ₂ SO ₄ a Ph <2	28 días
	Nitrato	Analizar inmediatamente; Refrigerar	2 días
	Nitrito	Analizar inmediatamente; Refrigerar	Ninguno
	Nitrógeno Total	Analizar inmediatamente o añadir H ₂ SO ₄ a Ph <2	7 días
	Sólidos	Refrigerar	7 días
Campo	Temperatura	Analizar Inmediatamente	0.25 h
	pH	Analizar Inmediatamente	0.25h

Fuente: adaptado de la bibliografía^[17]

A continuación se presentan imágenes que reflejan la preservación de las muestras antes de ser transportadas al laboratorio de análisis, estas fotos corresponden a muestras captadas del punto fijado del drenaje H.

4.5 Análisis de Muestras

4.5.1 Ensayos de Laboratorio

Una vez tomadas las muestras fueron transportadas y almacenadas en el laboratorio. Se procedió al análisis de las características fisico-químicas y bacteriológicas ya establecidas (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y Aceites y Grasas (A y G) a través de ensayos de laboratorio.

4.5.1.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno teórica o llamada también DQO calculada se determinó por reflujo cerrado con el Método Colorimétrico , el cual consiste en oxidar la materia orgánica con una mezcla de ebullición de Ácido Sulfúrico y de Dicromato de Potasio por 2 horas a 150 °C. Luego se procede a la lectura de las concentraciones en mg/l de DQO en el espectrofotómetro. La mayoría de los compuestos orgánicos se oxidan en un 95% por este método.

Método: Reflujo Cerrado – Colorimétrico. (SM 5220 B)^[17]

Equipos y Herramientas

- Viales de digestión preferiblemente tubos de borosilicato de 16x100 mm con tapa.
- Reactor de DQO. Marca: Hach. Capacidad: 0 – 150 °C. Apreciación: 0,2 °C.
- Espectrofotómetro. Marca: Perkin Elmer/Lambda 10.
- Capsulas de reacción de 10 ml.
- Destilador. Marca: Pobel 906. Capacidad: 7 l/día.
- Cilindro graduado. Capacidad: 10 ml. Apreciación: ±1ml Marca: Pyrex.
- Nevera. Marca: Magic Chef.
- Buretas. Capacidad: 25 ml y 50 ml Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Pipetas graduadas. Marca: Pyrex. Capacidad: 5ml, 10ml, 25ml y 50 ml. Apreciación: ±0,01ml.
- Beaker. Capacidad: 100 ml. Marca: Pyrex.

Reactivos

- Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Marca: Riedel – de Haën.
- Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de mercurio II (Hg_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de plata regente (Ag_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Ftalato ácido de potasio (PKH). Marca: Riedel – de Haën.

Soluciones

- Solución de digestión.

A 500 ml de agua destilada, se agregaron 10,216 g de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con grado par patrón primario, previamente secado a $103^\circ C$ por dos horas, 167 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y 33,3 g de $HgSO_4$. Se disolvió, se enfrió a temperatura ambiente y se diluyó a 1 l en un matraz aforado.

- Reactivo de ácido sulfúrico.

Se añadió sulfato de plata regente (Ag_2SO_4) al ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) en una relación de 5,5 g Ag_2SO_4/kg H_2SO_4 .

- Estandar de Ftalato ácido de potasio.

Se pulverizó suavemente y se seco a peso constante a $120^\circ C$. Se disolvió 0,8503g de PKH seco en 1 l de agua destilada.

Calibración del espectrofotómetro

1. Se pesaron 0,8503 g de PHK seco, se colocó en un matraz aforado de un (1) litro de capacidad y se agregó agua destilada hasta completar 1 litro (DQO = 1000 ppm).

2. Se realizaron las siguientes diluciones:

DQO250 = se agregó en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 25 ml de la solución patrón y se completó con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 250 ppm).

DQO500 = se agregó en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 50 ml de la solución patrón y se completó con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 500 ppm).

DQO750 = se agregó en un matraz aforado de capacidad 100 ml, 75 ml de la solución patrón y se completó con agua destilada hasta la línea de aforo (DQO = 750 ppm).

DQO1000 = se tomaron directamente 100 ml de la solución patrón (DQO = 1000 ppm).

3. Se hizo la lectura de cada dilución en el espectrofotómetro, creando así la curva de calibración del equipo

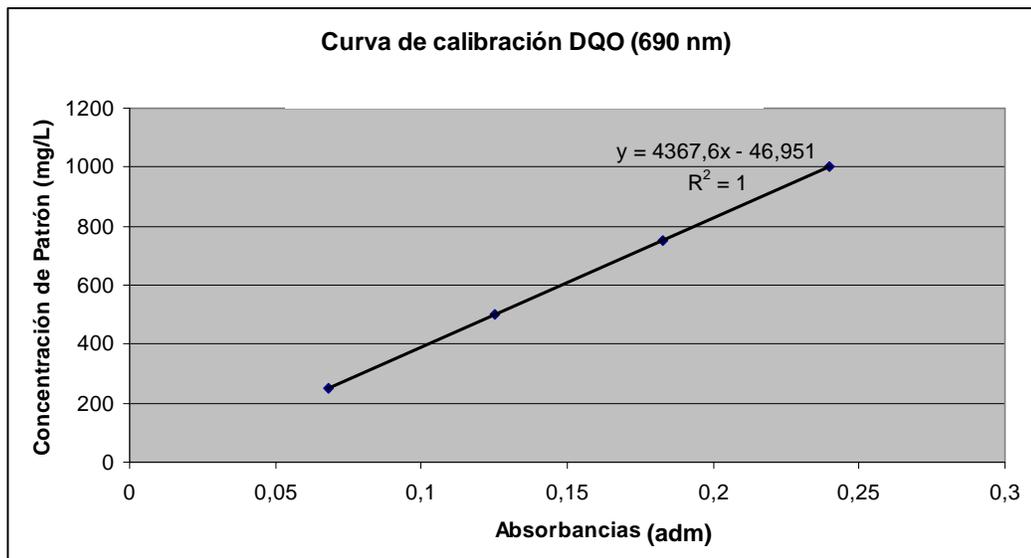


Figura 4.4 Curva de calibración del espectrofotómetro para DQO. (690nm)

Procedimiento

1. Se precalentó el reactor hasta que el mismo alcanzó una temperatura constante de 150 °C.
2. Se agregó 1 g de Sulfato de mercurio II a 50 ml de la muestra a analizar.
3. Se tomó 2,5 ml de la muestra a analizar o una porción diluida de la misma y 2,5 ml de agua destilada para preparar el blanco. Ambos volúmenes tomados se agregaron a tubos de ensayos diferentes de 16x100mm.
4. Se agregó a cada uno de los tubos 1,5 ml de solución digestora de dicromato de potasio para DQO y 3,5 ml de solución de ácido sulfúrico regente.
5. Se selló de forma minuciosa cada tubo y se agitó varias veces su contenido para lograr una mezcla homogénea.
6. Se colocaron los tubos de ensayo con la muestra y el blanco por tiempo de 2 horas para que se realizara la digestión.
7. Se esperó 15 minutos aproximadamente para que se enfriaran los tubos a temperatura ambiente.

8. Se llenaron tres cápsulas de reacción con las muestras digeridas y una más con el blanco digerido y se insertaron en el paso de la luz del espectrofotómetro con una longitud de onda igual a 600 nm.
9. Inicialmente se leyó la absorbancia y se comparó con la curva de concentración de la calibración del equipo. Posteriormente se leyeron directamente los valores de concentración de DQO en mg/l registrados por el espectrofotómetro. (ver anexo F, figura F.1.)

4.5.1.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno consta en la determinación de la cantidad de oxígeno necesario para el proceso respiratorio de los microorganismos que emplean la materia orgánica presente en el agua captada de los respectivos drenajes para el desarrollo de nuevas bacterias y para el posterior metabolismo de los componentes celulares sintetizados a partir del agua residual. En este ensayo se estimó la demanda de oxígeno necesitado para la estabilización de la materia orgánica oxidable existentes después de 5 días de incubación a 20°C. Adicionalmente, para el control de las muestras, es necesario realizar el análisis de un patrón de glucosa y ácido glutámico, debido a que éste presenta un valor constante de DBO₅ y también una muestra del agua de dilución denominada blanco, para corroborar que el agua de dilución no esté consumiendo oxígeno.

Método: Método de la Azida. (SM-5210)^[17]

Equipos y Herramientas

- Horno para secado. Marca: Boekel. Modelo: 107905. Temperatura Máx. 200 °C.

- Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Nevera. Marca: Magic Chef. Modelo: RB191P.
- Bomba de pecera. Marca: SHIRUBA. Modelo: K-2000.
- pH metro. Marca: OAKLON. Modelo: pH 3000 series. Serial: 227615.
- Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.
- Agitador magnético. Marca: TecnoLab. 110 Volts. 40 Watts.
- Desecador
- Destilador. Marca: Pobel 906. Capacidad: 7 l/día.
- Incubadora. Marca: Lab-Line. Modelo: 3550. Serial: 195-006. Capacidad: 0 – 50 °C. Apreciación: 0.2 °C.
- Incubadora. Marca: Memmert. Modelo: 700. Serial: D06063. Capacidad: 0 – 50 °C. Apreciación: 0.2 °C.
- Pipetas graduadas. Capacidad: 1, 10, 15, 25, 50 y 100 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml. Marca: Pyrex.
- Bureta. Capacidad: 50 ml. Precisión: 0.01 ml. Marca: Pyrex.
- Beakers. Capacidad: 25, 50 y 100 ml. Marca: Pyrex.
- Matraz Aforado. Capacidad: 1000 ml. Marca: pyrex.
- Botellas Winkler de incubación. Capacidad: 300 ml. Marca: Pyrex.
- Goteros. Marca: Pyrex
- Propipetas de goma. Marca: didacta

Reactivos y soluciones

- Potasio dihidrógenofosfato (KH_2PO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Dipotassium Hydrogen Phosphate (K_2HPO_4)
- Fosfato ácido de sodio heptahidratado. ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 7\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.

- Cloruro de Amonio (NH_4Cl).
- Magnesio Sulfato heptaidrato ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de Calcio (CaCl_2)
- Cloruro Ferroso Hexa-hidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.
- Acido Glútamico. Marca: sigma.
- Glucosa. Marca: Riedel – de Haën.
- Almidón. Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso Monohidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso di-hidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Manganeso tetra-hidratado ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.
- Hidróxido de Sodio (NaOH). Marca: Riedel – de Haën.
- Tiosulfato de Sodio Pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Marca: Riedel – de Haën.
- Hidróxido de Sodio 6N (NaOH)
- Azida de Sodio (NaN_3). Marca: Riedel – de Haën.
- Yoduro de Sodio (NaI). Marca: Riedel – de Haën.
- Ioduro de Potasio (KI). Marca: Riedel – de Haën.
- Acido Sulfúrico 6N (H_2SO_4). Marca: Riedel – de Haën.
- Sulfato de Potasio (K_2SO_4)
- Solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).

Preparación de los Nutrientes

- Solución buffer de fosfato.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 8,5 g de KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4 de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 - 7\text{H}_2\text{O}$ y 1,7 g de NH_4Cl , y luego se disolvieron en un beaker de un litro de capacidad en aproximadamente 500 ml de agua destilada y posteriormente se diluyó hasta un litro en un matraz aforado.

- Solución de sulfato de magnesio.

Se pesó en la balanza analítica 22,5 g de $\text{MgSO}_4 - 7\text{H}_2\text{O}$ y luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1 l de capacidad.

- Solución de cloruro de calcio.

Se pesó en la balanza analítica 27,5 g de CaCl_2 luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1 l de capacidad.

- Solución de cloruro ferroso.

Se pesó en la balanza analítica 0,25 g de $\text{FeCl}_3 - 6\text{H}_2\text{O}$, luego se disolvió con agua destilada en un beaker y se llevó hasta la rasante en un matraz aforado de 1 l de capacidad.

Preparación del patrón

Se pesaron por separados en la balanza analítica 0,15 g de glucosa y 0,15 g de ácido glutámico y se diluyeron en un matraz aforado hasta 1 l. Esta solución es estable por un mes, por lo que se recomienda prepararse todos los meses.

Preparación de las soluciones para la titulación.

- Solución de sulfato de manganeso.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 480 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 400 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 364 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y luego se disolvieron en un beaker de un litro de capacidad en aproximadamente 500 ml de agua destilada y posteriormente se diluyó hasta un litro en un matraz aforado.

- Reactivo álcali-ioduro-azida.

Se pesó en la balanza analítica 10 g de NaN_3 y se disolvió en 500 ml de agua destilada en un matraz aforado de un litro de capacidad, luego se pesaron 480 g de NaOH y 135 g de NaI , y se le agregaron lentamente al matraz agitando hasta disolverse y por último se diluyó hasta la línea de aforo.

- Almidón.

Se pesaron por separados en la balanza analítica 2 g de almidón y 0,2 g de ácido salicílico y se diluyeron en 100 ml de agua destilada caliente en un matraz aforado.

- Tiosulfato de sodio

Se pesaron por separados en la balanza analítica 6,205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 1,5 ml de NaOH 6N y posteriormente se diluyeron en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad con agua destilada.

Procedimiento de la DBO₅

1. Se preparó en una botella de vidrio de capacidad 20 l el agua de dilución, llenando hasta la mitad (10 l) con agua destilada y con una bomba de pecera se aireó dicho volumen de agua durante dos horas aproximadamente y luego colocando la botella en la nevera se enfrió hasta que esta alcanzara los 20 °C. Posteriormente, se le agregó por cada litro de agua aireada 1 ml de los siguientes nutrientes: solución buffer de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio y solución de cloruro ferroso. En este caso fueron 10 ml de cada uno para los 10 l. Luego de tener el agua de dilución preparada se le midió el pH para constatar de que esta se encontraba entre 6,5 y 7.

2. Se procedió a montar el ensayo, aclimatando primero las muestras a una temperatura de 20 °C, previamente conservadas a 4 °C. En base al valor obtenido por el ensayo de DQO, encontramos los valores sugeridos en la tabla (ver tabla 4.6) de las diluciones de muestra en mililitros que se le colocaran a cada botella. En un beaker se vertieron las muestras colocando este sobre un agitador magnético, y se extrajeron los mililitros que se obtuvieron anteriormente para agregarlos a cada botella previamente identificada. Posteriormente se agregó a cada botella el agua de dilución teniendo el cuidado de no producir burbujeo o turbulencia hasta enrasar la misma, luego se tapó cada una de ella y se le colocó un sello con la misma agua de dilución.

3. Este ensayo se hizo por triplicado, lo que significa que se utilizaron tres (3) diluciones por cada muestra y tres (3) botellas por cada dilución, es decir, a una (1) botella se le midió el oxígeno disuelto inicial (OD_i), y dos (2) fueron incubadas a 20 °C por 5 días, para medir el oxígeno disuelto final (OD_f) (5 días, 20 °C). A estas botellas a incubar se le colocó papel parafinado antes de meterlas en la incubadora.

4. Aparte del triplicado de las muestras se preparó un patrón tomando dos botellas winkler, llenando hasta la mitad con agua de dilución y agregándole 6 ml de la solución de glucosa y ácido glutámico (patrón) a cada una, mas 0,5 ml de Inoculo tomado de la superficie de las misma muestras por ser un agua residual. Se enrasaron hasta los 300 ml con agua de dilución, a una botella se le midió el oxigeno disuelto inicial (OD_i), y la otra fue sellada con papel parafinado para ser incubada a 20 °C por 5 días, para medir el oxigeno disuelto final (OD_f).

5. Se prepararon dos blancos, uno con inoculo y otro sin inoculo. Al blanco sin inoculo, solamente se le agregaron los 300 ml de agua de dilución, tapándose y sellándose y de igual manera a una se le midió el oxigeno disuelto inicial (OD_i), y la otra fue sellada con papel parafinado para ser incubada a 20 °C por 5 días, para medir el oxigeno disuelto final (OD_f). y el blanco con inoculo a diferencia del otro se le agregaron 0.5 ml de inoculo. (ver anexo F, figura F.2)

Procedimiento (Método de la azida)

Se siguieron los siguientes pasos:

1. Se midió la temperatura a cada botella antes de ser titulada logrando que se encontrara en 20 °C aproximadamente.
2. Se le agregó a cada botella winkler 1 ml de sulfato de manganeso y 1 ml de reactivo álcali-ioduro-azida.
3. Se mezcló por inversión.
4. Cuando el floculo ya ha sedimentado se agregó 1 ml de acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
5. Se mezcló por inversión.
6. Se le extrajeron 99ml de liquido con una pipeta teniendo cuidado de no hacer turbulencia o burbujeo.

7. Se le agregó una gota de almidón con un gotero.
8. Y por último se procedió a titular los 201 ml restante en la botella winkler con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).
9. Se repitió este método para todas las botellas una por una.

La expresión utilizada para el cálculo de la concentración de la DBO_5 (mg/L) fue:

$$\text{DBO}_5 = \frac{\text{ODi} - \text{ODf}}{\text{VM}} * 300 \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

DBO_5 = Concentración de DBO a los 5 días. (mg/l)

ODi = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de ser preparada (mg/l)

ODf = Oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de 5 días de incubación a 20 °C. (mg/l)

VM = Volumen de muestra empleada.

Muestra de cálculos

- Cálculo del número de botellas a utilizarse para el ensayo (N)

$N = (3 \text{ diluciones} * 3 \text{ botellas/dilución}) * 2 \text{ muestras} + (1 \text{ botella/patrón}) * 2 \text{ patrones} + (1 \text{ botella/blanco}) * 2 \text{ blanco} + (1 \text{ botella/blanco con inóculo}) * 2 \text{ blanco con inóculo}$

$N = 24 \text{ botellas.}$

- Cálculo del volumen de agua de dilución (V)

$$V = 24 \text{ botellas} \times 300 \text{ ml} = 7200 \text{ ml} = 7,2 \text{ l.}$$

Nota: se utilizaron 10 l por seguridad, si ocurría algún error.

- Muestra de Cálculo de la DBO_5 , usando la ecuación 4.1 aplicado al muestreo del 09 – 06 – 09

Drenaje T

Dilución 0,5 ml

$$DBO_5 = \frac{7,2 - 6,3}{0,5} * 300 = 540 \text{ mg/l}$$

Dilución 1 ml

$$DBO_5 = \frac{7,2 - 5,5}{1} * 300 = 510 \text{ mg/l}$$

Dilución 2 ml

$$DBO_5 = \frac{7,2 - 3,4}{2} * 300 = 570 \text{ mg/l}$$

- **Valor medio del drenaje T**

$$DBO_5 = (540 + 510 + 570) / 3$$

$$DBO_5 = 540 \text{ mg/l}$$

Drenaje H

Dilución 20 ml

Se descartó esta dilución ya que la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto final resultaron muy bajas.

Dilución 50 ml

$$DBO_5 = \frac{6,8 - 5,6}{50} * 300 = 72 \text{ mg/l}$$

Dilución 100 ml

$$DBO_5 = \frac{6,8 - 4,8}{100} * 300 = 60 \text{ mg/l}$$

- Valor medio del drenaje H

$$DBO_5 = (72+60)/2$$

$$DBO_5 = 66 \text{ mg/l}$$

Chequeo del blancoDilución 5 ml

$$DBO_5 = \frac{8 - 4,4}{5} * 300 = 216 \text{mg/l}$$

Dilución 6 ml

$$DBO_5 = \frac{8 - 3,9}{6} * 300 = 205 \text{mg/l}$$

Dilución 7 ml

$$DBO_5 = \frac{8 - 3}{7} * 300 = 214 \text{mg/l}$$

- Valor medio del patrón

$$DBO_5 = (216 + 205 + 214) / 3$$

$$DBO_5 = 212 \text{ mg/l}$$

Tabla 4.6 Diluciones de la DBO a partir de la DQO.

DQO (mg/l)	Rango probable DBO (mg/l)	Diluciones teóricas (ml)	Diluciones sugeridas (ml)
0-10	3-8	300-300-200	300-200
11-15	5-13	200-100-75	200-100-75
16-20	6-16	200-100-75	200-100-75
21-25	8-20	100-75-50	100-75-50
26-30	8-24	100-75-50	100-75-50
31-35	11-28	100-75-35	100-75-35
36-40	12-32	100-48-33	75-50-30
41-50	15-40	48-33-22	50-30-25
51-80	24-64	48-33-15	45-30-15
81-90	27-72	33-22-15	30-20-15
91-140	42-112	22-15-11	20-15-10
141-180	54-144	22-11-7	20-10-7
181-200	60-160	15-11-7	15-10-7
201-250	75-200	15-11-7	15-10-7
251-260	78-208	17-7-5	15-10-5
261-280	84-224	11-7-5	10-7.5-5
281-300	90-240	11-7-5	10-7.5-5
301-400	120-320	10-7-3	10-7.5-5
401-500	150-400	7-5-3	7-5-2.5
501-600	180-480	7-5-2	7-5-2.5
601-700	210-560	5-3-2	5-3-2
701-800	240-640	5-3-2	5-3-2
801-1000	300-800	3-2-1.5	3-2-1
1001-1500	450-1200	2-1.5-1	2-1.5-1

Fuente: ^[18]

4.5.1.3 Fósforo Total (PT)

Para determinar la concentración de fósforo total primeramente se aplicó un proceso de digestión y oxidación el cual libera el fósforo combinado con la materia orgánica a través de la digestión con persulfato. Posteriormente se aplicó el Método Colorimétrico con Ácido Vanadomolibdofosfórico en el cual forma el Ácido Vanadomolibdofosfórico amarillo, y la intensidad de éste color será proporcional a la concentración de fósforo presente en el agua residual.

Método: Colorimétrico con Ácido Vanadomolibdofosfórico.(SM 4500-P B.5 y 4500-P C)^[17]

Equipos y Herramientas

- Envases de Erlenmeyer. Marca: Pyrex. Capacidad: 125ml. Apreciación: 25 ml.
- Pipetas graduadas. Marca: Pyrex. Capacidad: 2 ml, 5 ml, 10 ml, 25 ml y 50 ml.
Apreciación: $\pm 0,01$ ml.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Plancha calentadora. Marca: VWR. Capacidad: 0 – 400 °C.. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Destilador. Marca: Pobel 906.
- Campana de extracción. Marca: Lavascoin
- Piceta. Marca: Pyrex.
- Gotero. Marca: Pyrex.
- Balanza analítica. Marca: Denver Instrument Company AA – 160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Espectrofotómetro. Marca: Perkin Elmer / Lambda 10.
- Matraz Aforado. Capacidad: 50 ml, 100 ml, 250 ml.

- pHmetro. Marca: OAKLON. Modelo: pH 3000 series. Serial: 227615.
- Cápsulas de reacción. Capacidad: 10ml.

Reactivos

- Fenolftaleína.
- Ácido Clorhídrico (HCl). Marca: Riedel de Haën
- Solución de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄). Marca: Riedel de Haën.
- Molibdato de Amonio. (NH₄)₆M₇O₂₄·4H₂O
- Metavanadato de Amonio NH₄VO₃
- Hidróxido de Sodio. (NaOH). Marca: Riedel de Haën
- Fosfato Diácido de Potasio (KH₂PO₄). Marca: Riedel de Haën
- Persulfato de Potasio (K₂S₂O₈). Marca: Riedel de Haën

Soluciones

Digestión con Persulfato

- Indicador de fenolftaleína: Se disolvió 0,5g de fenolftaleína en una mezcla de 50 ml de alcohol etílico o isopropílico y 50 ml de agua destilada.
- Solución de Ácido Sulfúrico

Se agregó cuidadosamente 300 ml de H₂SO₄ concentrado en un matraz aforado de 1000 ml de capacidad, luego 600 ml de agua destilada y se diluyó a 1 l con agua destilada.

- Hidróxido de Sodio 1N

Se disolvió 20 g de NaOH en 400 ml de agua destilada. Se enfrió la solución a temperatura ambiente y se diluyó a 500 ml con agua destilada.

Método Vanadomolibdofosfórico

- Indicador de fenolftaleína

Se disolvió 0,5g de fenolftaleína en una mezcla de 50 ml de alcohol etílico o isopropílico y 50 ml de agua destilada.

- Ácido Clorhídrico (HCl), 1+1

Se agregó un volumen de HCl a un volumen de agua, los dos en la misma cantidad.

- Reactivo Vanadato-Molibdato

Se agregó la solución A en la B, preparadas como se describe a continuación, y se diluyeron a 1 l.

.- Solución A: Se disolvió 25 g. de molibdato de amonio $(\text{NH}_4)_6\text{M}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 300 ml de agua destilada.

.- Solución B: Se disolvió 1,25 g. de Metavanadato de amonio NH_4VO_3 , en 300 ml de agua destilada calentando hasta ebullición. Se enfriaron y agregaron 330 ml de HCl concentrado. Se enfrió a temperatura ambiente.

- Solución estándar de fosfato

Se disolvió en agua destilada 219,5 mg del anhídrido KH_2PO_4 y posteriormente se diluyó a 1000 ml; 1.00 ml = 50.0 μg PO_4^{3-} - P.

Calibración del Espectrofotómetro

1. A una serie de matraces aforados de 50 ml se agregaron alícuotas de la solución estándar de fosfato para preparar patrones con concentraciones en el rango de 0 mg/l a 20mg/l.

1.1. Se realizaron las siguientes diluciones:

Patrón 1= se agregaron 2 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50ml, y se completó con agua destilada.

Patrón 2 = se agregaron 5 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de capacidad 50 ml, y se completó con agua destilada.

Patrón 3 = se agregaron 10 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completó con agua destilada.

Patrón 4 = se agregaron 15 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completó con agua destilada.

Patrón 5 = se agregaron 20 ml de la solución estándar de fosfato en un matraz aforado de 50 ml, y se completó con agua destilada.

2. Se transfirieron 35 ml de cada patrón a un balón aforado de 50 ml respectivamente; se agregaron 10 ml de reactivo Vanadato-Molibdato y se diluyó hasta la marca con agua destilada obteniéndose así la concentración asignada a cada patrón:

Patrón 1 = 2 mg/ l; Patrón 2 = 5 mg/ l; Patrón 3 = 10 mg/ l; Patrón 4 = 15 mg/ l;

Patrón 5 = 20 mg/ l

3. Después de 10 minutos o más, se determinó la absorbancia de la muestra a una longitud de onda de 420 nm utilizando el patrón de 0 mg/l, para calibrar el espectrofotómetro.

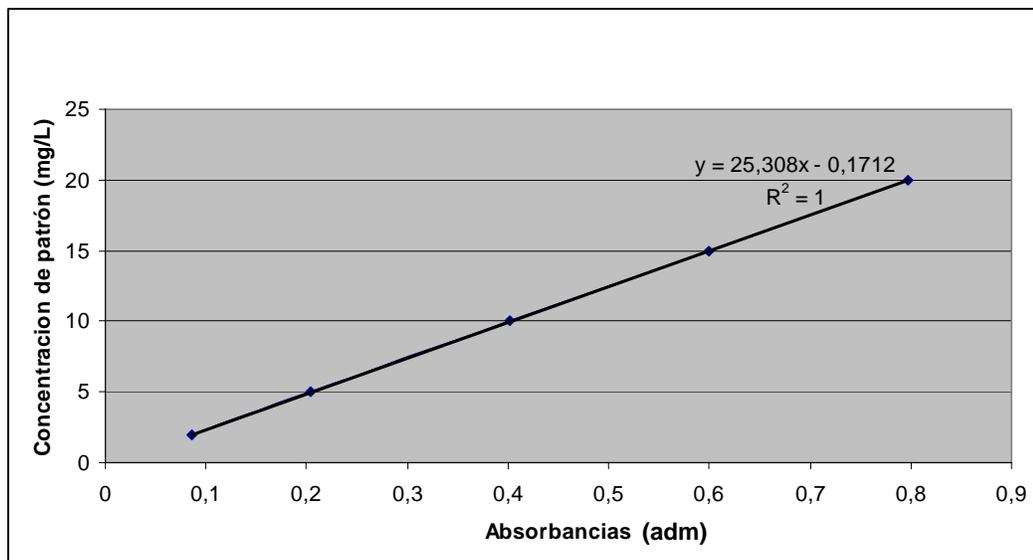


Figura 4.6 Curva de calibración del espectrofotómetro para fósforo total. (420 nm)

Procedimiento

Digestión con Persulfato (SM 4500-P B.5)^[17]

1. Se transfirieron 50 ml de muestra previamente acidificada a los matraces aforados, se agregaron 0,05 ml (1 gota) de fenolftaleína; si se desarrolló una coloración rosada, se agregó gota a gota solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) hasta eliminar el color, se agregó 1 ml adicional de ésta solución y 0,4 g de $(NH_4)_2S_2O_8$ o 0,5 g de $K_2S_2O_8$ sólido.
2. Se llevó a punto de ebullición suavemente la mezcla sobre una plancha de calentamiento durante 30 a 40 minutos, o hasta obtener un volumen de 10 ml. Se enfrió y se diluyó a 30 ml con agua destilada, se agregó 0,05 ml (1 gota) de indicador de fenolftaleína y se neutralizó con NaOH 1 N, hasta que apareció un ligero color rosado.
3. Se llevó el volumen a 100 ml con agua destilada. Ésta fue la muestra a utilizar para la determinación de fósforo por el método colorimétrico con ácido vanadomolibdofosfórico.

Método Colorimétrico con Ácido Vanadomolibdofosfórico. (SM 4500-P C)^[17]

1. Se transfirió 35 ml de muestra a un balón aforado de 50 ml; se agregó 10 ml de reactivo Vanadato-Molibdato y se diluyó hasta la marca con agua.
2. Después de 10 minutos o más, se determinó la concentración de Fósforo Total de la muestra a una longitud de onda de 420 nm utilizando el blanco de 0 mg-P/l tratado, para calibrar en el espectrofotómetro. (ver anexo F, figura F.3)

4.5.1.4 Nitrógeno Total (Amoniacal y orgánico)

El nitrógeno total está constituido por las dos formas menos oxidadas, las cuales son el nitrógeno orgánico y amoniacal. Ésta forma de nitrógeno se determinó de acuerdo al Método Makro-Kjeldahl y el método del electrodo selectivo de amoniaco.

En el método Macro-Kjeldahl (4500-N_{org.} B)^[17], el nitrógeno orgánico y amoniacal es transformado en sulfato de amonio (NH₄)SO₄; mediante un proceso digestión. La muestra se calienta en presencia de ácido sulfúrico H₂SO₄, sulfato de potasio K₂SO₄ y sulfato de mercurio HgSO₄ como catalizador, hasta que ocurra desprendimiento de humos SO₃ y la solución se torne incolora o amarillo pálido. Esta solución se destila recolectando el destilado en ácido sulfúrico.

El electrodo selectivo de amoniaco consta de una membrana la cual es permeable al gas. Al llevar el pH de la muestra a 11 agregando una base fuerte el amoniaco disuelto se difunde por la membrana cambiando el pH de la solución interna. Este cambio es detectado por un electrodo de pH. Los cambios en el potencial son reportados en milivoltios, siendo necesaria la preparación de una curva de calibración para el equipo.

Equipos y Herramientas

- Balones de digestión de 100 ml a 800 ml. Marca: Pyrex.
- Plancha de calentamiento. Marca: PCM. Modelo: 502C.
- Campana de extracción. Marca: La vasconia. Modelo: 43545
- Equipo de destilación. Marca: Pobel. Modelo: 906. Serial: 150001.

Reactivos y Soluciones

- Solución de sulfato de mercurio

Se disolvieron 8 g de óxido rojo de mercurio, HgO, en 100 ml de ácido sulfúrico 6N. Esta sustancia es tóxica y debe manejarse bajo campana y evitarse el contacto con la piel.

- Reactivo de digestión

Se disolvieron 134 g de K_2SO_4 en 650 ml de agua y 200 ml de H_2SO_4 concentrado. Se agregaron manteniendo agitación, 25 ml de solución de sulfato de mercurio y se diluyó a 1 l con agua. Se almacenó a una temperatura de 20°C para evitar la cristalización.

- Reactivo de hidróxido – tiosulfato de sodio

Se disolvieron 500 g de NaOH y 25 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en agua y se diluyó a 1 l.

- Hidróxido de Sodio:

NaOH 6N. Se disolvieron 240 g de NaOH en agua y se diluyó a 1 l.

Procedimiento

- Selección del volumen de muestra y preparación de la muestra: se colocó un volumen medido de muestra en un matraz Kjeldahl de 800 ml. Se seleccionó un volumen de muestra a utilizar de 50 ml de la tabla siguiente:

Tabla 4.7 Volumen de muestra para la determinación de Nitrógeno Total

NITRÓGENO ORGÁNICO EN LA MUESTRA	VOLUMEN DE MUESTRA (ml)
0 - 1	500
1 - 10	250
10 - 20	100
20 - 50	50
50 - 100	25

Fuente: ^[18]

- La muestra se diluyó a 300 ml y se neutralizó.
- Digestión: se agregaron 50 ml de reactivo de digestión y unas perlas de vidrio al balón de destilación. Se conectó el equipo de digestión. Se deja digerir la solución hasta que se redujo el volumen hasta 25 ml y ocurrió el desprendimiento de humo blanco de SO₃. Se continuó la digestión por 30 min más, se dejó enfriar, y se le agregó 300 ml de agua y se mezcló bien. La solución digerida se alcalinizó agregando cuidadosamente 50 ml de reactivo de hidróxido-tiosulfato de sodio.
- Destilación: Se conectó el balón al equipo de destilación, y se agitó para mezclar el digestado. Antes de empezar la destilación se colocó al extremo del

condensador un erlenmeyer con 50 ml de H_2SO_4 0,04 N. Se inició el proceso de destilación, recogiendo 200 ml de destilado, los cuales se diluyeron a 500 ml con agua.

Equipos y Herramientas

- Electrodo selectivo de amoníaco.
- Equipo para la agitación magnética.

Reactivos y Soluciones

- Hidróxido de sodio NaOH 10N.

Se disolvieron 400 g de NaOH en 800 ml de agua. Se dejó enfriar y se diluyó a 1000 ml con agua.

- Solución madre de amoníaco

Se disolvieron 3,918 g de cloruro de amonio anhidro, secados a 100 °C, en agua y se diluyeron en agua hasta 1 l.

- Solución patrón de amonio

Se diluyeron 10 ml de solución concentrada de amonio a 1000 ml con agua.

Procedimiento

Fue necesaria la preparación de la curva de calibración del electrodo. Para ello se prepararon patrones de amoníaco con las siguientes concentraciones de la solución madre de amoníaco: 1000, 100, 10, 1, 0,1 mg NH₃-N /l.

En vasos precipitados de 150 ml se pasaron 100 ml de cada uno de los patrones.

Se colocó el electrodo en el patrón de menor concentración manteniendo la agitación. El electrodo se mantuvo sumergido mientras se procedía a añadir 1 ml de NaOH 10N para llevar el pH a 11. Se mantuvo la agitación hasta que la lectura de milivoltios se hizo estable.

El procedimiento presentado arriba se le aplicó a cada patrón, obteniendo para cada uno su respectiva lectura de mV. También fue usado para medir los mV en para las muestras de agua.

Los valores de mV para los patrones se graficaron en función de los logaritmos de las concentraciones de los mismos, obteniéndose la curva de calibración.

Con los valores de mV para las muestras usando la gráfica se obtuvieron las concentraciones de amoníaco para las aguas, las cuales son concentraciones de nitrógeno total.

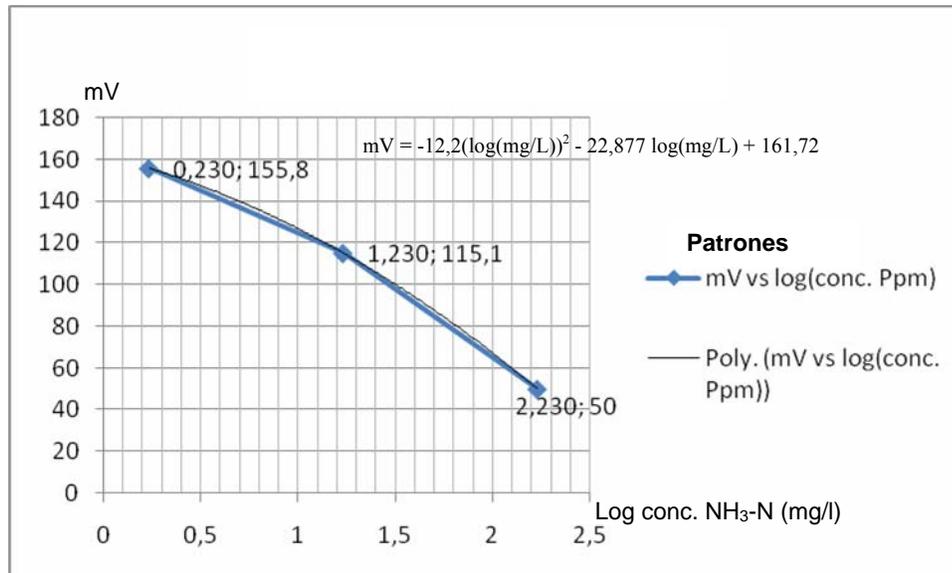


Figura 4.7 Curva de calibración del electrodo selectivo de amoníaco

- Muestra de cálculo de nitrógeno total , aplicado al Muestreo N° 4:

Drenaje T

mV leído = 137,5

$\log(\text{mg/l}) = 0,755$

mg/l = 5,686

Drenaje H

mV leído = 109,5

$\log(\text{mg/l}) = 1,334$

mg/l = 21,57

4.5.1.5 Nitratos

Método: Electrodo de Nitrato. (SM 4500-NO₃. B)^[17]

El electrodo de nitrato consiste en un sensor que desarrolla un potencial al detectar la presencia de iones NO_3 . El sensor reacciona con concentraciones de NO_3 comprendidas entre 0,14 y 1400 mg de $\text{NO}_3 - \text{N} / \text{l}$.

Equipos y Herramientas

- Electrodo de Ion nitrato.
- Agitador magnético.
- Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Destilador. Marca: Pobel. Modelo: 906. Serial: 150001.
- Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.
- Beakers de 250. Marca: Pyrex.
- Cilindros graduados de 50 ml. Marca: Pyrex.
- Picetas. Marca: Pyrex.
- Goteros. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.

Reactivos y Soluciones

- Agua destilada exenta de nitrato: se obtuvo por un proceso de destilación.
- Solución madre de nitrato: se disolvieron 1,232 g de NaNO_2 en agua y se diluyó a 1000 ml. Se agregó un 1 ml de CHCl_3 .
- Solución patrón de nitrato: se diluyeron 1, 10, y 50 ml de solución madre de nitrato a 100 ml con agua, obteniéndose las soluciones patrón 1, 10 y 50 mg $\text{NO}_3 - \text{N} / \text{l}$ respectivamente.
- Solución tampón: fue proporcionado por el fabricante del electrodo.
- Hidróxido de sodio: se preparó una solución de NaOH 0,1 N.

- Solución de llenado de referencia: fue proporcionada por el fabricante del electrodo.

Preparación del electrodo

Antes de utilizar el electrodo, fue necesario llenarlo con una solución de llenado de óptimos resultados proporcionada por el fabricante.

Curva de calibración

Para elaborar la curva de calibración del equipo se prepararon 3 diluciones de la solución madre con diferentes concentraciones, en este caso se usaron 1 mg/l, 10 mg/l y 50 mg/l).

De cada dilución se tomaron 50 ml en un beaker de 250 ml, agregándoles 1 ml de solución ISA. Se introdujo el electrodo de nitrato en el beaker, estando este sobre el agitador magnético. Se esperó alrededor de 1 minuto para tomar cada lectura de potencial en mV.

Se graficaron los valores de potencial (mV) vs concentración nitrato (mg de $\text{NO}_3 - \text{N}$ /l), en papel semi-logarítmico, colocando las concentraciones en el eje logarítmico.

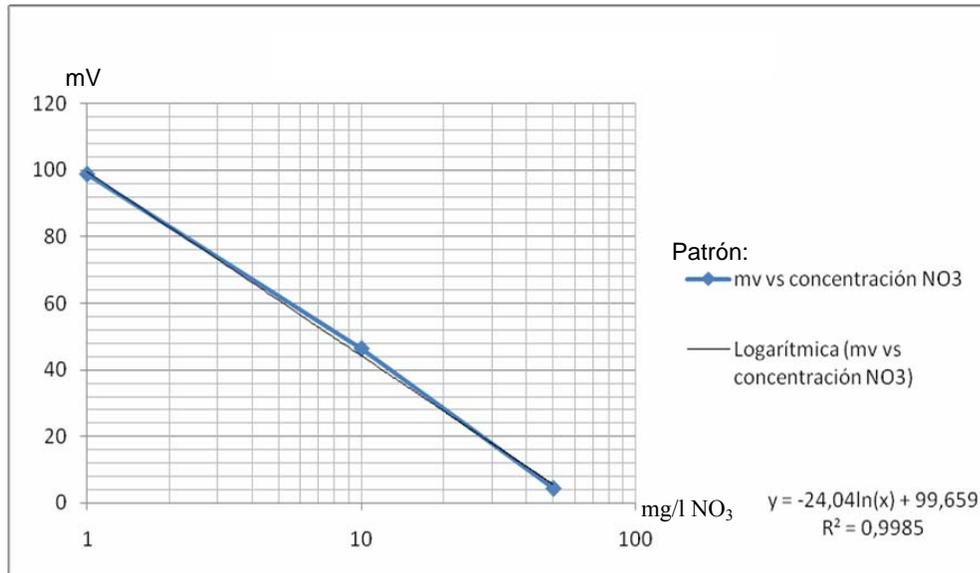


Figura 4.9. Curva de calibración del electrodo de nitrato

- Muestra de Cálculo de Nitrato , aplicado al Muestreo N° 3:

Drenaje T:

mV leído = 26,2

$\ln(\text{mg/L}) = 3,056$

mg/L = 21,237

Drenaje H:

mV leído = 21,9

$\ln(\text{mg/l}) = 3,235$

mg/L = 25,396

Medición de las muestras

Para medir la concentración de nitrato en las muestras se le aplicó el mismo el procedimiento usado para medir el potencial con los patrones. Con el valor de mV de cada muestra se entró en la gráfica y se hizo la lectura de la concentración de nitrito.

Muestra de cálculo

$$F = \frac{2}{A_S - A_B}$$

$$NO_2 - N\mu g - at / l = (A_m - A_b) * F$$

$$NO_2 - Nmg / l = (NO_2 - N\mu g - at / l) * 0,014$$

Donde:

A_S = absorbancia media de las soluciones patrón. (adimensional)

A_B = absorbancia del blanco. (adimensional)

A_m = absorbancia de la muestra. (adimensional)

- Muestra de cálculo de Nitrato , aplicado al Muestreo 25-08-09:

Drenaje T:

$$A_S = 0,128$$

$$A_B = 0,024$$

$$A_m = 0,133$$

$$F = \frac{2}{0,128 - 0,024} = 19,23$$

$$NO_2 - N\mu g - at/l = (0,133 - 0,024) * 19,23 = 2,096$$

$$NO_2 - Nmg/l = (2,096) * 0,014 = 0,029$$

Drenaje H:

$$A_s = 0,128$$

$$A_B = 0,024$$

$$A_m = 0,167$$

$$F = \frac{2}{0,128 - 0,024} = 19,23$$

$$NO_2 - N\mu g - at/l = (0,167 - 0,024) * 19,23 = 2,75$$

$$NO_2 - Nmg/l = (2,75) * 0,014 = 0,039$$

4.5.1.6 Nitritos

El nitrito forma parte del nitrógeno oxidado y se presenta generalmente en concentraciones bajas (trazas) en las aguas superficiales. El método utilizado para determinar su concentración se basa en el hecho de que el ión nitrito al estar en un medio ácido reacciona con el ácido sulfanílico formando una sal de diazonio, la cual al combinarse con el clorhidrato N-1 naftil etiléndiamina forma un compuesto de color rojizo el cual se valora por un método espectrofotométrico. (Método 13)^[19]

Equipos y Herramientas

- Espectrofotómetro para usarlo a 540 nm.
- Filtros de fibra de vidrio.
- Bomba de Vacío.
- Plancha de calentamiento. Marca: PCM. Modelo: 502C.
- Matraces erlenmeyer de 125 ml.
- Matraces volumétricos de 50 ml.
- Pipetas graduadas de 5, 10, y 25 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml. Marca: Pyrex.
- Cilindros graduados de 50 ml. Marca: Pyrex.
- Picetas. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.

Reactivos y soluciones

- Solución de sulfanilamida: se mezcló lenta y cuidadosamente 50 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) en 300 ml de agua destilada. Se Añadió 5 g de sulfanilamida ($\text{N}_2\text{H}_8\text{SO}_2\text{C}_6$) y se mezcló. se Diluyó a 500 ml con agua destilada. Esta solución es estable por muchos meses.

- Solución de clorhidrato N-1 naftil etiléndiamina: se agregó 0,5 g de clorhidrato N-1 naftil etiléndiamina ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2$) a 500 ml de agua destilada, y se mezcló hasta disolver. Se Almacenó en una botella oscura. Es necesario reemplazar mensualmente o cuando la solución desarrolle un color oscuro muy fuerte.

- Solución patrón de nitritos: se secó el nitrito de sodio (NaNO_2) colocando cierta cantidad en un desecador por 24 horas. Se Pesó 0,345 g y se disolvió en agua

destilada, se diluyó hasta 1000 ml. Se Añadió 1 ml de cloroformo como preservativo y se almacenó en una botella oscura. Esta solución es estable por 1 o 2 meses.

- Solución estándar de nitritos: se diluyó 10 ml de la solución patrón de nitritos con agua destilada a 1000 ml. Usar inmediatamente.

Pre-tratamiento de la muestra

Se Pasó la muestra a través de un filtro de fibra de vidrio.

Se Permitió que la muestra alcanzase una temperatura entre 15 y 25 °C.

Procedimiento

1. Se prepararon tres soluciones sub-estándar en matraces volumétricos de 50 ml colocando 2 ml de solución estándar de nitrito y diluyendo hasta el aforo con agua destilada. Se transfirieron las tres soluciones sub-estandar a tres matraces secos y limpios de 125 ml. En otro erlenmeyer de 125 ml de colocaron 50 ml de agua destilada el cual se hizo como blanco en la prueba. En un erlenmeyer más 125 ml se colocaron 50 ml de muestra.

2. Para la determinación, teniendo los 5 erlenmeyer (1 de muestra, 3 de solución sub-estándar y 1 con el blanco), a cada uno se le agregó 1 ml de la solución sulfanilamida, se mezcló y se esperó entre 2 y 8 min. Pasado este tiempo se agregó 1 ml de la solución de etiléndiamina y se mezcló fuertemente cada erlenmeyer. Las soluciones sub-estándar desarrollan un color rosado pálido indicando la presencia de nitrito. Si las muestra también presentaban esta reacción se procedida con la medición de su absorbancia.

3. Para medir la absorbancia se esperaron 10 minutos pero no más de 2 horas usando el espectrofotómetro a una longitud de onda de 543 nm. (ver anexo F, figura F.5)

4.5.1.7 Coliformes Totales y Fecales (CT y CF)

Éste ensayo se llevó a cabo a través de la técnica del número mas probable (NMP), lo cual reflejó una estimación estadística de bacterias coliformes presentes en la muestra. La determinación de coliformes totales y fecales se llevó a cabo a través del Método de Siembra en Tubos Múltiples, que se conformara de tres etapas identificadas como presunción, confirmación y terminación de la prueba.

Método: Técnica de la fermentación de tubos múltiples para miembros de la familia de los coliformes. (SM- 9221)^[17]

Equipos y Herramientas

- Incubadora Seca. Marca: Memmert. Modelo: 700. Serial: D06063. Capacidad: 29,9-70 °C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Incubadora Seca 20 °C. Marca: Lab-Line. Modelo: 3550. Serial: 195-006. Capacidad: 0-50 °C. Apreciación: $\pm 0,5$ °C.
- Incubadora Baño de María. Marca: Shel Lab. Modelo: 1285 PC. Serial: 0501298. Capacidad: 0-60 °C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Autoclave. Marca: All American. Modelo: 25X. Capacidad: 0-30 psi. Apreciación: $\pm 0,1$ psi.
- Nevera. Marca: Magic Chef. Modelo: RB191P.
- Balanza analítica. Marca: Denver Instrument Company. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Viales de digestión (Tubos de ensayo de borosilicato de 25x125mm con tapa).

- Pipetas graduadas de 1 y 10 ml. Apreciación: $\pm 0,01$ ml. Marca: Pyrex.
- Propipetas de goma. Marca: Didacta.
- Cápsulas Plásticas para pesar sustancias.
- Asa de Platino.
- Mechero.
- Tubos Durham. Marca: Pyrex
- Guantes de Látex.

Reactivos

- Caldo Lauryl Sulfato Triptosa. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.
- Caldo Bilis Verde Brillante. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.
- Caldo Casein Enzymic. Marca: Himedia Lab PVT.Ltd.
- Peptona

Esterilización

1. Los tubos de ensayo, tapas y tubos Durham utilizados, fueron lavados con agua y jabón.
2. Luego se introdujeron en el autoclave hasta alcanzar 15 lb de presión durante un intervalo de tiempo de 15 min aproximadamente.
3. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se almacenaron hasta su utilización.

Preparación de los Medios de Cultivo

- Caldo Lauryl Sulfato Triptosa (LST):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 l de agua destilada se utilizan 35,60 g de LST.

1. Se añadieron los 35,6 g de LST a 1 l de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

2. Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

3. Se agregaron 10 ml del caldo LST en cada uno de los tubos de fermentación de acuerdo a la Tabla 4.8 para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

4. Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 lb de presión durante 15 min.

5. Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

- Caldo Bilis Verde Brillante (BVB):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 litro de agua destilada se utilizan 40 g de BVB.

1. Se añadieron los 40 g de BVB a 1 l de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

2. Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

3. Se agregaron 10 ml del caldo BVB en cada uno de los tubos de fermentación de acuerdo a la Tabla 4.8 para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

4. Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 lb de

presión durante 15 min.

5. Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

- Caldo Casein Enzymic (EC):

Se preparó el caldo siguiendo las indicaciones del fabricante Himedia Lab PVT.Ltd: para 1 l de agua destilada se utilizan 37 g de EC.

1. Se añadieron los 37 g de EC a 1 l de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.

2. Se prepararon 5 series de 5 tubos de ensayo con un tubo Durham invertido en cada uno de ellos, por cada muestra a analizar.

3. Se agregaron 10 ml del caldo EC en cada uno de los tubos de fermentación de acuerdo a la Tabla 4.8 para no alterar la concentración de los ingredientes del medio por debajo de los estándares.

4. Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 lb de presión durante 15 min.

5. Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Tabla. 4.8. Preparación del medio líquido de lactosa

Inóculo <i>ml</i>	Cantidad de medio en el tubo <i>ml</i>	Volumen del medio + inóculo <i>ml</i>	Medio líquido de lactosa deshidratado necesario <i>g/l</i>
1	10 o más	11 o más	13,0
10	10	20	26,0
10	20	30	19,5
100	50	150	39,0
100	35	135	50,1
100	20	120	78,0

Fuente: ^[17]

- Agua de Dilución. (Solución de Agua Peptonada)

Se preparó agua Peptonada al 0,1% siguiendo las indicaciones del Estándar Métodos.

1. Se añadió 0,1 g de peptona a 1 l de agua destilada previamente calentada, y se mezcló completamente con una varilla de vidrio hasta disolver.
2. Se agregaron 9 ml del agua peptonada en cada uno de los tubos de fermentación para hacer las diluciones.
3. Se colocó la tapa a cada tubo, y se esterilizaron en el autoclave a 15 lb de presión durante 15 min.
4. Luego se dejaron enfriar los tubos y se colocaron en la incubadora seca a 20 °C hasta su utilización.

Procedimiento Prueba Presuntiva

1. Se agregó 1 ml de muestra del agua del drenaje en el tubo de ensayo N°1, el cual contenía agua peptonada. Se le colocó la tapa al tubo y se agitó suavemente.
2. Posteriormente se extrajo 1 ml de solución del tubo de ensayo N°1 y se le agregó al tubo N°2 el cual contenía agua peptonada para hacer una segunda dilución. Se le

colocó la tapa al tubo y se agitó suavemente. Este proceso se repitió en las series siguientes, hasta obtener 5 o 6 diluciones dependiendo del caso.

3. Se tomó el tubo de ensayo N°1 y se inoculó una serie de 5 tubos que contenían caldo Lauryl sulfato Triptosa, agregando 1 ml de solución a cada uno. De esta manera se completó la serie correspondiente a la primera dilución (10^{-1})

4. Se tomó el tubo de ensayo N°2 y se inoculó otra serie de 5 tubos que contenían caldo Lauryl sulfato Triptosa, agregando 1 ml de solución a cada uno. De esta manera se completó la serie correspondiente a la segunda dilución (10^{-2}). Este proceso se repitió con los tubos siguientes, hasta completar la última serie de dilución correspondiente a 10^{-5} o 10^{-6} dependiendo del caso.

5. Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

6. Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora seca a 35 ± 5 °C.

7. Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. La formación de gas constituye una prueba presuntiva positiva. Los tubos que no presentaron gas durante las primeras 24 h, se volvieron a colocar en la incubadora durante 24 h más para ser examinados posteriormente. Los tubos que si formaron gas, pasaron directamente a la prueba confirmativa.

8. Transcurridas 48 ± 3 h, se volvieron a examinar visualmente los tubos Durham, y los que presentaron formación de gas se llevaron a la prueba confirmativa, los resultados negativos fueron descartados.

Procedimiento Prueba Confirmativa

1. De la serie N°1 se tomó un tubo fermentado que resultó positivo en la prueba presuntiva, se agitó generosamente para resuspender los organismos y con un asa de

platino estéril se transfirió cultivo a un tubo que contenía caldo Bilis Verde Brillante. Este procedimiento se repitió para el resto de los tubos positivos de la serie N°1, así como también, para los tubos positivos de las demás series. . Cada vez que se transfería el cultivo a un nuevo tubo con caldo BVB el asa de platino se esterilizaba con la llama de un mechero.

2. Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

3. Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora seca a 35 ± 5 °C.

4. Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. Los tubos que no presentaron gas durante las primeras 24 h, se volvieron a colocar en la incubadora durante 24 h más para ser examinados posteriormente. Los tubos que si formaron gas, son resultados positivos de la prueba confirmativa.

5. Transcurridas las 48 ± 3 h, se volvieron a examinar los tubos Durham, y los que presentaron formación de gas son resultados positivos de la prueba confirmativa, y los resultados negativos fueron descartados.

6. Se calculó el NMP de coliformes totales a partir del número de tubos positivos en esta fase.

Procedimiento Coliformes Fecales

1. De la serie N°1 se tomó un tubo fermentado que resultó positivo en la prueba presuntiva, se agitó generosamente para resuspender los organismos y con un asa de platino estéril se transfirió cultivo a un tubo que contenía caldo EC. Este procedimiento se repitió para el resto de los tubos positivos de la serie N°1, así como también, para los tubos positivos de las demás series. Cada vez que se transfería el

cultivo a un nuevo tubo con caldo EC el asa de platino se esterilizaba con la llama de un mechero.

2. Se agitaron generosamente los tubos para mezclar el caldo y la muestra, cuidando de no dejar ninguna burbuja de aire dentro del tubo Durham invertido, y se colocaron en una rejilla.

3. Se colocaron los tubos de fermentación inoculados en la incubadora de baño de maría a 44,5 °C.

4. Después de 24 ± 2 h se examinó visualmente la presencia o ausencia de formación de gas en cada uno de los tubos Durham invertidos que se encontraban dentro de los tubos de ensayo. Los tubos que formaron gas, son resultados positivos de la prueba de coliformes fecales, los resultados negativos fueron descartados. (ver anexo F, figura F.6)

5. Se calculó el NMP de coliformes fecales a partir del número de tubos positivos en esta fase.

Cuando no se disponga de la ecuación de Poisson o de las tablas de NMP puede emplearse la ecuación de Thomas, desarrollada en 1942, para estimar el NMP:

$$NMP / 100 \text{ ml} = \frac{\text{número de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{\left(\frac{\text{ml de muestra en}}{\text{tubos negativos}}\right) \times \left(\frac{\text{ml de muestra en}}{\text{todos los tubos}}\right)}} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

La tabla 4.8 contiene los valores del NMP para límites de confianza del 95%, basados en diluciones de 10, 1 y 0,1 ml de muestra. Si se usan volúmenes de muestras mayores o menores, los valores de NMP observados se deben corregir por medio de la ecuación 4.3.

$$NMP/100\text{ml} = \text{valor NMP} \times \frac{10}{\text{el mayor volumen usado para el ensayo NMP}} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Muestra de cálculo del NMP

Para esta muestra de cálculos se utilizaron los resultados del muestreo N°3, correspondientes a los drenaje H y T:

- Drenaje H:

Combinación de positivos = 5-4-5 (ver anexo B, tabla B.3, este anexo es la tabla de coliformes de prueba confirmativa para este caso). Como esta combinación no aparece en la Tabla 4.9 se utilizó la Fórmula de Thomas (ecuación 4.2):

N° positivo = 9

ml negativos = 0,00010

ml muestra = 0,00055

$$\frac{NMP}{100} ml = \frac{9 \times 100}{\sqrt{0,0001 \times 0,00055}} = 3837613 = 3,83 \times 10^6$$

- Drenaje T

Combinación de positivos = 5-5-2 (Ver anexo B Tabla B.3). De la tabla 4.8 (número mas probable) se obtuvo un valor de NMP/100 ml = 500. El valor de 0,01 es la mayor dilución que arrojó resultados positivos entre las 5 diluciones realizadas, siguiendo la regla del Estándar Métodos^[17], se obtuvo

$$\frac{NMP}{100} ml = 500 \times \frac{10}{0,01} = 500000 = 5,00 \times 10^5$$

Tabla 4.9 Número más probable (NMP) y límites de 95% de confianza para ensayos con 5 tubos por dilución (10ml, 1.0 ml, y 0.1 ml)

Combinaciones de tubos positivos	NMP/100ml	Límites de 95% de confianza		Combinaciones de tubos positivos	NMP/100ml	Límites de 95% de confianza	
		Inferior	Superior			Inferior	Superior
0-0-0	<2	-	-	4-2-0	22	9	66
0-0-1	2	1,0	10	4-2-1	23	12	66
0-1-0	2	1,0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1,0	13	4-3-1	33	15	77
1-0-0	2	1,0	11	4-4-0	34	18	80
1-0-1	4	1,0	15	5-0-0	23	9	83
1-1-0	4	1,0	15	5-0-1	30	10	110
1-1-1	3	2,0	18	5-0-2	40	20	140
1-2-0	3	2,0	18	5-1-0	30	10	120
2-0-0	4	1,0	17	5-1-1	50	20	160
2-0-1	7	2,0	20	5-1-2	60	30	180
2-1-0	7	2,0	21	5-2-0	50	20	170
2-1-1	9	3,0	24	5-2-1	70	30	210
2-2-0	9	3,0	26	5-2-2	90	40	250
2-3-0	12	5,0	29	5-3-0	80	30	250
3-0-0	8	3,0	24	5-3-1	110	40	300
3-0-1	11	4,0	29	5-3-2	140	60	380
3-1-0	11	4,0	29	5-3-3	170	80	410
3-1-1	14	3,0	35	5-4-0	130	50	390
3-2-0	14	3,0	35	5-4-1	170	70	480
3-2-1	17	7,0	40	5-4-2	220	100	530
4-0-0	13	5,0	38	5-4-3	280	120	680
4-0-1	17	7,0	45	5-4-4	350	180	820
4-1-0	17	7,0	43	5-5-0	240	100	940
4-1-1	21	9,0	55	5-5-1	300	100	1300
4-1-2	23	12	33	5-5-2	900	200	2000
				5-5-3	900	300	2900
				5-5-4	1800	600	5300

Fuente: Adaptado de la Bibliografía ^[17]

4.5.1.8 Sólidos suspendidos totales

Se determinaron a través del método gravimétrico, en el cual los sólidos suspendidos totales serán los retenidos por un filtro una vez que la muestra se someterá a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105°C.

Método: Determinación de sólidos suspendidos totales (SM-2540.D)^[17]

Equipos y herramientas

- Agitador magnético. Marca: Hanna. Modelo: HI 190M.
- Aparato de extracción al vacío. Sin marca
- Balanza analítica. Marca: Denver. Modelo: AA-160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Beakers 600, 800 y 1000 ml. Marca: Pyrex.
- Bomba de vacío. Marca: Gast. Modelo: 0211-V45M-68CX. Serial: 0891 60 Hz. PH: 1. 1725 RPM.
- Cilindro graduado. Marca: Pyrex. Capacidad: 50 ml. Apreciación: ± 1 ml.
- Crisoles de porcelana. Capacidad: 130 ml.
- Desecador. Marca: Pyrex.
- Horno para secado. Marca: Boekel. Modelo: 107905. Capacidad: 0 - 200°C. Apreciación: $\pm 0,1$ °C.
- Jeringas.
- Papel de filtro de 55 y 125mm. Marca: Whatman.
- Picetas. Marca: Pyrex.
- Pinza metálica.

Procedimiento

Preparación del equipo de filtración

1. Se colocó un filtro en el aparato de extracción al vacío, se encendió la bomba y se aplicó vacío. Se lavó el filtro con tres porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, continuando la succión hasta eliminar toda traza de agua.
2. Se colocó el filtro en un crisol de porcelana y se llevó a un horno a 103-105 °C durante 1 h.
3. Luego, se enfrió en un desecador y se pesó hasta obtener peso constante.
4. Se repitió este procedimiento para el resto de los filtros y se guardaron en un desecador hasta el momento de utilizarlos.

Técnica de Ensayo

1. Utilizando vacío, se filtró un volumen medido de muestra bien mezclado. Se continuó la succión hasta eliminar toda traza de agua y se lavo con 3 porciones sucesivas de 10 ml de agua destilada, permitiendo un drenaje total después de cada lavado, y se continuó la succión durante 3 min al término de la filtración.
2. Se colocó el filtro nuevamente en el crisol y se llevó al horno durante 1 h a 103-105 °C.
3. Se enfrió en un desecador y se pesó hasta obtener peso constante.
4. El paso 2 y 3 se repitieron hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,5 mg.
5. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada punto de muestreo. (ver anexo F, figura F.4)

La determinación de los sólidos suspendidos totales se realiza mediante la ecuación 4.4:

$$SST = \frac{(B-A) \times 1000}{D} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Donde:

SST = Sólidos Suspendidos Totales en [mg/l]

B = Peso filtro + Cápsula + Sólido [mg] (temperatura = 105 °C)

A = Peso filtro + Cápsula [mg] (Temperatura ambiente)

D = Volumen de muestra [l]

Muestra de cálculo de los sólidos suspendidos totales

Para esta muestra de cálculos se utilizaron los resultados del muestreo N°1, correspondientes al drenaje H, y la Ecuación 4.4. (ver Anexo B, Tabla B.1)

$$SST = (((29.3723 + 29.3722) / 2) - 29.3709) / (50 \text{ ml} / 1000) * 1000$$

$$SST = 28 \text{ mg/l}$$

- Valor medio

$$SST = \frac{(28 + 30 + 26)}{3} \Rightarrow SST = 28 \text{ mg/l}$$

4.5.1.9 Aceites y Grasas

Los aceites y grasas se determinaron a través de extracciones consecutivas con un volumen de hexano en un embudo de separación, en el que el solvente será evaporado una vez que se someta a un proceso de destilación y el material resultante representara la fracción de grasas y aceites presente en la muestra.

Método: Gravimétrico. (SM 5520 B)^[17]

Equipos y Herramientas

- Balanza analítica. Marca: Denver Instrument Company AA – 160. Apreciación: $\pm 0,0001$ g. Capacidad: 160g.
- Desecador. Marca: Pyrex.
- Embudo de Separación con tapa y llave de teflón. Marca: Pyrex. Capacidad: 1 l.
- Balón de destilación. Marca: Pyrex. Capacidad: 50 ml.
- Papel de filtro. Whatman N° 40.
- Botella de vidrio, con tapa de rosca revestida de teflón. Capacidad: 500 ml.
- Embudo de filtración de vidrio. Marca: Pyrex.
- Manta eléctrica.
- Cilindro Graduado. Marca: Pyrex. Capacidad: 10 ml.
- Termómetro de mercurio. Capacidad: 100°C. Apreciación 1°C.
- Tubo de destilación.
- Mangueras.
- Soporte Universal.
- Taras para pesar.
- Espátulas y cucharas para pesar.

Reactivos

- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4)
- n-Hexano 85% de pureza, residuos menores a 1 mg/l
- Sulfato de Sodio (Na_2SO_4) anhidro, cristalizado.

Procedimiento

1. Captar aproximadamente 500 ml de muestra en la botella y marcar el nivel para determinaciones posteriores del volumen de la muestra.
2. Acidificar a $\text{pH} < 2$, con ácido Sulfúrico (H_2SO_4).
3. Transferir la muestra a un embudo de separación.
4. Lavar la botella con 20ml de n-Hexano y agregar el líquido de lavado al embudo de separación.
5. Lavar el papel de filtro con una porción de 10 ml de solvente.
6. Agitar vigorosamente por 2 min y liberar presión.
7. Dejar reposar hasta que las dos fases se separen y descartar la fase inferior acuosa.
8. Drenar la fase del solvente, hacia un balón de destilación limpio, previamente secado y pesado (B), haciéndolo pasar a través de un embudo previsto con 10 g de sulfato de sodio (Na_2SO_4) sobre el papel de filtro y dejar drenar solvente emulsificado a través del sistema de filtración.
9. Extraer dos veces mas la muestra con porciones de 15 ml de solvente.
10. Repetir dos veces lo descrito en los puntos de 6 a 8.
11. Colocar el balón de destilación, en la manta eléctrica dejando evaporar el solvente hasta una sequedad, a una temperatura no mayor de 70°C , aproximadamente durante 30 min y se recupera una parte del n-Hexano usado en un Erlenmeyer bien sellado e identificado.

12. Dejar enfriar el balón en un desecador durante 30 min, llevar a un peso constante y registrar éste como A para la determinación para los aceites y grasas. (ver anexo F, figura F.7)

Expresión de los Resultados

Calcular la concentración de aceites y grasas, expresado en mg/l de la siguiente manera:

$$\text{Aceites y Grasas, mg/l} = \frac{(A - B) \times 1000}{V} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Donde:

A = Peso del balón + aceites y grasas, en g.

B = Peso del balón vacío, en g.

V = Volumen de muestra, en l.

Muestra de Cálculo

De acuerdo al muestreo N° 1 (ver Anexo B, Tabla B.1):

Drenaje H

$$\text{Aceites y Grasas, mg/l} = \frac{(28,5810 - 28,5407) \times 1000 \times 1000}{500} = 80,13$$

Drenaje T

$$\text{Aceites y Grasas, mg/l} = \frac{(27,9003 - 28,8856) \times 1000 \times 1000}{500} = 29,47$$

4.5.2 Mediciones en campo

4.5.2.1 Temperatura

Las mediciones de la temperatura se realizaron con el termómetro de mercurio sumergido directamente en el cuerpo de agua y se esperó un período de tiempo suficiente que permitió lecturas constantes.

4.5.2.2 pH.

La determinación del pH se realizó a través de un pHmetro introduciendo el electrodo en la muestra, y una vez estabilizado se procedió a hacer la lectura final.

4.5.2.3 Altura del Agua

Para determinar la altura del agua se realizó sumergiendo verticalmente un tubo plástico en el punto de muestreo de cada drenaje y con una cinta métrica se procedió a medir hasta la marca del agua reflejada en dicho tubo.

Todos los resultados de los parámetros medidos se reflejan resumidos en el anexo E.

4.6 Análisis Estadístico

A continuación se presentaran los cálculos estadísticos aplicados para facilitar la interpretación de los parámetros estudiados de ambos drenajes:

Muestra de cálculo de la media aritmética de la DQO usando la ecuación 2.2:**Drenaje H**

$$\bar{X} = \frac{(102 + 234 + 67 + 167 + 161 + 191)}{6}$$

$$\bar{X} = 153,67 \text{ mgDQO/l}$$

Drenaje T

$$\bar{X} = \frac{(1163 + 36 + 209 + 1819 + 635 + 67)}{6}$$

$$\bar{X} = 654,83 \text{ mgDQO/l}$$

Muestra de cálculo de la desviación estándar de la DQO usando la ecuación 2.3:**Drenaje H**

$$\sigma = \sqrt{\frac{(102 - 153,67)^2 + (234 - 153,67)^2 + (67 - 153,67)^2 + (167 - 153,67)^2 + (161 - 153,67)^2 + (191 - 153,67)^2}{6 - 1}}$$

$$\sigma = 60,43 \text{ mgDQO/l}$$

Drenaje T

$$\sigma = \sqrt{\frac{(1163 - 654,83)^2 + (36 - 654,83)^2 + (209 - 654,83)^2 + (1819 - 654,83)^2 + (635 - 654,83)^2 + (67 - 654,83)^2}{6 - 1}}$$

$$\sigma = 712,91 \text{ mgDQO/l}$$

Para cada parámetro físico-químico y bacteriológico estudiado en los drenajes H y T, se le aplicó este análisis estadístico cuyos resultados se reflejan en el anexo C.

4.7 Identificación y ubicación de las fuentes contaminantes.

La localización de cada una de las fuentes contaminantes se realizó a través de visitas de campo a los drenajes H y T efectuadas durante la realización de este trabajo de investigación. Adicionalmente se visitaron organismos públicos del estado y se consideraron testimonios de vecinos de la zona afectada para poder puntualizar estas fuentes.

CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se realizó la interpretación de los datos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y de campo, lo que permitió la evaluación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos de los drenajes H y T. Los resultados para cada drenaje se ubican en el Anexo B de manera detallada y de forma resumida en el Anexo E.

5.1 Drenaje H

Las siguientes figuras muestran una representación esquemática de las concentraciones y valores registrados de los parámetros en el drenaje H estudiadas en el laboratorio y en campo respectivamente.

Altura del agua

Éste gráfico representa los diferentes niveles de agua registrados en cada muestreo, cabe destacar que motivado a trabajos de mantenimiento del drenaje, las alturas medidas no representan las variaciones correspondientes a toda la cuenca permaneciendo con valores similares en todo el periodo de captación de muestras. La mayor medición de la altura del agua fue de 0,60 m y corresponde al segundo muestreo pudiendo inferir que se debe a lluvias registradas en días anteriores. El primer muestreo fue realizado en periodo seco, representado con el menor nivel de agua de 0,40 m lo que reluce una diferencia de 0,20 m con respecto al mayor.

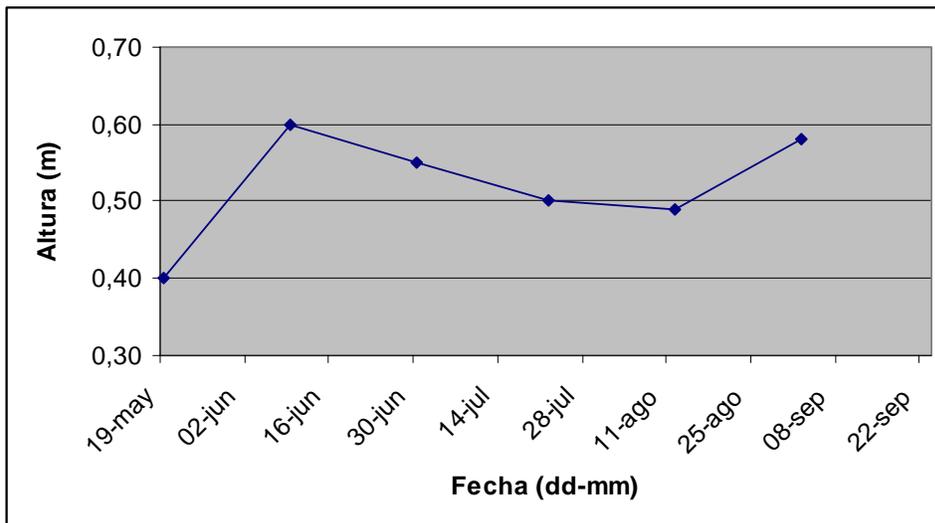


Figura 5.1 Gráfico representativo de la variación de la Altura del agua entre los muestreos realizados al drenaje H.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno presentó una gran variabilidad en los tres primeros muestreos y permaneció con valores similares en los tres últimos. El mayor valor de DQO registrado fue de 234 mg/l correspondiente al segundo muestreo y coincidiendo con el mayor valor de altura de agua, lo que permite deducir un aumento en el arrastre y descarga de materia orgánica y otros elementos contaminantes hacia el drenaje H. El valor mínimo de DQO registrado fue en el tercer muestreo con 67 mg/l arrojando un brusco declive en la curva causado por la presencia de lluvias de alta intensidad días antes de la toma de muestra. Como se observa en el gráfico el valor DQO tuvo una tendencia a aumentar del primero al segundo muestreo y del tercero al cuarto muestreo de manera significativa, así como también un ligero aumento entre el quinto y sexto muestreo.

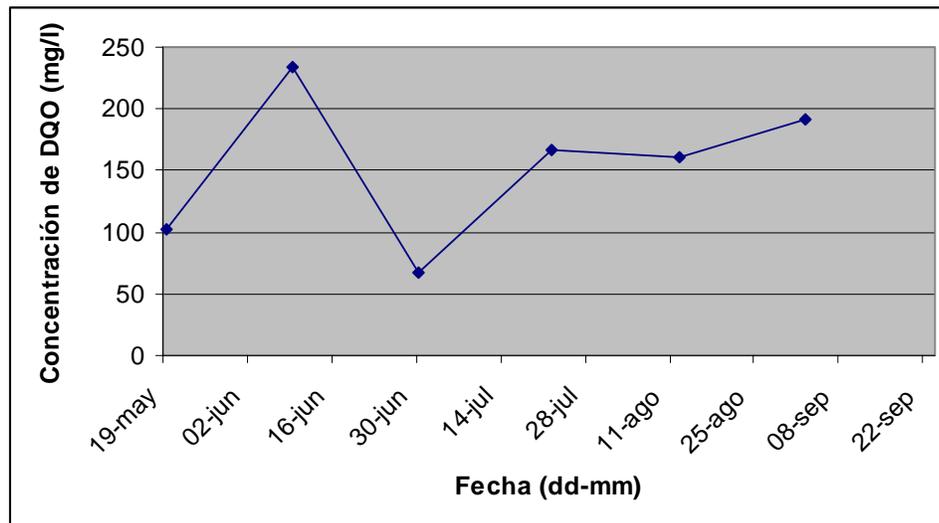


Figura 5.2 Gráfico representativo de la variación de la DQO entre los muestreos realizados al drenaje H.

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno presentó una alta variabilidad en los 6 valores arrojados por los muestreos realizados al drenaje H. El mayor valor de DBO a los 5 días registrado fue de 76 mg/l siendo éste en el sexto muestreo. El menor valor de DBO a los 5 días registrado fue en el tercer muestreo con 9,5 mg/l. Al igual que la DQO la variación de las concentraciones de DBO del drenaje H se debe a los distintos escenarios climatológicos en los que se estudió el mismo, correspondiendo el mayor valor con el período seco y el menor valor con el periodo lluvioso, permitiendo inferir que los índices de materia orgánica biodegradable presente en el agua, se vieron afectados por los periodos lluviosos y de sequía. Como se observa en el gráfico el valor DBO tuvo una tendencia a aumentar del primero al segundo muestreo, del tercero al cuarto muestreo y del quinto y sexto muestreo.

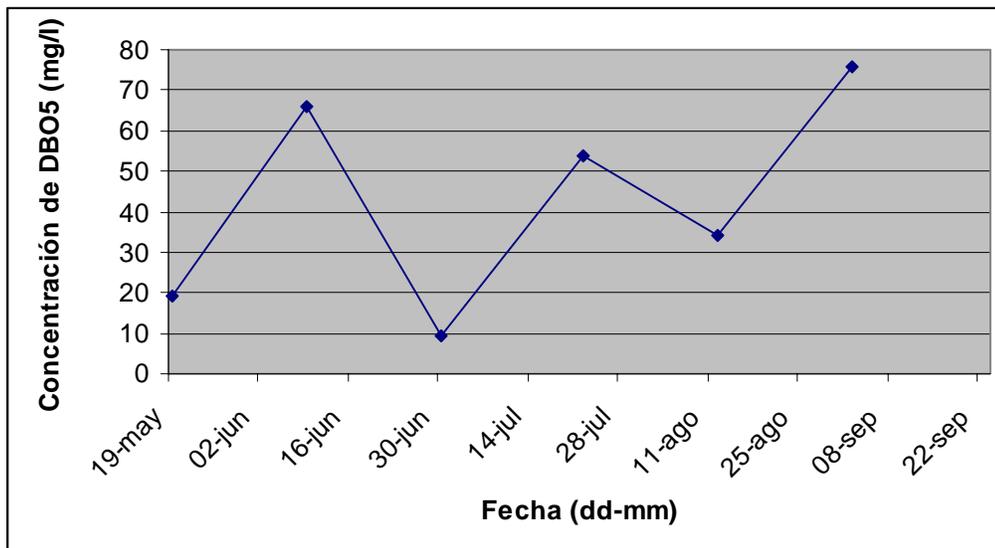


Figura 5.3 Gráfico representativo de la variación de la DBO₅ entre los muestreos realizados al drenaje H.

Relación entre la DBO₅ y la DQO

Como se puede apreciar la recta atraviesa de forma central los pares de valores de concentración (DBO₅, DQO), indicando una correlación lineal positiva. El coeficiente de correlación es de 0,83 siendo un valor cercano a 1 reflejando un buen grado de relación entre éstos parámetros analizados. La relación DBO₅/DQO es de 0,26 (Ver Anexo D, Tabla D.1) lo que permite suponer la presencia de constituyentes tóxicos o de residuos de difícil degradación por los microorganismos (sustancias químicas, grasas y aceites de motor provenientes de autolavados y de los puestos de papeles ahumados). Sin embargo, éste valor está muy próximo a 0,30 siendo éste el límite menor del rango característico de un agua residual doméstica, lo que hace notar la presencia de las mismas a lo largo de todo el drenaje.

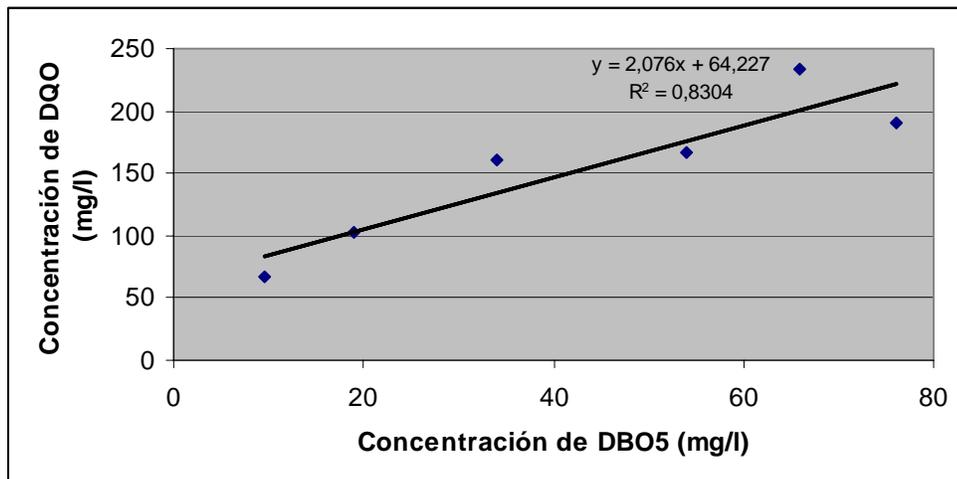


Figura 5.4 Gráfico representativo de la relación entre la DBO₅ y la DQO en el drenaje H.

Fósforo Total (PT)

En la presente figura a simple vista se aprecia que durante todo el periodo de muestreo se produjo un aumento de las cantidades de fósforo total, debido a que en líneas generales la tendencia de la curva es a aumentar excepto en los muestreos 2 y 4. El mayor valor obtenido mediante los estudios de laboratorio fue de 7 mg/l de Fósforo Total, coincidiendo éste con el período seco y también concuerda con valores considerables de DBO₅ y DQO. En el período de lluvia registrado para el muestreo número 2, se presentó el mínimo valor de fósforo siendo éste de 2,23 mg/l, lo que indica que en éste periodo las descargas de contaminantes se diluyen con el agua de lluvia. Se puede observar que el primer muestreo presentó una de las menores concentraciones de éste nutriente, debido a la presencia de abundante vegetación.

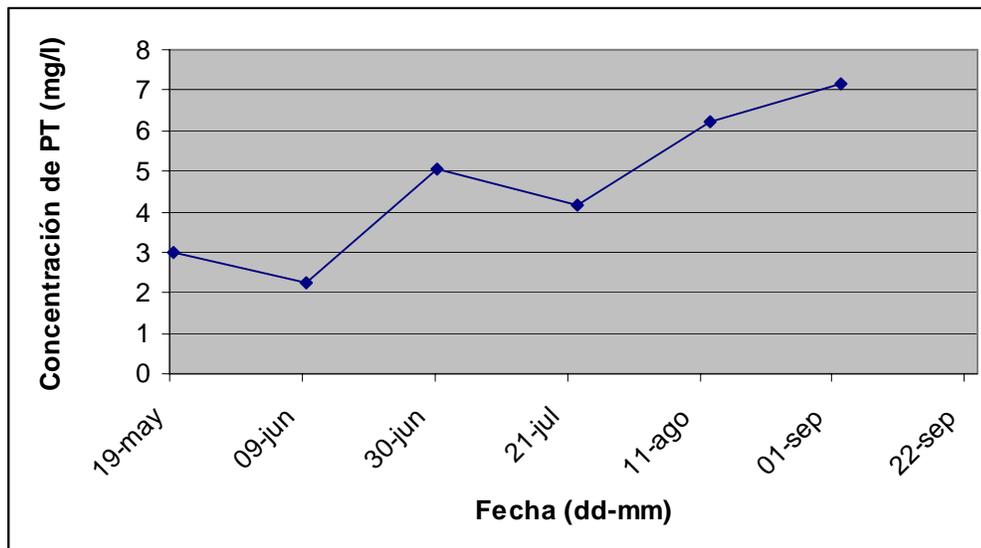


Figura 5.5 Gráfico representativo de la variación de PT entre los muestreos realizados al drenaje H.

Nitrógeno Total (NT)

El gráfico siguiente representa las concentraciones de Nitrógeno Total contenidas en todas las muestras captadas del drenaje H. El mayor valor entre las concentraciones de materia orgánica y amoniaco estuvo regido por el tercer muestreo con 103,47mg/l, es el momento en que la curva sufre un drástico aumento indicando un vertido significativo de elementos contaminantes portadores en cantidades importantes de éste nutriente. También aumenta en el muestreo número 5, aunque en menor magnitud con un valor de 53,76 mg/l. El menor valor registrado de éste nutriente fue en el sexto muestreo con 9,17 mg/l.

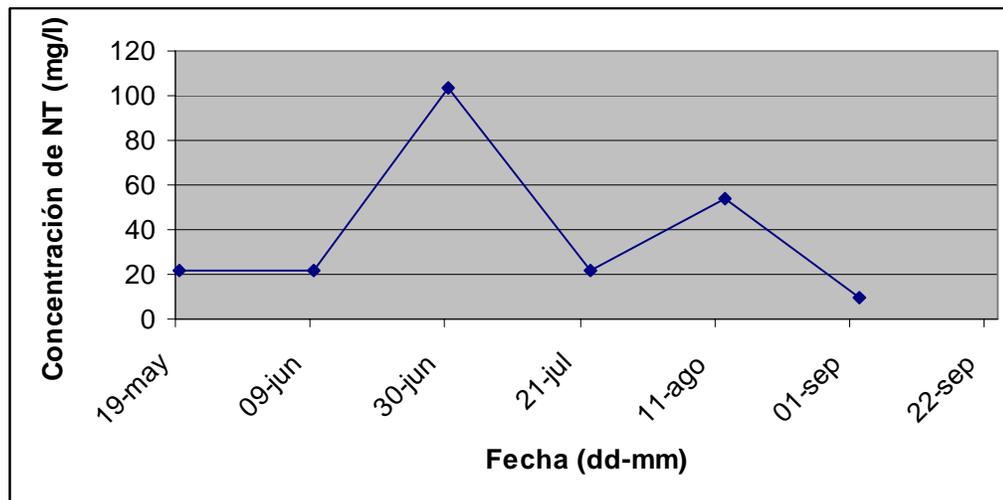


Figura 5.6 Gráfico representativo de la variación de NT entre los muestreos realizados al drenaje H.

Nitritos +Nitratos

El siguiente gráfico presenta los valores arrojados por las aguas del drenaje H, con respecto a Nitritos y Nitratos. En el primer muestreo se presentó el mayor de los valores de éstos compuestos siendo de 25,56 mg/l, presenciando un alto contenido de actividad bacteriológica y en el cuarto muestreo el menor valor con 5,58 mg/l. Los valores presentan una gran variabilidad a lo largo de todo el muestreo, a partir del cuarto muestreo las concentraciones de éstos nutrientes experimentaron un ascenso progresivo hasta llegar a una concentración de 21,10 mg/l. El comportamiento de esta gráfica se presenta de forma similar al de la figura 5.5 que corresponde a la de fósforo total, en las que los valores de ambos parámetros tienden a aumentar en los muestreos realizados el 30 de junio y 12 agosto. Con respecto a la figura 5.6 se puede apreciar que las inclinaciones de las rectas de figura 5.7 presentan menores pendientes, lo que indica que los valores de nitritos+nitratos presentaron menores cambios entre cada muestreo en comparación con las concentraciones de nitrógeno total.

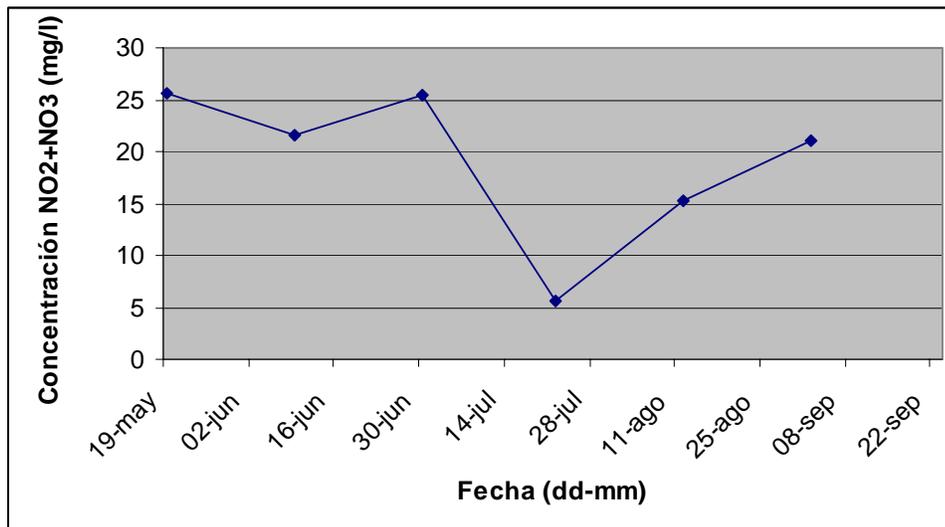


Figura 5.7 Gráfico representativo de la variación de NO₂+NO₃ entre los muestreos realizados al drenaje H.

Coliformes Totales (CT)

La figura 5.8 indica la concentración de organismos patógenos en el agua del drenaje H. Estos valores reflejan una evidente contaminación microbiana en todos los muestreos realizados, presentando una mayor prominencia en el quinto muestreo con $5,00 \times 10^7$ NMP/100ml. También, otro aumento significativo se dio en el segundo muestreo con un valor de $3,00 \times 10^7$ NMP/100ml. Estos aumentos coinciden con el período lluvioso del muestreo, lo que permite inferir que estos incrementos de la curva de coliformes totales son originados por las descargas de las aguas de escorrentía y domésticas, las cuales están cargadas de una gran cantidad de bacterias. El mínimo valor de coliformes fue arrojado por el estudio de las aguas en el primer muestreo con un valor de 3300 NMP/100ml, que a pesar de tener una diferencia significativa con respecto al mayor valor, sigue manteniendo altos niveles de contaminación bacteriológica.

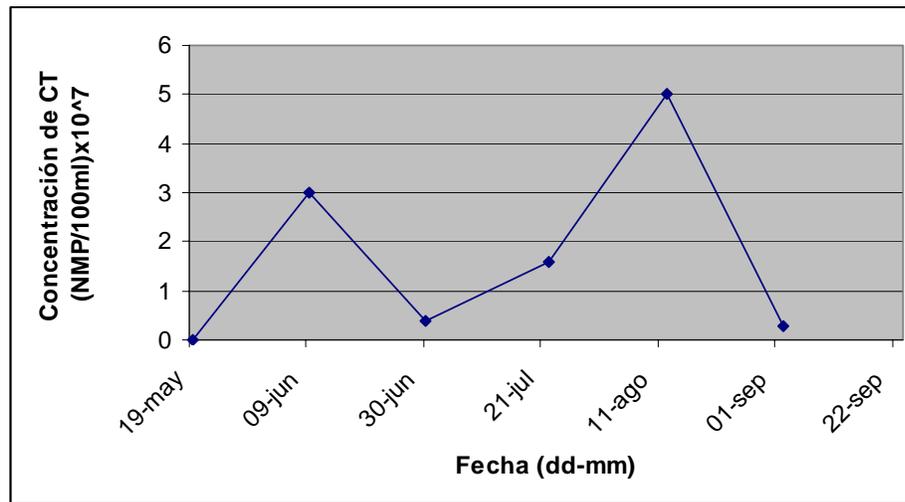


Figura 5.8 Gráfico representativo de la variación de CT entre los muestreos realizados al drenaje H.

Coliformes Fecales (CF)

En el siguiente gráfico se reporta la presencia de materia fecal en el agua del drenaje H con diversas concentraciones según corresponda con el muestreo realizado. La concentración de coliformes fecales de mayor significancia fue registrada en el quinto muestreo con $9,00 \times 10^6$ NMP/100ml y el menor valor de coliformes arrojado fue de 200 NMP/100ml registrado para el primer muestreo. El mayor valor de coliformes fue presentado en período lluvioso y el menor en período seco, expresando la importancia que tienen las precipitaciones en la variación de éste parámetro. Otros factores que influyen representativamente en la variación de éstos valores son la descarga de aguas de origen doméstico y la presencia de organismos bacterianos indicadores de contaminación fecal, originados éstos en el tracto intestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente. La concentración típica de CF en aguas residuales domésticas está en el rango de $10^4 - 10^5$ NMP/100ml, quedando claramente con estos valores la presencia de este tipo de microorganismos en las aguas del drenaje H. La concentración de coliformes fecales tuvo el mismo

comportamiento que la de coliformes totales pudiéndose establecer una relación promedio de $CF/CT=0,18$. (Ver Anexo D, Tabla D.3)

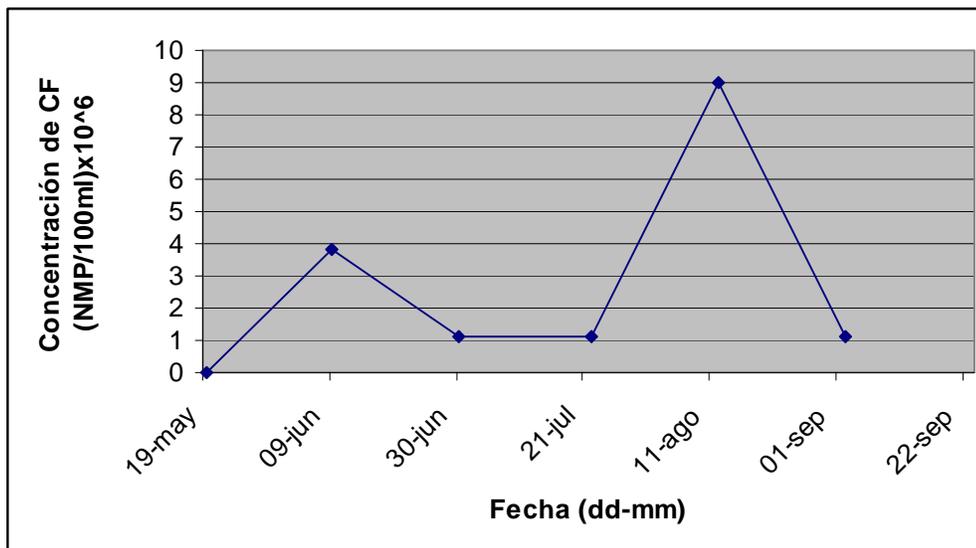


Figura 5.9 Gráfico representativo de la variación de CF entre los muestreos realizados al drenaje H.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El siguiente gráfico expresa los valores de sólidos suspendidos totales presente en las aguas captadas en el drenaje H, durante el período de muestreo. La menor concentración fue arrojada en el primer muestreo correspondiente al período seco presentado un valor de 28 mg/l de sólidos suspendidos totales, El mayor valor fue de 220 mg/l de sólidos suspendidos totales, arrojado en el quinto muestreo, coincidiendo con el momento en que los coliformes totales y fecales presentan mayores concentraciones. Una vez más, se pone en manifiesto, la gran importancia que tiene el escurrimiento superficial en el aumento de los elementos contaminantes del agua así como también el vertido de líquidos y desechos residuales. La variación de la concentración de sólidos suspendidos totales se comportó de igual forma que la de los coliformes y se parece también en la DBO_5 a excepción del sexto muestreo.

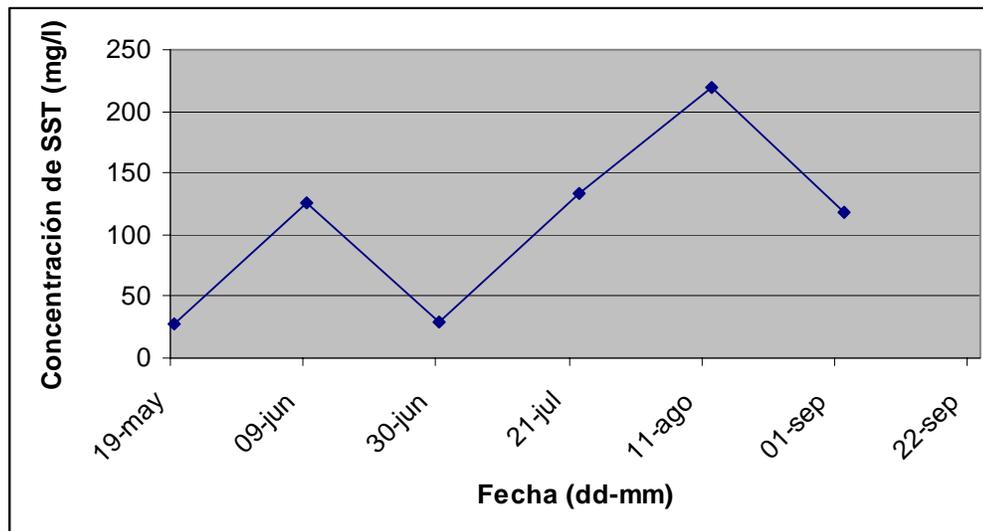


Figura 5.10 Gráfico representativo de la variación de SST entre los muestreos realizados al drenaje H.

Aceites y Grasas

Todos los valores de aceites y grasas arrojados por el estudio de las aguas del drenaje H, son de gran significancia. El valor que presentó mayor prominencia fue en el tercer muestreo con 170,3 mg/l, reportando una importante concentración de éste parámetro, pudiendo afirmar que en este momento el drenaje se encontraba en el peor estado con respecto a la cantidad de aceites y grasas. El menor valor arrojado por los muestreos estuvo representado en la segunda captación de muestras con 30,2 mg/l de aceites y grasas. Los tres últimos muestreos presentaron valores similares, pudiéndose apreciar en la curva poca variación. Las concentraciones de aceites y grasas registradas en el laboratorio y presentes en el agua son originadas por los aceites de motores provenientes de los autolavados, de origen doméstico y así como también del propio escurrimiento superficial.

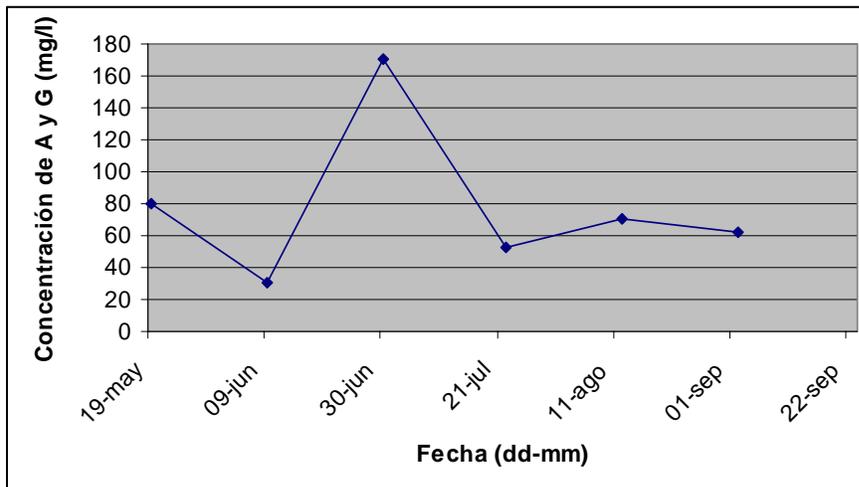


Figura 5.11 Gráfico representativo de la variación de Aceites y Grasas entre los muestreos realizados al drenaje H.

Temperatura

La siguiente figura muestra el comportamiento que presentó la temperatura en el período de muestreo, siendo éste relativamente constante. El drenaje H presentó el mayor valor de temperatura en el quinto muestreo con 28 °C, de resto todos los valores tienen mucha similitud siendo el menor de 23 °C representado en el segundo y tercer muestreo. La variación de temperatura fue de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

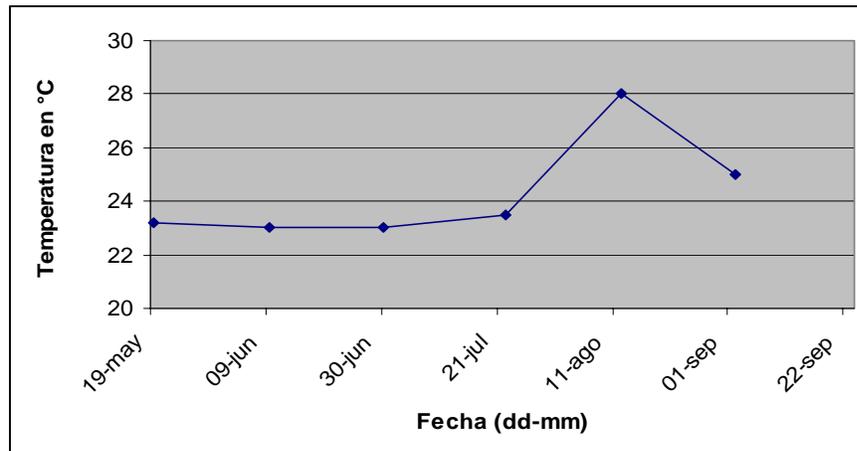


Figura 5.12 Gráfico representativo de la variación de la Temperatura entre los muestreos realizados al drenaje H.

pH

Se puede apreciar en la representación gráfica de los valores de pH del drenaje H, estos presentan cierta similitud en todos los muestreos, siendo la máxima variación de 0,32. El máximo valor registrado del pH fue de 7,06 acercándose al valor al valor neutro así como también el mínimo valor de 6,74.

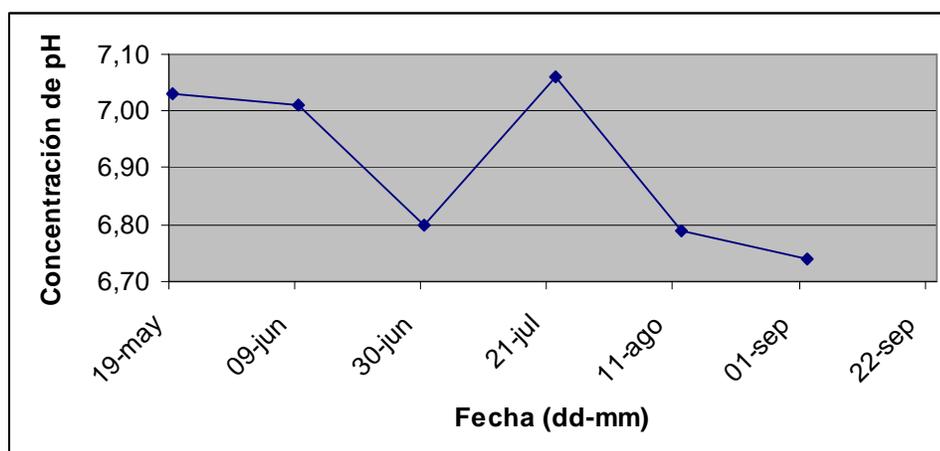


Figura 5.13 Gráfico representativo de la variación del pH entre los muestreos realizados al drenaje H.

5.2 Drenaje T

Las siguientes figuras muestran una representación esquemática de las concentraciones y valores registrados de los parámetros estudiados en el laboratorio y campo respectivamente.

Altura del Agua

La figura 5.14 indica los niveles de aguas medidos en cada muestreo, dichas alturas difieren en pocos centímetros entre si. Esta similitud entre las alturas del agua prevaleció independientemente de que las tomas de muestra fueran realizadas en periodos secos y lluviosos; las mediciones N° 1 y 6 correspondieron a épocas de sequía y las restantes a días lluviosos. El mayor valor de altura registrado fue de 0,51 m dado por el sexto muestreo y la menor de 0,41 m dado por el quinto, lo que permite apreciar un comportamiento casi constante en el nivel del agua a lo largo de todo el periodo de muestreo.

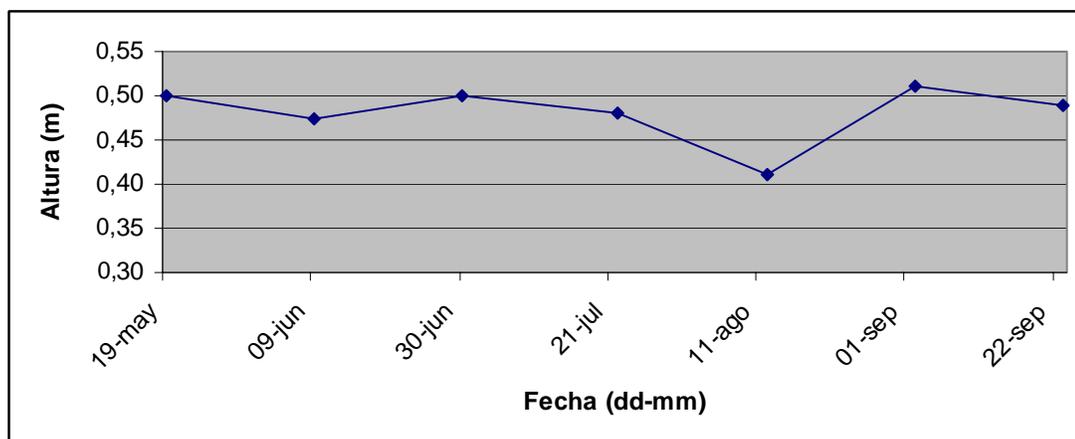


Figura 5.14 Gráfico representativo de la variación de la altura del agua entre los muestreos realizados al drenaje T.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno presentó una alta variabilidad entre muestreos. El mayor valor de DQO registrado fue de 1819 mg/l corresponde al quinto muestreo, indicando el más alto nivel de concentración de materia orgánica presente a lo largo del periodo de captación de muestras, lo que se traduce en un importante aumento en vertidos de líquidos y desechos residuales al drenaje T. Como la DBO_5 también fue alta en éste punto significa que hay alto contenido de materia orgánica biodegradable presente en el drenaje. El mínimo valor de este parámetro obtenido fue de 36 mg/l dado por el tercer muestreo, en el que días lluviosos de altas intensidades y duraciones ocasionaron una considerable disminución de la DQO con respecto al muestreo anterior. Como se puede apreciar a partir del muestreo N° 5, la curva presenta una gran depresión hasta concluir el periodo de toma de muestras, a pesar de este decaimiento en el muestreo N° 6 se registra de igual forma una gran concentración de material orgánico de 635 mg/l.

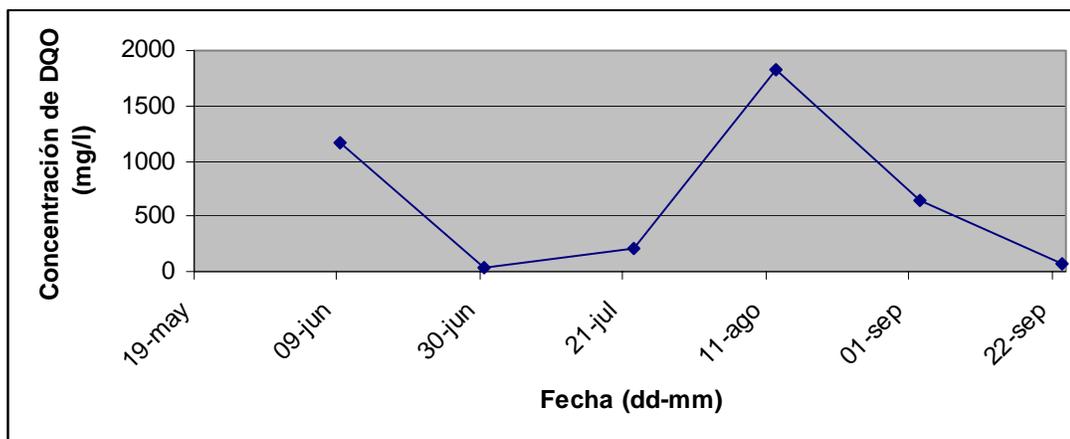


Figura 5.15 Gráfico representativo de la variación de la DQO entre los muestreos realizados al drenaje T.

Demanda Bioquímica De Oxígeno a los cinco días (DBO₅).

La demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días presentó una gran variabilidad entre muestreos. El segundo muestreo estuvo marcado por una DBO₅ de 540 mg/l, el mínimo valor de este parámetro obtenido fue de 4,1 mg/l dado por el tercer muestreo, en el que días lluviosos de altas intensidades y duraciones ocasionaron una considerable disminución de la DBO₅ con respecto al muestreo anterior. El mayor nivel de concentración de material biodegradable presente a lo largo del periodo de captación de muestras del drenaje T correspondió al quinto muestreo, arrojando un importante valor de DBO₅ igual a 740 mg/l. Después del muestreo N° 5, la curva presenta una tendencia decreciente hasta concluir el periodo de toma de muestras, a pesar de esta depresión en el muestreo N° 6 se registra una relevante concentración de material biodegradable de 180 mg/l.

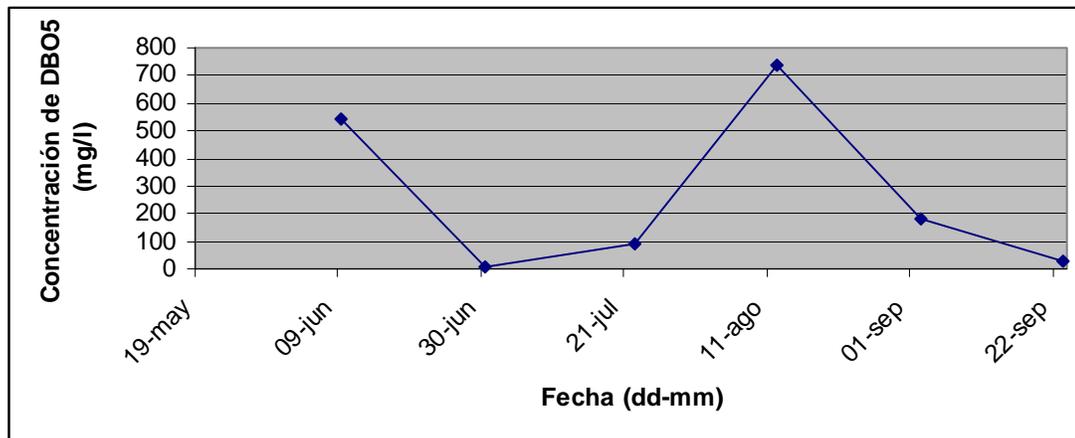


Figura 5.16 Gráfico representativo de la variación de la DBO₅ entre los muestreos realizados al drenaje T.

Relación entre la DBO₅ y la DQO

En la figura 5.17 se puede apreciar que la recta interseca cuatro pares de valores de concentración (DBO₅, DQO) de los seis graficados, indicando una correlación lineal positiva. El coeficiente de correlación es de 0,98 siendo un valor muy próximo a 1 reflejando una excelente correlación entre éstos parámetros. La relación DBO₅/DQO es de 0,36 (Ver Anexo D, Tabla D.2) valor comprendido en el rango característico de un agua residual doméstica, que esta dado por un límite inferior de 0,3 y un máximo de 0,8. Sin embargo, hacen presencia en las aguas del drenaje sustancias aceitosas y toxicas provenientes de escurrimiento y del vertido indiscriminado del mismo.

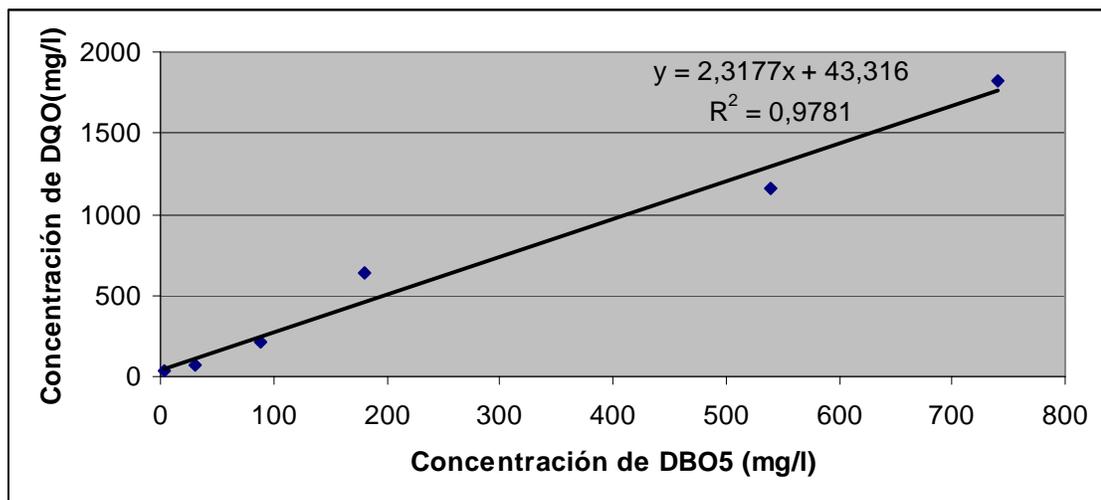


Figura 5.17 Gráfico representativo de la relación entre la DBO₅ y la DQO en el drenaje T.

Fósforo Total (PT)

Las concentraciones de fósforo total no presentaron diferencias importantes en los dos primeros muestreos, registrándose el mínimo valor de todas las muestras en el primero con 1,58 mg/l. Este nutriente tuvo un aumento progresivo hasta alcanzar la máxima concentración, ubicada específicamente en el quinto muestreo con un valor

de 9,71 mg/l en el que de igual forma se registraron los mayores valores de DQO y DBO₅, a partir del cual el nutriente disminuyó hasta llegar a 7,53 mg/l en el sexto muestreo, correspondiente a periodo de sequía, vale mencionar que el mayor valor de fósforo total se dió en una muestra captada en periodo lluvioso.

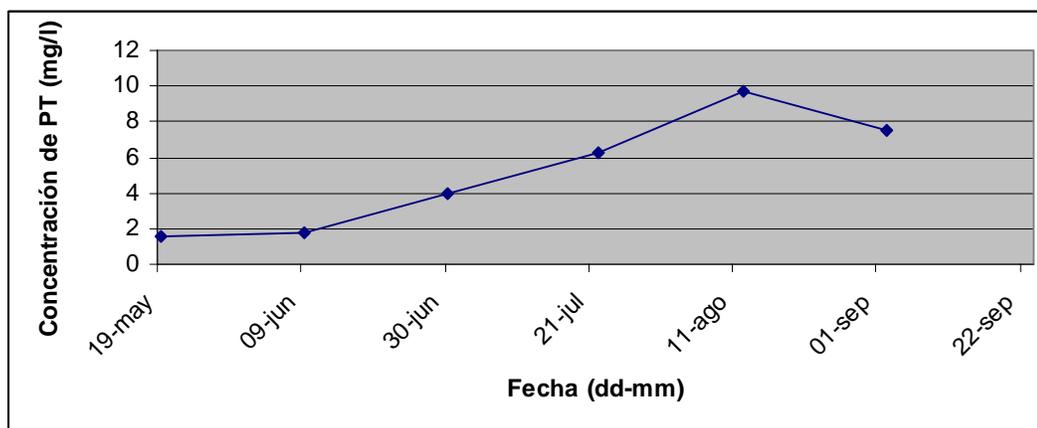


Figura 5.18 Gráfico representativo de la variación de PT entre los muestreos realizados al drenaje T.

Nitrógeno Total (NT)

A lo largo de toda la curva, se presentan concavidades que permiten apreciar incrementos y disminuciones de este nutriente, las concentraciones de nitrógeno total mostraron una variabilidad en los muestreos, la menor de todas fue de 1,96 mg/l y la mayor de 5,69 mg/l ubicadas en el tercer muestreo y en el cuarto respectivamente. El segundo mayor valor de nitrógeno se registro en el segundo muestreo con un valor de 4,97 mg/l. La tendencia de los valores de nitrógeno total es decreciente a partir del cuarto muestreo hasta llegar al muestreo numero seis, después de este, el nitrógeno total incrementa levemente hasta llegar a una concentración final de 2,61 mg/l. Ésta gráfica tuvo un comportamiento similar a la de la DBO₅.

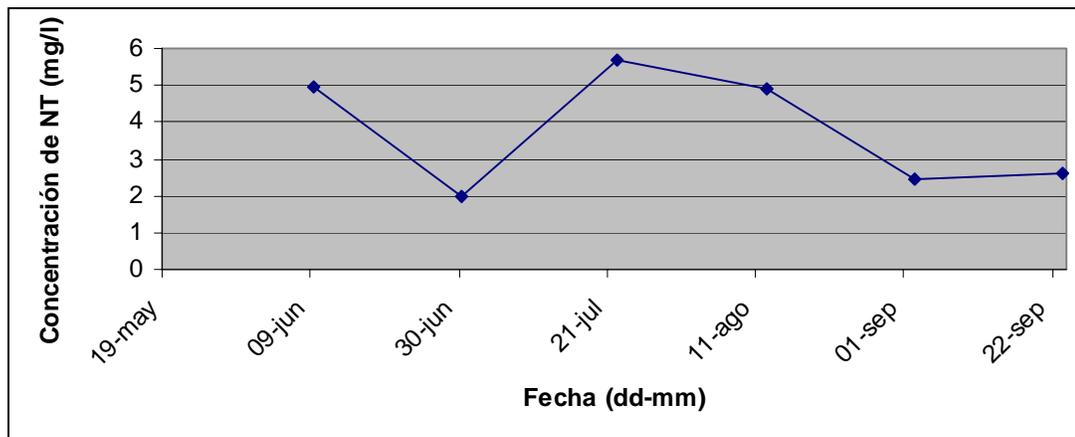


Figura 5.19 Gráfico representativo de la variación de NT entre los muestreos realizados al drenaje T.

Nitritos + Nitratos

Como se observa, la suma de estas concentraciones presentó variaciones en todo el muestreo, el menor valor reportado fue de 2,46 mg/l, correspondiente al cuarto muestreo y el mayor de 26,10 mg/l ubicado en el segundo realizado. Los valores del segundo y tercer muestreo reflejaron pequeñas diferencias en cuanto a las concentraciones de estos nutrientes se refiere, a partir del quinto muestro los valores presentaron variaciones que permiten apreciar suaves cambios en la curva con concentraciones de valores comprendidos entre 10,50 mg/l y 21 mg/l. El comportamiento de esta gráfica se presenta de manera diferente en los muestreos realizados en las fechas 9 junio, 30 junio y 22 julio con respecto a la figura 5.18 que corresponde a la de fósforo total, en las que los valores de ambos parámetros presentan una tendencia similar en los muestreos realizados el 12 de agosto y 2 de septiembre. Con respecto a la figura 5.19 se puede apreciar un comportamiento muy distinto con respecto al de la figura 5.20, lo que indica un comportamiento discrepante entre los valores de NT y los de $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$.

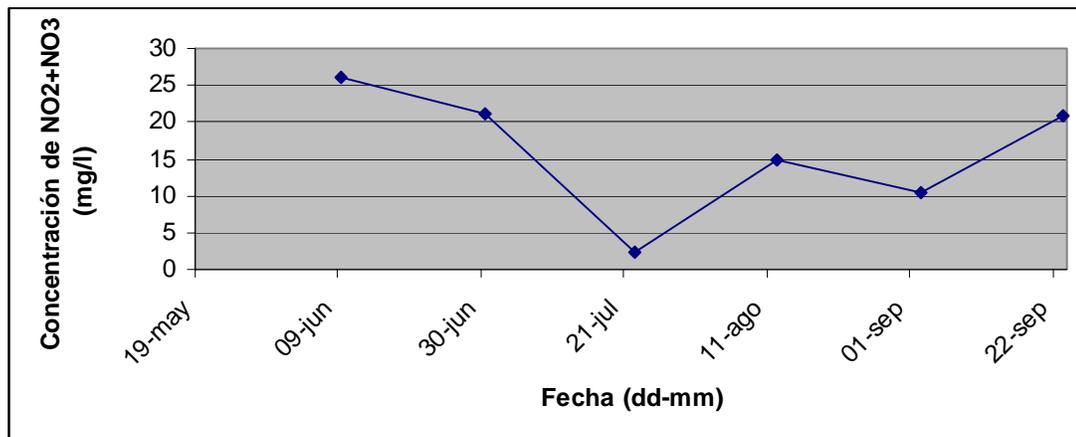


Figura 5.20 Gráfico representativo de la variación de NO₂ + NO₃ entre los muestreos realizados al drenaje T.

Coliformes Totales (CT)

Las concentraciones de coliformes totales presentaron variabilidad entre los muestreos. El mayor valor fue de $3,00 \times 10^6$ NMP/100ml y este se ubicó tanto en el muestreo N° 2 y 6, y el menor registrado fue de $9,00 \times 10^4$ NMP/100ml correspondiendo a la primera muestra captada. Los muestreos N° 3 y 4 estuvieron marcados por concentraciones bajas con respecto a la mayor registrada, sin embargo estos valores contienen altos niveles de contaminación bacteriológica. Todos estos valores reflejan una indiscutible contaminación microbiana en todos los muestreos evaluados, lo que indica la presencia de vertidos de aguas residuales y aguas de escorrentía cargadas de considerables cantidades de bacterias.

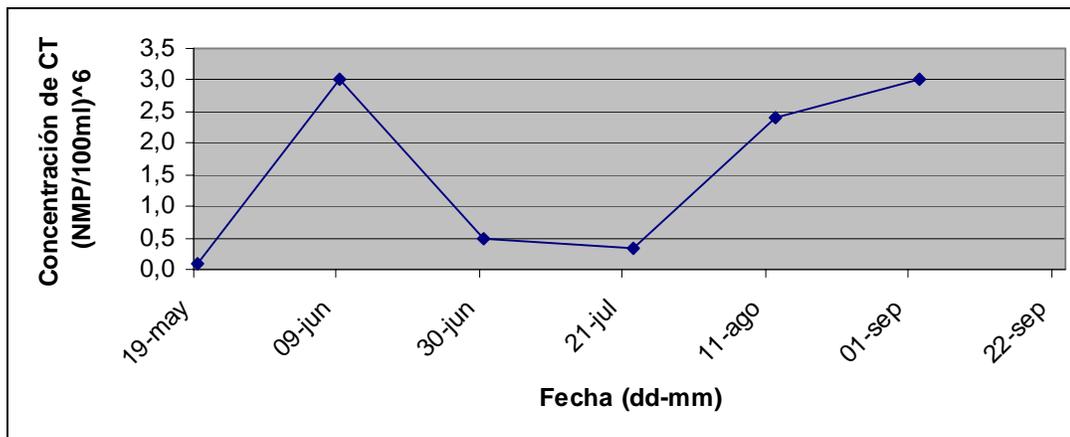


Figura 5.21 Gráfico representativo de la variación de CT entre los muestreos realizados al drenaje T.

Coliformes Fecales (CF)

Al igual que los coliformes totales, los coliformes fecales difirieron sus concentraciones entre los muestreos. El mayor valor fue de $1,10 \times 10^6$ NMP/100ml y este se ubicó tanto en el muestreo N° 2 y 6, y el menor registrado fue de $1,10 \times 10^4$ NMP/100ml correspondiendo a la primera toma de muestras, cabe destacar que los valores máximos y el mínimo correspondieron en ubicación con los coliformes totales. Los muestreos N° 3, 4 y 5 estuvieron marcados por concentraciones bajas con respecto a la mayor registrada. Todos estos valores reflejan una clara y evidente contaminación microbiana, lo que de manera indiscutible indica la presencia de vertidos de aguas residuales domésticas. La concentración típica de CF en aguas residuales domésticas está en el rango de 10^4 – 10^5 NMP/100ml, quedando explícito con estas concentraciones la presencia de este tipo de microorganismos en las aguas del drenaje T. La concentración de coliformes fecales tuvo un comportamiento similar que la de coliformes totales pudiéndose establecer una relación promedio de $CF/CT=0,30$. (Ver Anexo D, Tabla D.4)

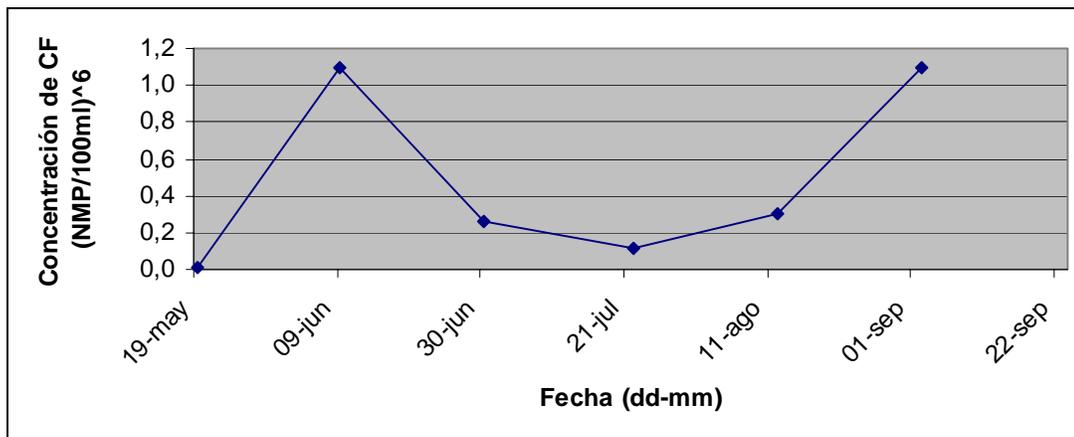


Figura 5.22 Gráfico representativo de la variación de CF entre los muestreos realizados al drenaje T.

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En el presente gráfico se aprecian importantes variaciones de concentraciones de sólidos suspendidos totales, en el que la mayor de ellas fue de 2270 mg/l resultando este valor del quinto muestreo realizado en período lluvioso, y la menor concentración, pero que igual es considerable de 254 mg/l correspondiendo al tercer muestreo efectuado también en días lluviosos. El primer, segundo y sexto muestreo registraron valores desmedidos con concentraciones por encima de 1000 mg/l. Todas estas altas cantidades de SST, dadas por todos los muestreos, están asociadas a escurrimientos con grandes cantidades de sólidos y a vertidos de líquidos y desechos residuales.

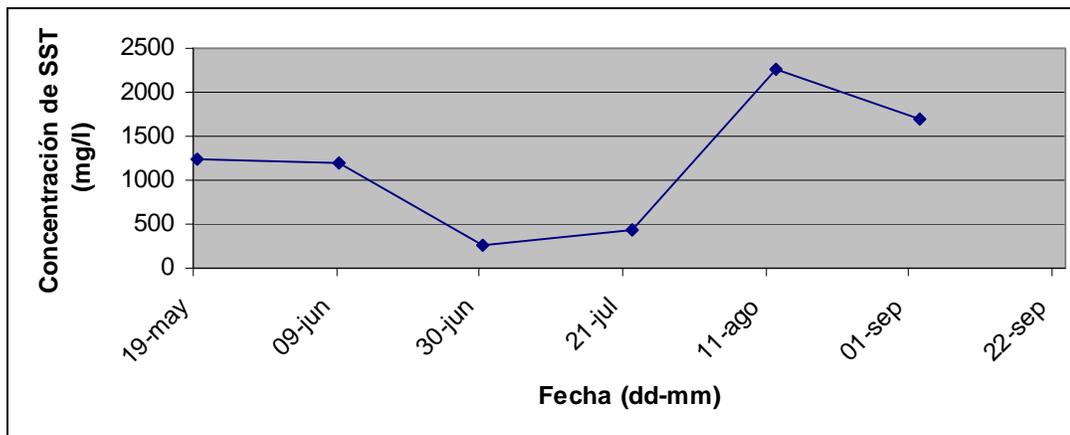


Figura 5.23 Gráfico representativo de la variación de SST entre los muestreos realizados al drenaje T.

Aceites y Grasas

Siguiendo la misma tendencia de los parámetros anteriores, las concentraciones de aceites y grasas presentaron diferencias entre los muestreos. En el cuarto muestreo se localiza el menor valor siendo este de 7,9 mg/l y en el segundo el mayor obtenido para este parámetro resultando de 120,21 mg/l. a partir del muestreo N° 2 se puede apreciar una disminución continua de la concentración hasta llegar al punto mas bajo de la curva, esto fue producido por un periodo lluvioso intenso ocurrido en días anteriores al muestreo N° 4. Cabe destacar, que el segundo mayor valor de aceites y grasas se ubicó en el quinto muestro en el que se registraron los mayores valores de DQO, DBO₅, PT y SST, siendo este de 70,13 mg/l.

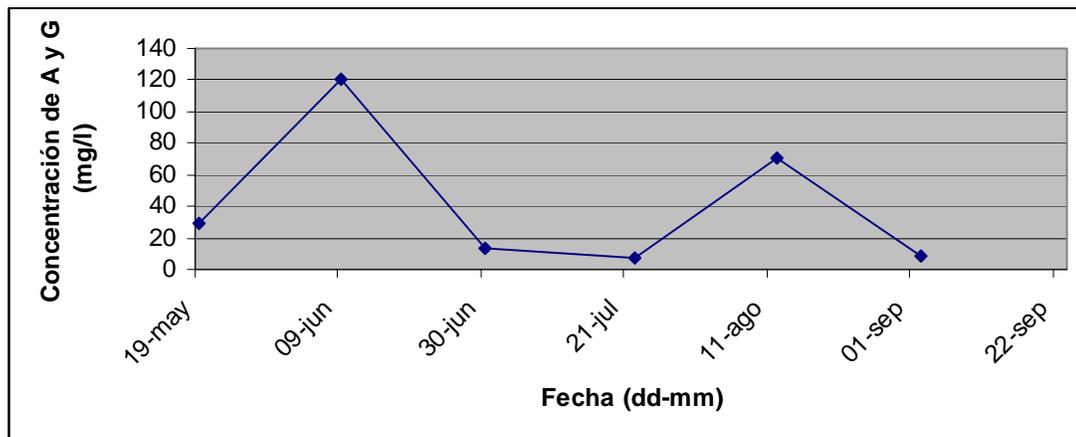


Figura 5.24 Gráfico representativo de la variación de aceites y grasas entre los muestreos realizados al drenaje T.

Temperatura

La menor de las temperaturas medidas en campo fue de 23°C localizada tanto como en el primer y segundo muestreo, y la mayor fue de 28°C ubicada en el sexto muestreo. Como se aprecia en la figura, se registraron diferencias de temperaturas de pocos °C apenas. La variación de temperatura observada fue de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

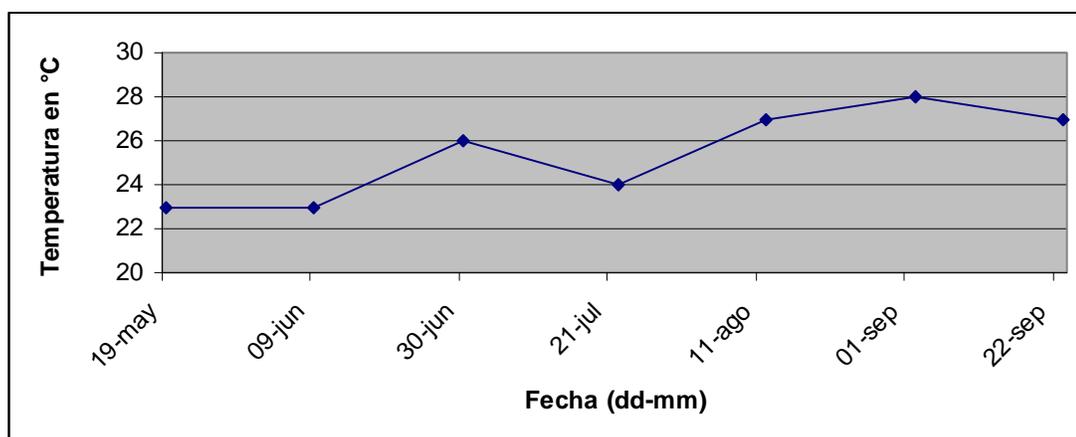


Figura 5.25 Gráfico representativo de la variación de temperatura entre los muestreos realizados al drenaje T.

pH

Los valores de pH en el agua del drenaje T variaron alrededor de la neutralidad en el intervalo 6,90 a 7,21, estos valores presentaron similitud a lo largo de todo el periodo de muestreo.

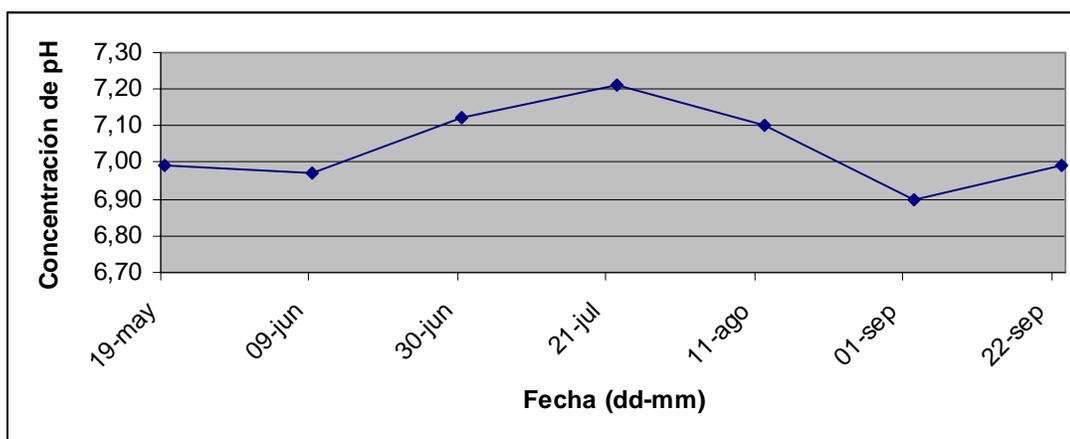


Figura 5.26 Gráfico representativo de la variación de pH entre los muestreos realizados al drenaje T.

5.3 Análisis estadístico de los resultados de los drenajes H y T

Al interpretar todas las concentraciones y valores resultantes de los parámetros obtenidos en el laboratorio y en campo, aplicando cálculos estadísticos se pudo establecer que la mayoría de los valores se encuentran asociados, guardando cada uno de ellos relación con los períodos lluviosos y de sequía registrados a lo largo de todo el período de muestreo en los drenajes H y T, por lo que se consideran valores promedio ya que provienen de muestras captadas en los dos periodos característicos de la zona estudiada.

Todos los parámetros físicos-químicos y bacteriológicos analizados estadísticamente se encuentran en el Anexo C, los valores promedios fueron comparados con la Norma Venezolana para la clasificación de los cuerpos de agua [15].

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El valor promedio de DQO del drenaje H fue de 154 mg/l y del drenaje T fue de 655 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para la DQO una concentración 350 mg/l, lo que implica que el valor del primer drenaje está por debajo del límite de la calidad del vertido y el valor arrojado por el segundo drenaje está por encima de la calidad del vertido.

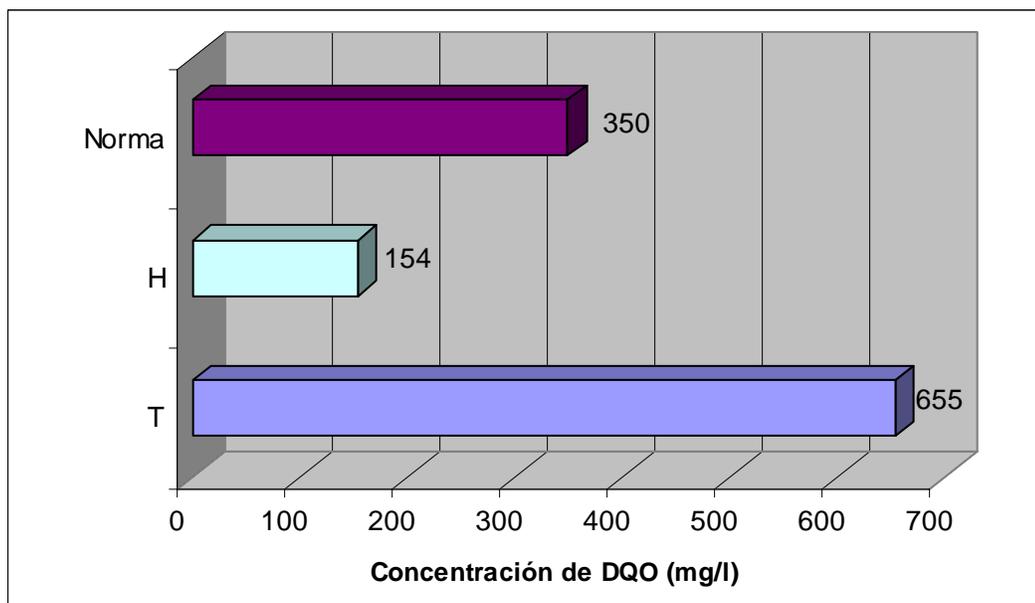


Figura 5. 27. Comparación de valores de la DQO con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días. (DBO₅)

El valor promedio del drenaje H fue de 43 mg/l y del drenaje T fue de 264 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para la DBO₅ una concentración de 60 mg/l, lo que implica que el valor del primer drenaje está por debajo del límite de la calidad del vertido y el valor arrojado por el segundo drenaje está por encima de la calidad del vertido.

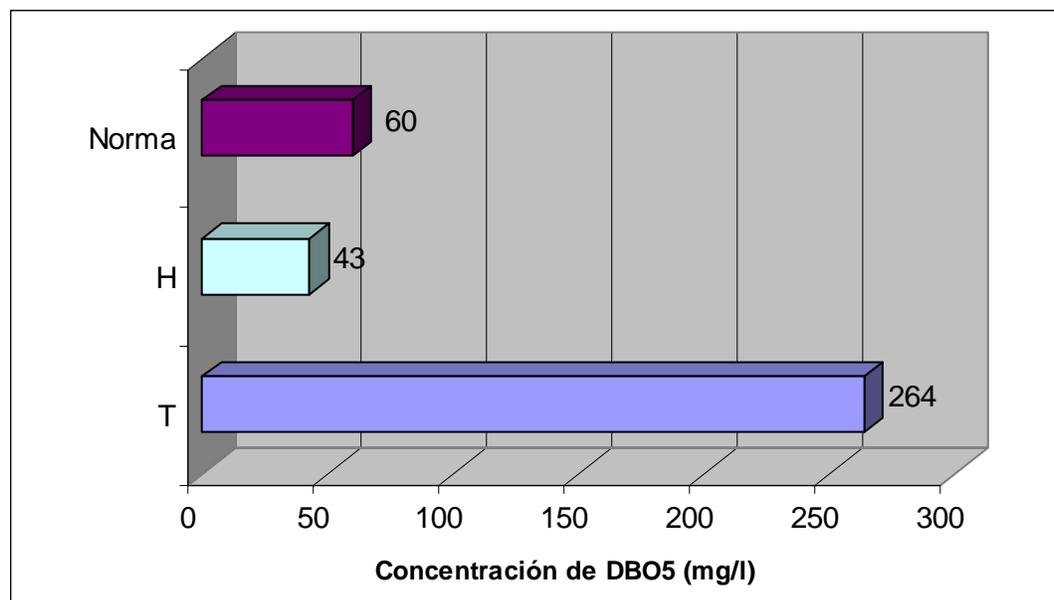


Figura 5.28. Comparación de valores de la DBO₅ con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Fósforo Total

El valor promedio del drenaje H fue de 4,64 mg/l y del drenaje T fue de 5,14 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para el Fósforo Total una concentración de 10 mg/l, lo que implica que el valor de cada drenaje está por debajo del límite de la calidad del vertido.

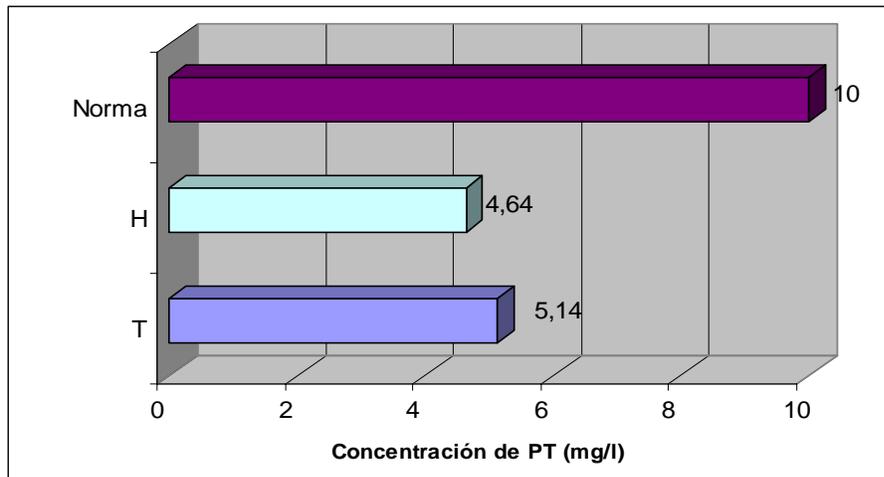


Figura 5.29. Comparación de valores de Fósforo Total con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Nitrógeno Total

El valor promedio del drenaje H fue de 38,61 mg/l y del drenaje T fue de 3,77 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para el Nitrógeno Total una concentración de 40 mg/l, lo que implica que el valor de cada drenaje está por debajo del límite de la calidad del vertido.

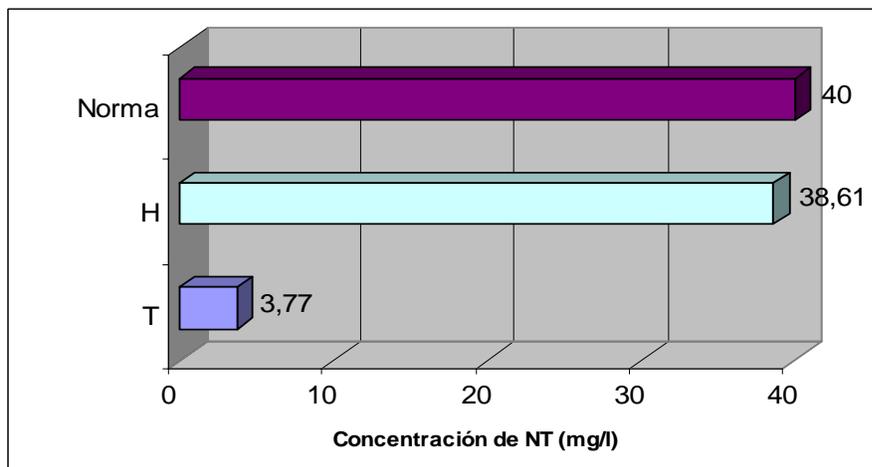


Figura 5.30. Comparación de valores de Nitrógeno Total con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Nitritos + Nitratos

El valor promedio del drenaje H fue de 19,09 mg/l y del drenaje T fue de 16,02 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para Nitritos + Nitratos una concentración de 10 mg/l, lo que implica que el valor de cada drenaje esta por encima del límite de la calidad del vertido.

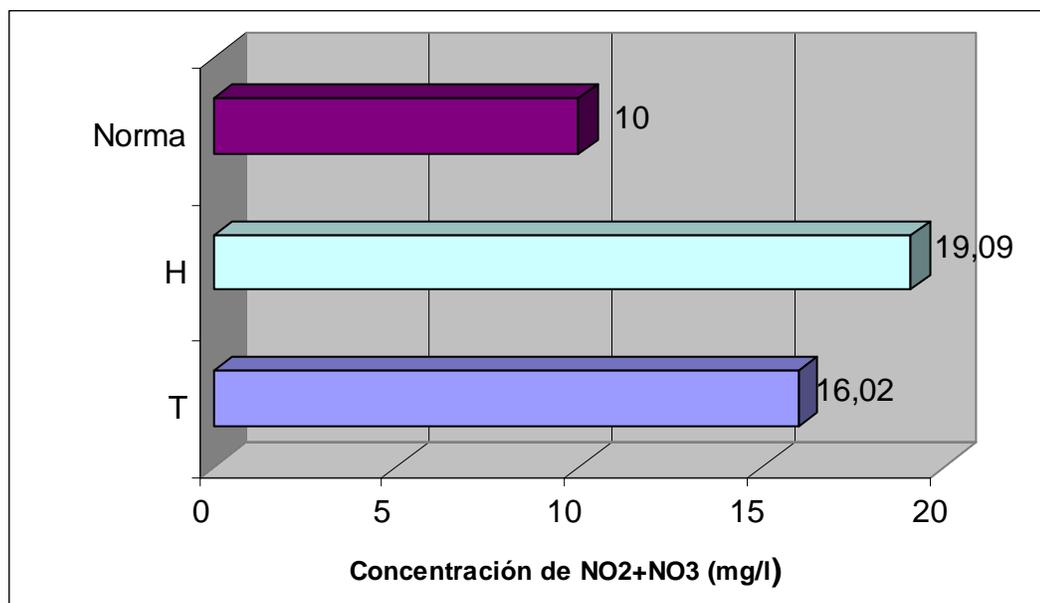


Figura 5.31. Comparación de valores de Nitritos + Nitratos con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Coliformes Totales

El valor promedio del drenaje H fue de $1,71 \times 10^7$ NMP/100ml y del drenaje T fue de $1,56 \times 10^6$ NMP/100ml. El Decreto 883 establece como límite máximo para los coliformes totales una concentración de 1000 NMP/100ml, lo que implica que el valor de cada drenaje esta por encima del límite de la calidad del vertido.

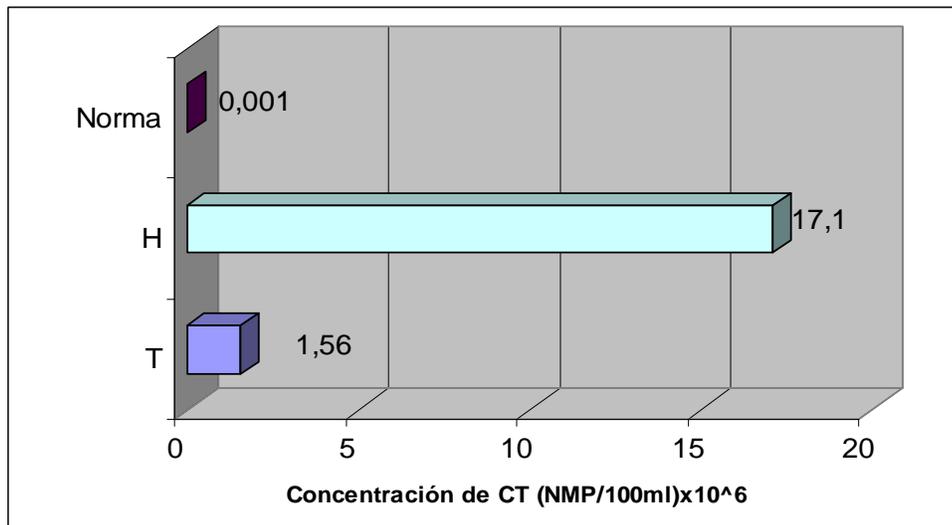


Figura 5.32. Comparación de valores de Coliformes Totales con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Coliformes Fecales

El valor promedio del drenaje H fue de $2,69 \times 10^6$ NMP/100ml y del drenaje T fue de $4,8 \times 10^5$ NMP/100ml. No se ha establecido límites de éste elemento en el Decreto 883.

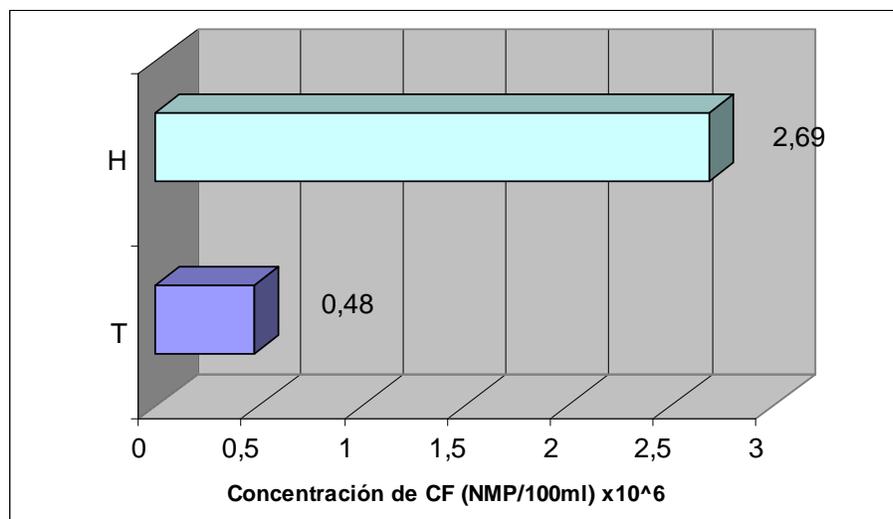


Figura 5.33. Valores de Coliformes Fecales

Sólidos Suspendidos Totales

El valor promedio del drenaje H fue de 110 mg/l y del drenaje T fue de 1182 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para los sólidos suspendidos totales una concentración de 80 mg/l, lo que implica que el valor de cada drenaje esta por encima del límite de la calidad del vertido.

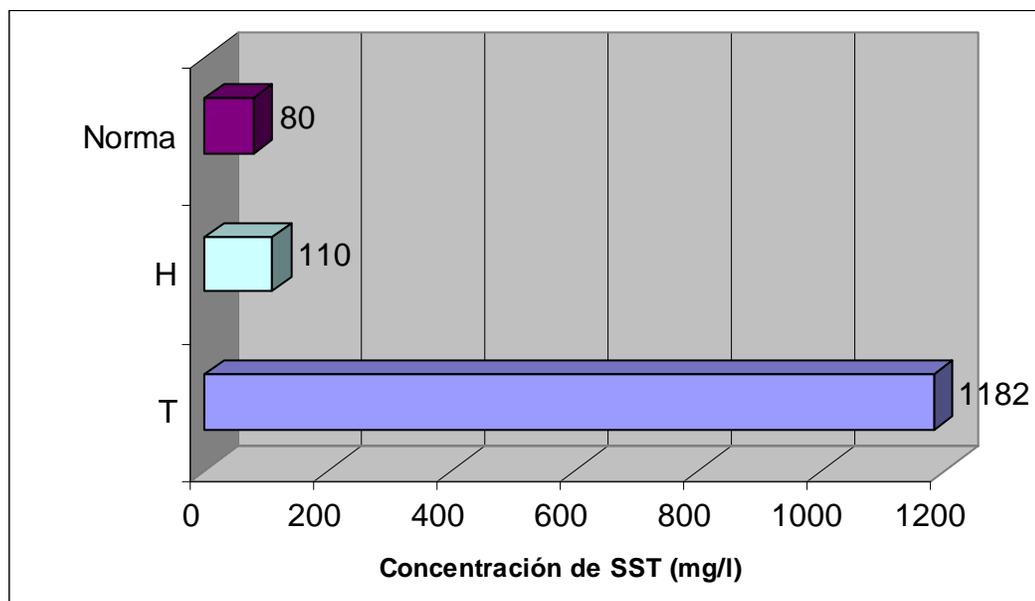


Figura 5.34. Comparación de valores de SST con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Aceites y Grasas

El valor promedio del drenaje H fue de 78 mg/l y del drenaje T fue de 42 mg/l. El Decreto 883 establece como límite máximo para los Aceites y Grasas una concentración de 20 mg/l, lo que implica que el valor de cada drenaje esta por encima del límite de la calidad del vertido.

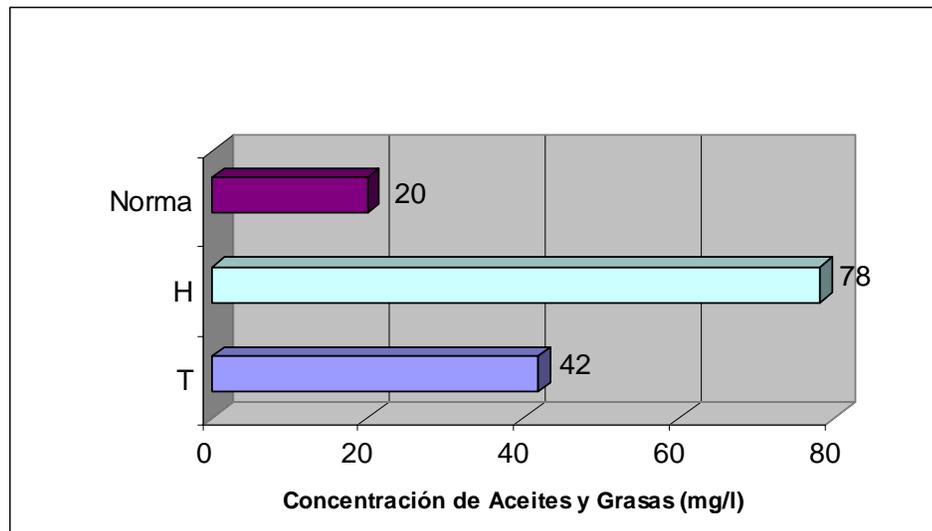


Figura 5.35. Comparación de valores de Aceites y Grasas con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

pH

El valor promedio del drenaje H fue de 6,91 y del drenaje T fue de 7,04. El Decreto 883 establece como intervalo para el pH entre 6 y 9, lo que implica que el valor de cada drenaje esta dentro de los límites de la calidad del vertido.

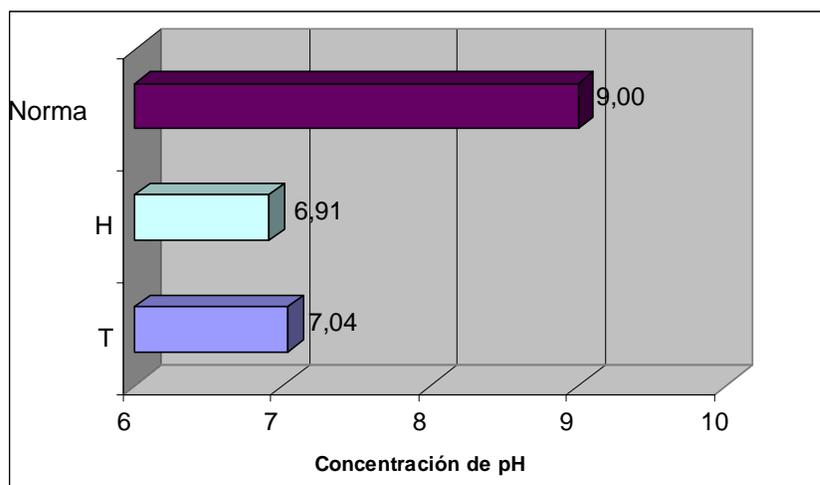


Figura 5.36. Comparación de valores de pH con el Artículo 10 del Decreto 883^[15]

Temperatura

El valor promedio del drenaje H fue de 24,28 °C y del drenaje T fue de 25,43°C. No se ha establecido límites de éste parámetro en el Decreto 883

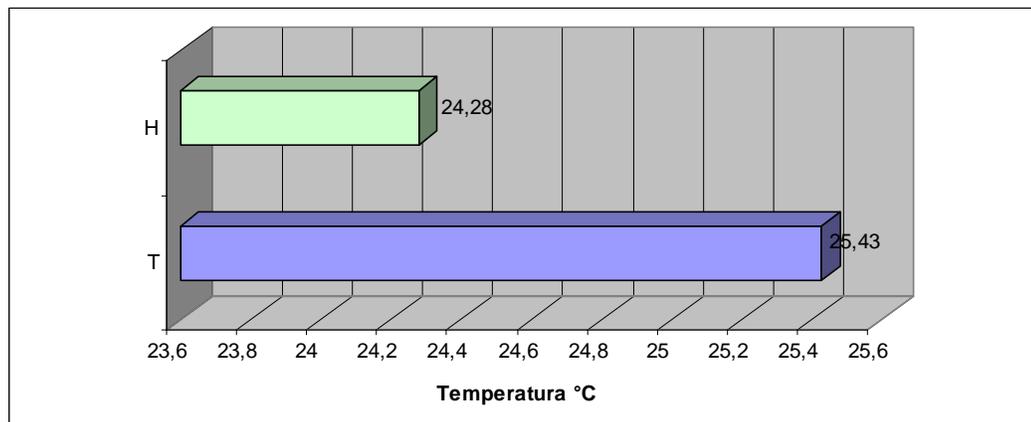


Figura 5.37. Valores de Temperatura

5.4 Características de las fuentes contaminantes de los drenajes H y T

En ésta sección se ubicaron los afluentes observados que contaminan las aguas de los drenajes H y T, el origen de sustancias orgánicas, inorgánicas y bacteriológicas. Con ayuda de los resultados y a través de frecuentes visitas de campo se puntualizaron los núcleos de los cuales se derivan sustancias contaminantes provenientes de la actividad humana.

A continuación se presentan las fuentes contaminantes de mayor relevancia para cada uno de los drenajes, localizadas y puntualizadas cada una de ellas mediante visitas de campo efectuadas durante la realización de este trabajo de investigación. Todas estas fuentes que se mencionan están íntimamente relacionadas con el

comportamiento de los valores obtenidos por los parámetros físico-químicos y bacteriológicos estudiados:

5.4.1 Drenaje H

- En intensos periodos lluviosos cuando el drenaje B alcanza altos niveles de agua ésta traspasa a través del aliviadero al drenaje H. El canal de Boyacá presenta actualmente altos niveles de contaminación debido a que éste está siendo destino de la descarga directa sin tratamiento alguno de la estación de bombeo de aguas negras Ezequiel Zamora ubicada en la Avenida 1 del Sector Boyacá II. Adicional a ésta descarga directa, las viviendas ubicadas a la margen del drenaje B están vertiendo sus aguas residuales al mismo. Por todas estas razones se considera éste una fuente importante que ha generado contaminación al drenaje H de manera periódica (Ver Fig. 5.38).

- Existe la presencia constante de desechos sólidos que abundan en la primera y la segunda estructura de paso. Por tratarse de estructuras de paso que comunican las Urbanizaciones Boyacá I y II con la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez, reciben la mayor responsabilidad de los desechos sólidos arrojados sin conciencia alguna los habitantes de ésta zona por ser ellos los que más frecuentan estas estructuras, ésta falta también es ocasionada por ciudadanos ajenos a estos sectores que en menores oportunidades transitan por estos caminos. Por otro lado, vecinos del sector Boyacá I muy cercanos al drenaje H disponen bolsas de basura bordeando gran parte de la margen del mismo, que por efectos del escurrimiento superficial son dispuestas finalmente en dicho drenaje. La causa principal de este amontonamiento de basura que, en parte, se debe a una ineficiente recolección por parte del aseo urbano, lo que trae como consecuencia la proliferación de fauna nociva (ratas, cucarachas, moscas, y mosquitos) y origina olores nauseabundos (Ver Fig. 5.39).

- Aproximadamente a 200 m de la Avenida “B” Boyacá paralela a la Avenida Intercomunal Jorge Rodríguez, se ubica una fuente contaminante que ha prevalecido a lo largo del tiempo, ya que según testimonios de vecinos ha estado presente desde hace mas de cinco años y por medio de visitas de campo efectuadas en meses anteriores se ha comprobado la existencia de este derrame de aguas negras hasta nuestros días, que finalmente caen directamente por medio de escurrimientos superficial al drenaje H. éstas aguas negras provienen de un bote en el sistema de aguas servidas de las urbanizaciones Boyacá I y II. De ésta fuente emanan olores putrefactos y ésta descarga se relaciona con la contaminación de desechos orgánicos que son descompuestos por bacterias que usan el oxigeno disuelto en el agua de este drenaje (Ver Fig. 5.40).

- En la segunda entrada de la Urbanización Fundación Mendoza se localiza un desbordamiento importante de aguas negras que surgió hace aproximadamente dos meses y que prevalece actualmente. El origen de éste bote continuo surge de una boca de visita que recolecta las aguas servidas de un sector considerable de ésta Urbanización. Junto a la boca de visita en cuestión se ubican sumideros que se encargan de conducir dichas aguas al drenaje H, de manera simultánea estos sumideros transportan aguas jabonosas provenientes de ciertas viviendas cercanas al drenaje. Se desconocen las razones del desbordamiento de la boca de visita, los organismos competentes aun están en búsqueda de la falla (Ver Fig. 5.41).

- La presencia de desechos sólidos prevalece en la cuarta estructura de paso específicamente junto al vivero “La Rosa”, que son arrojados la mayoría de las veces por habitantes de la urbanización Fundación Mendoza que efectúan la venta de comida rápida en sus viviendas los fines de semanas. Adicional a esto, a partir de esta estructura de paso los residuos sólidos se hacen presente a causa del escurrimiento superficial proveniente de Colinas del Neverí. Los desechos de este sector, son

depositados en los sumideros y que posteriormente con las aguas servidas provenientes de autolavados y viviendas son arrastrados hacia el drenaje. La descarga de este drenaje es un blanco atacado por transeúntes de la zona y de comerciantes, que a diario premeditadamente sitúan gran cantidad de basura en este punto (Ver Fig. 5.42).

- Los puestos de papeles ahumados ubicados a la margen del drenaje H son una fuente generadora de desechos sólidos de carácter inorgánico (bolsas, recipientes y restos de papeles). Se puede afirmar que estos vertidos de desechos sólidos son constantes, ya que estos establecimientos ejercen este tipo de labor durante todo el año. Cabe destacar que ninguno de estos puestos cuentan con recipientes para la disposición de este tipo de desecho, por lo que toman al drenaje H como depósito de basura generando el apilamiento de la misma, específicamente en los canales de agua de lluvia que llegan de Colinas del Neverí (Ver Fig. 5.43).

- En una jornada de limpieza del drenaje H realizada en la primera semana de Junio del año en curso, un colector que disponía las aguas residuales de una boca de visita ubicada cerca de la sexta estructura de paso que recoge las aguas servidas de parte de la urbanización Fundación Mendoza y de Boyacá V, sufrió una importante fractura con la maquinaria utilizada para efectuar esta jornada. Dada esta situación, la medida adoptada por los entes públicos (COVINEA) encargados de ésta limpieza fue conectar la descarga de ésta boca de visita de forma directa al drenaje H, situación que permanece vigente hasta el presente. Ésta descarga se considera como una potente fuente contaminante que genera cambios en el aspecto físico (olor y color), composición química y biológica de las aguas de éste drenaje. Dado éste contexto se puede apreciar la poca aplicación de las normas venezolanas ambientales para regular los usos y descargas posibles en cada cuerpo de agua (Ver Fig. 5.44).

- En la zona de Colinas del Neverí abundan una gran cantidad de autolavados que rebosan sus aguas jabonosas cargadas de sustancias aceitosas y de productos químicos de limpieza hacia las calles de este sector. Éstos líquidos residuales, a través de escurrimiento superficial llegan al drenaje H por medio de sumideros ubicados en las partes altas de las calles de Colinas del Neverí. Dichos autolavados ejercen jornadas de tiempo completo intensificándose los fines de semana, y es cuando se observan mayores vertidos al drenaje H por medio de los canales que conducen las aguas de lluvia de éste sector (Ver Fig. 5.45).

- Mediante la explotación demográfica del Cerro Venezuela, el material que se desprende del mismo forma una capa de tierra en las aceras y brocales ubicados en el borde, que posteriormente con las lluvias son arrastrados hacia el drenaje y se convierten en barro, lo que provoca que el agua proveniente del escurrimiento superficial de las calles y del cerro vengan cargadas con altas concentraciones de sólidos. Ésta fuente contaminante modifica las propiedades físicas de éste drenaje (color, olor, sólidos suspendidos totales).

5.4.2 Drenaje T

- La boca de visita ubicada en la Avenida 2 de Tronconal IV, aproximadamente a 500 m del drenaje T, que recolecta porción importante de aguas servidas de las Urbanizaciones de Tronconal IV y V, presenta un substancial desbordamiento que llega al drenaje por medio de escurrimiento superficial, cabe resaltar que estas aguas contienen grandes cantidades de materia orgánica que se manifiesta por sus altos valores en la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días: materias fecales y productos químicos de uso domestico. Estos desechos al ser conducidos al drenaje alteran la composición química de sus aguas, por lo que esta

adquiere olores desagradables y a su vez modifica su transparencia. Según testimonios de vecinos este bote de aguas negras tiene más de año y medio (Ver Fig. 5.46).

- La estación de bombeo de aguas negras Los Estudiantes ubicada en Tronconal IV opera con una bomba sin contar con un equipo adicional de reserva, y así como también carece de una planta eléctrica, por ende cuando ocurren fallas eléctricas en este sector la estación de bombeo paraliza sus actividades lo que conlleva a un rebose, cuyo recorrido se presenta en la Fig. 5.46, tiene como destino final el drenaje T, situación que se repite cuando la única bomba existente se daña. Igualmente, este rebose se pone de manifiesto en la boca de visita anteriormente mencionada.

- En la Avenida Principal de Tronconal cerca de 2 km del drenaje T, se localiza una fuente importante de contaminación, ocasionada por la obstrucción de un colector principal de $\varnothing = 18''$ que recibe las aguas negras las Urbanizaciones Tronconal III y IV, dicha obstrucción origina un derrame considerable y continuo de aguas servidas que por escurrimiento son conducidas a estructuras de captación de aguas de lluvia que finalmente llegan al drenaje T. En la siguiente figura se aprecia la trayectoria adoptada por este desborde (Ver Fig. 5.46).

- En la misma red de cloacas de Tronconal, un tramo de colector principal de $\varnothing = 18''$ a pocos metros del drenaje T detrás del centro asistencial de Tronconal V presenta una obstrucción generada fundamentalmente por falta de mantenimiento. Este atascamiento se pone de manifiesto en las calles adyacentes al drenaje con la presencia de las aguas negras que dicho colector conduce, llegando estos líquidos residuales, en su mayoría, al drenaje T por acción del escurrimiento superficial. Cabe destacar que sobre éste tramo de colector afectado hay viviendas construidas. (Ver Fig. 5.46).

- Según testimonios de vecinos cercanos al drenaje, se comprobó la existencia de empotramientos ilegales de aguas residuales de viviendas que van al drenaje T. Por colapsos de la red cloacal y de las instalaciones sanitarias de cada residencia, dichos habitantes por cuenta propia, realizaron estas conexiones clandestinas de aguas negras hacia el drenaje. Cabe destacar, que los vecinos en oportunidades anteriores habían reportado estas fallas en el sistema de aguas servidas a las autoridades competentes, pero por caso omiso de las mismas, los habitantes del sector afectado se vieron en la obligación de realizar este tipo de conexiones.

Entre otras de las fuentes causantes de la contaminación de éste canal son las descargas directas de aguas servidas de viviendas ubicadas en las adyacencias del drenaje T como se puede apreciar en la siguiente figura. Todas estas fuentes son las responsables de mantener un nivel considerable de agua durante todo el año independientemente de que la zona en estudio este en período de sequía (Ver Fig. 5.47).

- Toda la extensión del drenaje T esta siendo destinada como depósito de basura, de toda clase de desechos sólidos y sustancias aceitosas (pinturas, aceites de carro, etc) por parte de los habitantes de la zona, problemática que con el tiempo se ha ido agrandando. Éstos desperdicios, junto con la falta de un debido servicio público de aseo, origina la aglomeración de los mismos trayendo como consecuencia malos olores, roedores, moscas y un mal aspecto a la comunidad. Se consideran éstos desechos sólidos una potencial fuente contaminante por su abundancia, y su constante presencia haciendo así que se alteren las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua de éste drenaje (Ver Fig. 5.48 y 5.49).

CAPITULO 6: PROPUESTAS

Éste capítulo contiene las medidas preventivas y correctivas de los drenajes H y T basadas en los efectos de los agentes contaminantes, en su importancia e influencia, con la finalidad de controlar y aminorar la contaminación presente en las aguas de estos drenajes.

6.1 Drenaje H

- En cuanto a la contaminación generada por el Drenaje B, la estrategia debe basarse en el tratamiento previo de las aguas servidas descargadas de forma directa por la Estación de Bombeo Ezequiel Zamora hacia el mismo, que aunque pueda implicar un costo demasiado alto, este seguramente no rebasará los verdaderos daños causados a las aguas del drenaje H que finalmente son descargadas al mar. El tratar las aguas de esta estación tendría también la ventaja de que pudiera ser reutilizadas para riego de áreas verdes.

- La mejor propuesta para evitar la contaminación del agua causada por los desechos sólidos consiste en: 1) Mejorar el servicio de recolección; 2) Generar una verdadera cultura general en cada sociedad, que consista en la consolidación de principios y valores ambientales que fundamente el accionar de cada persona en pro del cuidado y respeto por las adyacencias y aguas del drenaje H. Esta cultura pudiera ser lograda, con una educación implementada por medio de la educación informal (por ejemplo los medios de comunicación), y de la formal (en todos los niveles de enseñanza).

- Los agentes reguladores con el apoyo estatal deben aplicar una reparación inmediata a los botes de aguas que actualmente afectan al drenaje H, específicamente

los ubicados en la Avenida “B” de Boyacá a 200 m aproximadamente de la misma y en la segunda entrada de la Urbanización Fundación Mendoza.

- De igual forma los organismos competentes deben aplicar acciones de mantenimiento preventivo a los sistemas de recolección cloacal de las Urbanizaciones Boyacá I, Boyacá II y Fundación Mendoza a su debido tiempo para prevenir daños mayores en las instalaciones (obstrucciones de colectores, derrame de cloacas) y de esa forma asegurar la no contaminación del drenaje H.

- El bote del material sobrante proveniente del Cerro Venezuela durante trabajos y construcciones realizadas muy próximos a el, debe realizarse en un lugar seguro y autorizado por la Alcaldía. Este bote debe efectuarse en zonas que por acciones del escurrimiento superficial no sea arrastrado hacia los canales de lluvias que se dirigen al drenaje H, evitando así el exceso del material en suspensión en las aguas de dicho drenaje.

- En cuanto a los autolavados que descargan sus aguas servidas al drenaje H, deben de canalizar las mismas al sistema de recolección más cercano, con el fin de evitar más vertidos cargados de detergentes y productos químicos que contribuyen con el deterioro de las aguas de este drenaje.

- Realizar jornadas de limpieza al Drenaje H, con la finalidad de remover y despejar la actual cantidad excesiva de vegetación, de lodo depositado en el fondo y de desechos sólidos que contiene el mismo. Así como también mejorar la eficiencia del servicio público de aseo con la finalidad de evitar acumulaciones de basura en la margen de este drenaje.

- Los organismos competentes deberán chequear las pendientes de diseño de

este drenaje, para descartar que el estancamiento del agua se deba a una modificación de éste parámetro en campo.

6.2 Drenaje T

- Los agentes reguladores con el apoyo estatal deben aplicar una corrección inmediata al desbordamiento de aguas negras, proveniente de la boca de visita ubicada en la Avenida 2 de Tronconal a 500 metros del Drenaje T aproximadamente, que actualmente afecta a las aguas del mismo. Así como también se propone realizar una inspección regular que comprenda la revisión de dicha boca de visita, la cual se podrá ejecutar mensual o anualmente.

- Los organismos competentes del estado deben corregir rápidamente los desbordamientos de aguas negras, provenientes del colapso de puntos (explicados anteriormente) del colector principal $\varnothing = 18''$ que dispone las aguas de los sectores Tronconal III, IV y V. Igualmente, dichos organismos deberán aplicar acciones de mantenimiento preventivo al sistema de recolección cloacal de Tronconal III, IV y V a su debido tiempo para prevenir obstrucciones y derrames en colectores secundarios y primarios de la zona, para así asegurar la no contaminación de las aguas del drenaje T de esa forma.

- Las autoridades competentes deben prohibir y sancionar la construcción de viviendas sobre el sistema de recolección de aguas servidas de los sectores Tronconal III, IV y V, ya que esto impide y entorpece las acciones correctivas y preventivas que se deben de aplicar a dicho sistema.

- En cuanto a la estación de bombeo Los Estudiantes, ubicada en Tronconal IV, deberá ser provista de una planta generadora de energía eléctrica, con el fin de evitar

la paralización del sistema de impulsión cuando ocurran fallas y/o interrupciones eléctricas en el sector, evitando así el rebose hacia las calles de aguas negras que una vez conducidas al drenaje T contamina severamente sus aguas. Esta estación también deberá ser dotada de un equipo de reserva, con funcionamiento alterno que trabaje al 100% de la capacidad de la bomba que actualmente posee el sistema, en caso de que esta presente alguna falla o requiera de mantenimiento.

- Aplicar mantenimiento preventivo a la estación de bombeo Los Estudiantes (equipos, válvulas, rejilla de retención de sólidos, entre otros) a su debido tiempo para prevenir daños mayores en las instalaciones, para así asegurar un continuo servicio a los usuarios y evitar colapsos en el sistema de recolección de aguas negras, que posteriormente ocasionan desbordes que finalmente serían conducidos hacia el drenaje T por escurrimiento.

- En cuanto a los empotramientos ilícitos de aguas negras y descargas directas de aguas grises dirigidos hacia el drenaje T, se deben aplicar medidas por los agentes reguladores que permitan la conexión de estos vertidos hacia el sistema de recolección de aguas servidas del sector de Tronconal V. En caso de persistir de esta situación por parte de los habitantes, estos agentes reguladores deberán aplicar las sanciones establecidas en las normativas pertinentes.

- Ejecutar jornadas de limpieza al drenaje T, con la finalidad de remover y despejar la actual cantidad excesiva de basura, de vegetación y otros desechos que contiene el mismo.

- Mejorar la eficiencia del servicio público de aseo con la finalidad de evitar acumulaciones de basura en la margen de este drenaje.

- Los organismos competentes deberán chequear las pendientes de diseño de este drenaje, para descartar que el estancamiento del agua se deba a una modificación de éste parámetro en campo.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 Drenaje H

- El valor promedio de DQO fue de 154 mg/l y alcanza casi la mitad del establecido como límite siendo éste de 350 mg/l, mientras que el valor promedio de la DBO₅ fue de 43 mg/l estando próximo al límite establecido de 60 mg/l, por lo que indicando que en el agua de éste drenaje predomina la materia orgánica biodegradable.

- La concentración promedio de Fósforo total contenida en éste drenaje fue de 4,64 mg/l estando éste valor por debajo de la mitad del límite fijado como máximo. El valor de Nitrógeno Total fue de 38,61 mg/l valor que está cercano al establecido por Norma. La suma de las concentraciones de Nitritos y Nitratos fue de 19,09 mg/l, cantidad que sobrepasa casi el doble de la fijada. Estos números indican que las formas de Nitrógeno que abundan son el Amoniacal y el Orgánico (NT), y los nutrientes que se presentan en menor cantidad son Nitritos, Nitratos, y Fósforo lo que refleja que estos son los principales nutrientes consumidos por la vegetación abundante en el drenaje, y que las formas de Nitrógeno que contaminan potencialmente son los Nitritos y Nitratos.

- El valor de Coliformes Totales fue de $1,71 \times 10^7$ NMP/100ml el cual sobrepasa el límite permisible por la Norma Venezolana ^[15] y el de Coliformes Fecales fue de $2,69 \times 10^6$ NMP/ml evidenciando una clara presencia de aguas residuales domésticas en el drenaje. Ambos valores indican una gran contaminación microbiana en las aguas del drenaje.

- El valor de SST en el drenaje H fue de 110 mg/l y el de Aceites y Grasas 78 mg/l, ambos sobrepasan el límite establecido siendo 80 mg/l para el primero y 20 mg/l para el segundo respectivamente. Lo que dice que hay bastante material en suspensión y en la superficie del agua.

- El promedio de la temperatura fue de 24,28 °C y del pH de 6,91. El valor de la temperatura se acerca al rango óptimo para el desarrollo de la actividad microbiana que está comprendido entre 25 y 35 °C. El valor adecuado para el desarrollo de la actividad microbiana está comprendido entre 5 y 9, estando el pH de éste drenaje justo en la mitad de éste rango.

- La ausencia de una educación ambiental, de valores por parte de los ciudadanos, de escaso mantenimiento y del no cumplimiento de la normativa venezolana^[15] por parte de las organismos competentes, trae como consecuencia el vertido constante de desechos sólidos y líquidos residuales hacia las aguas del drenaje.

7.1.2 Drenaje T

- El valor promedio de DQO del drenaje T fue de 655 mg/l y sobrepasó el límite establecido, mientras que el valor promedio de la DBO₅ fue de 264 mg/l estando muy por encima de 60 mg/l que es el límite establecido. La diferencia en la que se excedieron éstos parámetros con respecto a su límite fue proporcional, es decir ambos sobrepasaron casi el doble de lo establecido para cada uno de ellos, por lo que se dice que el drenaje esta altamente contaminado desde el punto de vista orgánico.

- La concentración promedio de Fósforo total contenida en éste drenaje fue de 5,14 mg/l estando éste valor cercano a la mitad del rango fijado como máximo. El

valor de Nitrógeno Total fue de 3,77 mg/l valor que está lejano al establecido por Norma. La suma de las concentraciones de Nitritos y Nitratos fue de 16,02 mg/l, cantidad que sobrepasa a la fijada siendo de 10 mg/l. Estos números reflejan que las formas de Nitrógeno que abundan son el Nitrito y el Nitrato, y los nutrientes que se presentan en cantidades mas limitadas son el Nitrógeno y el Fósforo lo que refleja que estos son los principales nutrientes consumidos por la vegetación abundante en el drenaje, y que las formas de Nitrógeno que contaminan potencialmente son los Nitritos y Nitratos.

- El valor de Coliformes Totales fue de $1,56 \times 10^6$ NMP/100ml el cual no está dentro de los rangos permisibles por la Norma Venezolana y el de Coliformes Fecales fue de $4,80 \times 10^5$ NMP/ml evidenciando una clara presencia de materia fecal en el drenaje. Ambos valores indican una severa contaminación microbiana en las aguas del drenaje.

- El valor de SST en el drenaje T fue de 1182 mg/l y el de Aceites y Grasas 42 mg/l, ambos sobrepasan el límite establecido para cada uno de ellos. Esta elevada concentración de Sólidos Suspendidos Totales marcan la presencia indiscutible de contaminación por esta materia en suspensión.

- El promedio de la temperatura fue de 25,43 °C y del pH de 7,04. El valor de la temperatura iguala el menor límite establecido en el rango óptimo para el desarrollo de la actividad microbiana que está comprendido entre 25 y 35 °C. El valor adecuado para el desarrollo de la actividad microbiana está comprendido entre 5 y 9, estando el pH de éste drenaje justo en la mitad de éste rango.

- La inexistencia de una educación ambiental, la ausencia de valores por parte de los ciudadanos, de ineficiente mantenimiento y del no cumplimiento de la

normativa venezolana^[15] por parte de los organismos competentes, trae como consecuencia el vertido constante de desechos sólidos y líquidos residuales hacia las aguas del drenaje.

7.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda que los organismos competentes, con el apoyo estatal, cumplan de forma inmediata las propuestas establecidas en ambos drenajes para disminuir el nivel de contaminación. Así como también, se recomienda que dichas entidades públicas establezcan un plan de vigilancia para que estas medidas permanezcan constantes durante el tiempo, evitando a futuro un agravamiento de la problemática de estos drenajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Paliche, J. y López, J 2007. **“Evaluación del sistema de tratamiento de aguas servidas de la población de Aragua de Barcelona, Municipio Aragua, Estado Anzoátegui”**, Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Barcelona, Venezuela.
- [2] Barrios A. y Cañizares N. 2001. **“Estudio Preliminar De La Calidad Bacteriológica De Las Aguas Del Río Neverí, Barcelona, Venezuela”**, Universidad de Oriente - Núcleo Anzoátegui.
- [3] Cordero, E. y Morales, D. 1999. **“Indicadores Microbiológicos de Contaminación, su Utilidad en Estudios de Calidad de Agua”**, Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Barcelona, Venezuela.
- [4] Merrit, F.; Loftin, K.; Ricketts, J. 2006. **“Manual del Ingeniero Civil”**, Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición.
- [5] González L., 2003. **“Hidrología para Ingeniería Civil”**, Fondo Editorial Universidad de Oriente.
- [6] Bolinaga, J. 1979. **“Drenaje Urbano”**, M.A.R.N.R. – I.N.O.S.
- [7] Febres M., **“Principales Problemas Ambientales en Venezuela”**, Editorial Fundación de Educación Ambiental (FUNDAMBIENTE), Primera Edición.
- [8] Díaz, Z. 2004, **“Ambiente y Desarrollo Sostenible en Venezuela”**. Fondo Editorial Universidad Nacional Abierta. Estudios Generales. Primera reimpresión.

[9] Fundación MAPFRE. 2000. **“Manual de Contaminación Ambiental”**, Editorial MAPFRE ITSEMAP AMBIENTAL, Segunda Edición.

[10] COVENIN. Norma venezolana COVENIN 2709 – 2002. **“Aguas naturales, industriales y residuales. Guía para las técnicas de muestreo”** Primera Revisión.

[11] Corbitt, R. 2003. **“Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”**, Editorial Mc. Graw Hill. Segunda Edición.

[12] Metcalf y Eddy. 1985 **“Ingeniería de Aguas Residuales”**, Volumen I. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Editorial Limusa. Tercera Edición. Ciudad de México, México.

[13] Crites, R. & Tchobanoglous, G. 2000. **“Sistemas de manejo de aguas residuales para Núcleos Pequeños y Descentralizados”**, Editorial McGraw-Hill Interamericana, S. A.

[14] Murray, S. 1991. **“Estadística”**, Editorial Mc Graw-Hill. Segunda Edición. Ciudad de México, México.

[15] M.A.R.N. y M.I.N.D.U.R. 1995. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5021, mediante la cual se dictan las “Normas para la Clasificación y el Control de Calidad de los Cuerpos de Aguas y sus Vertidos o Efluentes Líquidos”.

[16] MARTINEZ CONSULTORES S.A. 1992. **“Proyecto de Colectores Primarios y Descarga al Mar de los Drenajes de la Margen Derecha del Río Neverí, en la Ciudad de Barcelona Estado Anzoátegui”**, Caracas, Venezuela.

[17] **AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (APHA-AWWA-WEF).** 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th Edition. Washington, USA.

[18] Sawyer y McCarty. 1978. “**Series in Water Resources and environmental engineering**”. Ediciones McGraw-Hill Interamericana, S.A.. Tercera Edición, Washington USA.

[19] Astor, Y. 1996. “**Manual de Análisis de Aguas para la Acuicultura y las Ciencias del Mar**”. Fundación la Salle de Ciencias Naturales. Colección cuadernos Flasa. Serie Ciencia y Tecnología N° 8. Caracas, Venezuela.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	Estudio de la contaminación de los drenajes H y T, municipio Simón Bolívar, estado Anzoátegui.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Villalobos Morales Zuleika Coromoto	CVLAC: 18.286.605 E MAIL: zmv8@hotmail.com
Cacharuco Ojeda Rocío Magdalena	CVLAC: 17.536.241 E MAIL: rocio.ojeda24@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Aguas Residuales

Contaminación

Decreto 883

Drenajes

Parámetros físico-químicos y bacteriológicos

Fuentes Contaminantes

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

El siguiente trabajo fue basado en el estudio de la contaminación de los drenajes H y T que son parte del sistema de drenaje urbano de la ciudad de Barcelona ubicado en la margen derecha del río Neverí, descargando sus aguas directamente en el mar sin tratamiento alguno. Es por ello que se procedió a realizar la caracterización físico-química y bacteriológica de los mismos, mediante la recolección de muestras de las aguas de los drenajes durante un tiempo significativo. Los estudios aplicados a éstas muestras fueron temperatura, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (NT), Nitritos +Nitratos, Fósforo Total (PT), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF) y Aceites y Grasas. Adicionalmente en el punto de muestreo de cada drenaje se midió la altura de agua para mejor interpretación de resultados. El análisis de las aguas de los drenajes H y T arrojó resultados que indicaron un alto nivel de concentración de los parámetros en ambos drenajes, por lo que fue necesario determinar las fuentes contaminantes de los mismos y posteriormente elaborar propuestas que aminoren y/o eliminen los vertidos de sustancias contaminantes provenientes de la actividad humana.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ghanem Ana	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	5.396.725			
	E_MAIL	Ana_ghanem@hotmail.com			
	E_MAIL				
Ramírez María	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	13.766.690			
	E_MAIL	Tocho2@gmail.com			
	E_MAIL				
Pinto Blas	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.487.446			
	E_MAIL	blaspinto@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN

2010	02	12
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.drenajesHyT.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil_____

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado_____

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Civil_____

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/ Núcleo de Anzoátegui_____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

Artículo 41: “Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”.

Zuleika C., Morales V.

AUTOR

Rocío M., Ojeda C.

AUTOR

Ana Ghanem

TUTOR

Blas Pinto

JURADO

María Ramirez

JURADO

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS