

**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS
AGUAS CLARAS, PUENTE BLANCO, EL BOTELLO Y YERBABUENA
EN SU PASO POR EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA**

Francy Carolina Bolaños López



**UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2008**

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería Ambiental**

**Diagnóstico de la Calidad del Agua de las Quebradas Aguas Claras, Puente
Blanco, El Botello y Yerbabuena en su paso por el Relleno Sanitario Doña
Juana**

**Informe de práctica para optar al título de
Ingeniera Ambiental**

**Director
Alfonso Avellaneda**

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

SUSTENTACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO Y PRÁCTICAS EMPRESARIALES

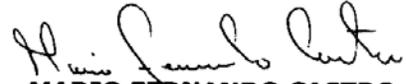
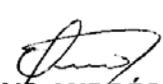
ACTA No: 198

El día jueves 22 de mayo de 2008 se reunieron en las instalaciones de la Universidad El Bosque los miembros del Comité de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Ambiental, los jurados de la práctica empresarial y el estudiante **FRANCY CAROLINA BOLAÑOS LÓPEZ** identificada con cédula de ciudadanía No.36293346 de Pitalito - Huila, con el fin de asistir a la sustentación de la práctica empresarial, titulada "**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS QUEBRADAS AGUAS CLARAS, PUENTE BLANCO, EL BOTELLO Y YERBABUENA EN SU PASO POR EL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA**", como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Ambiental.

Dicho trabajo fue: **Aprobado.**

En constancia se firma en Bogotá, el 22 de mayo de 2008.

Firman:

 <p>JULIA MILENA SOTO M. Jurado</p>	 <p>JOSÉ ALFONSO AVELLANEDA Director</p>	 <p>JULIAN FEDERICO PINO F. Jurado</p>
 <p>MARIO FERNANDO CASTRO Decano</p>	 <p>GUSTAVO ANDRÉS CONTRERAS Secretario Académico</p>	

NOTA DE SALVEDAD

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas las oportunidades que me dio durante mi formación académica en la universidad.

A mi familia que es la fuerza, el motivo y la ilusión para poder lograr mis sueños.

A todos los profesores que participaron en el proceso de mi formación académica, personal y profesional, gracias por sus aportes y consejos.

Al profeso Alfonso Avellaneda por su asesoría en la ejecución y presentación de este trabajo.

A Consultoría Colombia S.A. y a la Interventoría HMV-CONCOL, por la oportunidad de realizar mi práctica empresarial y por el apoyo que me brindaron con la información requerida para este trabajo.

A mis amigas que también fueron parte de mi proceso académico y personal, gracias por las experiencias que vivimos juntas, los consejos y el apoyo.

Y a todas aquellas personas que me ofrecieron su apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo enmarca muchos sentimientos que diferentes personas suscitaron.

Lo dedico a ellos que fueron el motivo principal de este logro

Abuelo Misael, aunque no está tu cuerpo para presenciar este logro, el recuerdo de tu sonrisa me asegura que al igual que yo, estas feliz porque alcancé mi sueño superando tantos obstáculos con la fuerza y valentía que solías enseñarme.

A abuela Stella, porque siempre te sientes orgullosa de mi.

A mis padres, María Edilma López y Luis Alfredo Bolaños, lo logramos, pues este sueño también era de ustedes. Gracias a los dos, pues sus esfuerzos y sacrificios son el fruto de esta realidad, gracias y Dios los bendiga por tanto que me han dado durante todo este tiempo, los quiero mucho.

A mis hermanos, les dedico mi triunfo, ya que el impulso y fuerza que me brindaron para no desfallecer en aquellos momentos en que el camino parecía difícil, es el resultado de este sueño cumplido.

A mis tías y tíos, porque son la base de mi familia, porque gracias a su cariño soy una mujer que es capaz de lograr sus sueños.

Y finalmente, a ti amor, Oscar Darío Becerra, pues trajiste a mi vida la ilusión del verdadero amor, de lo que se siente y se dice, de lo que se vive y no se calla, de todo aquello se sueña y se lucha.

Tu tiempo y tu compañía son parte de este logro. TE AMO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
1. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3. ANTECEDENTES	7
4. MARCO DE REFERENCIA	9
4.1 DEFINICIÓN COLOMBIANA DE LOS RESIDUOS (DECRETO 4741 DE 2005) ...	9
4.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.....	9
4.2.1 Clasificación por estado.....	9
4.2.2 Clasificación por origen.....	10
4.3 PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC).....	11
4.3.1 Estimación teórica de Producción per cápita (PPC).....	12
4.4 COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS	13
4.5 DISPOSICIÓN FINAL	15
4.5.1 Rellenos Sanitarios	15
4.5.1.1 Criterios Ambientales en Rellenos Sanitarios	16
4.5.1.2 Actividad Biológica dentro del Relleno Sanitario.....	17
4.5.1.3 Producción de lixiviados.	18
4.5.1.4 Impermeabilización del fondo del Relleno.....	20
4.5.1.5 Control de los lixiviados.....	22
4.5.2 IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS QUE PUEDEN AFECTAR EL RECURSOS HÍDRICO	22
4.5.2.1 Impactos ambientales en la etapa de habilitación.....	22
4.5.2.2 Impactos ambientales en la etapa de operación y construcción del relleno	23
4.5.2.3 Impactos ambientales en la etapa de clausura	23
5. MARCO CONCEPTUAL	24
5.1 Aguas Residuales.....	24
5.2 Aguas subterráneas	24
5.3 Contaminación hídrica superficial.....	25
5.4 Lixiviados	25
5.5 Pondaje	25
5.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	26
5.7 Demanda Química de Oxígeno.....	26
5.8 Oxígeno Disuelto.....	27
5.9 Nitrógeno.....	27
5.10 Fósforo.....	27
5.11 Potencial de Hidrógeno (pH).....	28
5.12 Sólidos Suspendidos	29
5.13 Conductividad.....	29
6. MARCO NORMATIVO	30
6.1 Decreto 1594 de 1984.....	30
6.2 Resolución 3358 de 1990	32
7. MARCO DE REFERENCIA.	34

7.1	GENERALIDADES BIOGEOGRÁFICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	34
7.2	QUEBRADA AGUAS CLARAS	34
7.3	QUEBRADA PUENTE BLANCO	35
7.4	QUEBRADA EL BOTELLO.....	35
7.5	QUEBRADA YERBABUENA.....	36
8.	METODOLOGIA.....	38
9.	RESULTADOS	39
9.1	MONITOREO CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL. RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA	39
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
10.1	QUEBRADA AGUAS CLARAS	56
10.2	QUEBRADA PUENTE BLANCO	57
10.3	QUEBRADA EL BOTELLO.....	58
10.4	QUEBRADA YERBABUENA.....	59
10.5	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN DE LAS QUEBRADAS AGUAS CLARAS, PUENTE BLANCO, EL BOTELLO Y YERBABUENA	60
11.	CONCLUSIONES.....	65
12.	RECOMENDACIONES	66
13.	BIBLIOGRAFÍA	69
14.	ANEXOS	70

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Composición física de los residuos sólidos domésticos que llegan al Relleno sanitario Doña Juana.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2. Factores ambientales involucrados en la selección de sitios para rellenos sanitarios</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3 Caracterización fisicoquímica del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4 Valores máximos Decreto 1594 de 1984, para Uso Agrícola</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 5. Concentración máxima de los parámetros químicos según Resolución 3358 de 1990</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 6. Monitoreo histórico quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 7. Monitoreo histórico quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Monitoreo histórico quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 9. Monitoreo histórico quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10. Valoración de los factores de riesgo.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 11. Niveles de vulnerabilidad.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 12. Matriz de calificación de los factores de riesgo.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 13. Rangos de vulnerabilidad</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 14. Matriz de Vulnerabilidad.....</i>	<i>64</i>

INDICE DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1. Composición porcentual de los residuos sólidos (% p/p)- Julio/2007</i>	14
<i>Gráfica 2. Variación en la concentración de DBO vs. Oxígeno Disuelto, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.</i>	41
<i>Gráfica 3. Variación en la concentración de DBO vs. Fósforo, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.</i>	42
<i>Gráfica 4. Variación en la concentración de DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.</i>	43
<i>Gráfica 5. Variación en la concentración de la DBO vs. OD, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.</i>	45
<i>Gráfica 6. Variación en la concentración de la DBO vs. Fósforo, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.</i>	46
<i>Gráfica 7. Variación en la concentración de la DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.</i>	47
<i>Gráfica 8. Variación en la concentración de DBO vs. OD, quebrada El Botello. . Abril/2006 – julio/2007.</i>	49
<i>Gráfica 9. Variación en la concentración de DBO vs. Fósforo, quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.</i>	50
<i>Gráfica 10. Variación en la concentración de DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.</i>	51
<i>Gráfica 11. Variación en la DBO vs. OD, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.</i>	53
<i>Gráfica 12. Variación en la DBO vs. Fósforo, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.</i>	54
<i>Gráfica 13. Variación en la DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.</i>	55

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1. Quebrada Aguas Claras. Relleno Sanitario Doña Juana</i>	34
<i>Fotografía 2. Quebrada Puente Blanco. Relleno Sanitario Doña Juana.</i>	35
<i>Fotografía 3. Quebrada El Botello. Relleno Sanitario Doña Juana</i>	36
<i>Fotografía 4. Quebrada El Botello. Relleno Sanitario Doña Juana</i>	36

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<i>Diagrama 1. Marco metodológico para el diagnóstico de la calidad de las quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello y Yerbabuena</i>	38
---	----

INTRODUCCIÓN

El predio de Doña Juana se localiza en la Localidad de Ciudad Bolívar, al sur de la ciudad de Bogotá y cuenta con una extensión de 467 hectáreas (Ha) de las cuales han sido rellenadas más de 170 Ha. El Relleno Sanitario de Doña Juana se ha constituido en el sitio para la disposición de los residuos sólidos urbanos generados en Bogotá, desde noviembre de 1,998. Actualmente cuenta con 7 zonas rellenadas (Antigua, Mansión, Zona I, Zona II, Zona IV y Área 2 y Zona VII) y un área en operación (Zona VIII).

Desde el inicio de su operación se han dispuesto en este relleno **18'500.000** toneladas de residuos en 7 zonas. En este momento se encuentra en operación la denominada **Zona VIII** del relleno, construida y operada bajo estándares avanzados, es decir con sistemas de geomembranas, redes de colección de lixiviados y gases.

En el presente informe, se hace un diagnóstico mediante el análisis del impacto que se puede presentar sobre elementos del medio físico-biótico; como los son los cuerpos de aguas que se localizan dentro del predio del Relleno, como consecuencia de la disposición y descomposición de los residuos sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario Doña Juana.

1. JUSTIFICACIÓN

Los lixiviados son líquidos producto de la descomposición de los residuos sólidos que se disponen en los rellenos sanitarios. La producción de lixiviados es variable dependiendo de: la cantidad y tipo de residuos que se descomponen, la humedad de éstos, la temperatura ambiente, el contenido de agua, oxígeno y el régimen de lluvia de la zona en donde se disponen.

Se constituyen como contaminantes por su contenido de materia orgánica, metales pesados, sólidos en suspensión y disueltos, sales de amonio y sales disueltas monovalentes como los cloruros.

El Relleno Sanitario Doña Juana cuenta con un sistema de captación y transporte de estos residuos líquidos hasta la planta de tratamiento de lixiviados STL, cuya función es disminuir la carga contaminante que éstos tienen y así reducir los impactos ambientales que se puedan generar en los cuerpos de agua que se encuentran dentro y fuera del relleno.

Para el control y verificación de los posibles impactos negativos que puede tener la descomposición de los residuos sólidos que llegan al Relleno Sanitario Doña Juana, se realizan desde el año 2002, monitoreos de parámetros fisicoquímicos a los cuerpos de agua que se encuentran en el Relleno.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Establecer la calidad del agua de las Quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello, y Yerbabuena en su paso por el Relleno Sanitario Doña Juana, teniendo en cuenta las características físico-químicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un diagnóstico basado en los resultados de los monitoreos ambientales realizados en el período de Abril 2006 a Julio de 2007, para la calidad del agua de las Quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello, y Yerbabuena, que hacen parte de la oferta ambiental en el área de influencia del Relleno Sanitario Doña Juana.
- Hacer un análisis cuantitativo y cualitativo de los parámetros fisicoquímicos medidos en los monitoreos ambientales entre Abril de 2006 a Julio de 2007 para la calidad del agua de las Quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello, y Yerbabuena que se pueden estar afectadas por la operación del Relleno Sanitario Doña Juana.
- Determinar los posibles eventos que contribuyeron a la variación de la calidad del agua de las Aguas Claras, Quebradas Puente Blanco, El Botello, y Yerbabuena en su paso por el Relleno Sanitario Doña Juana.
- Plantear alternativas de protección y recuperación de la calidad del agua de las Quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello, y Yerbabuena, en su recorrido por el Relleno Sanitario Doña Juana ya que son tributarias del Río Tunjuelo.

3. ANTECEDENTES

El Relleno Sanitario Doña Juana está localizado en jurisdicción del municipio anexado de Usme, al sur de la Sabana de Bogotá, en predios ubicados sobre la margen izquierda de la cuenca del río Tunjuelo, y su entrada se ubica sobre la margen derecha de la autopista a Villavicencio. El área total es de 467 Ha., de las cuales solamente el 40% es utilizado como Relleno Sanitario, repartida en ocho zonas, en donde se han desarrollado o están en proceso de desarrollo, las etapas de disposición de residuos sólidos convencionales y de residuos hospitalarios. Las zonas son las siguientes:

- La Zona I recibió residuos desde 1988 y tiene una extensión aproximada de 39,75 Ha.
- La Zona Mansión se desarrolló a continuación de la Zona I, al costado noreste, y tiene una extensión aproximada de 13,65 Ha.
- La Zona II, se encontraba en desarrollo hasta cuando ocurrió el derrumbe de residuos el 27 de septiembre de 1.997. El área aproximada es de 29,13 Ha. y su capacidad se calculó para recibir residuos entre 4 y 5 años aproximadamente; solamente estuvo en operación 1,5 años. La Zona III fue inicialmente reservada para desarrollar el Relleno Sanitario de Seguridad de los desechos peligrosos, pero por condiciones técnicas y de desarrollo del Relleno se anexó a la Zona II.
- La Zona IV, con una superficie de 24,18 Ha., fue utilizada como zona de emergencia cuando ocurrió el derrumbe de residuos en la Zona II. Se dispusieron residuos sólidos hasta enero de 1999, su capacidad alcanzó los 2,1 millones de toneladas y está clausurada.
- La Zona V, no desarrollada hasta la fecha, está localizada al costado oriental de la autopista Villavicencio y queda delimitada por el río Tunjuelo. En La Zona VI, cuya superficie es de 3,2 Ha., está adecuada una terraza con capacidad de 150.000 Ton como Zona de Emergencia, que actualmente se está utilizando como almacenamiento de emergencia de lixiviados.

- La Zona VII, cuya superficie es de 29.06 Ha., entró en operación en enero de 1999 con una capacidad, teniendo en cuenta la modificación del diseño implementado por Proactiva para las Terrazas 4, 5 y 6, de 5,8 millones de toneladas que se colmó a mediados del año 2002.
- La Zona VIII, con superficie de 39 Ha., inició su adecuación en mayo de 2001, y su diseño ajustado contempla una capacidad de 9.3 millones de m³ para operar durante 5,21 años. Esta es la zona actualmente en operación.
- La Zona de Disposición de Residuos Hospitalarios, con superficie de 1,9 Ha., está operando desde julio de 1998 y tiene capacidad inicial para operar 7,5 años mediante 3 Trincheras. Con las modificaciones efectuadas por Proactiva en el año 2005 con la aprobación de la Unidad Especializada de Servicios Públicos, UESP, se extendió la vida útil hasta aproximadamente septiembre de 2006, vida útil que se ha extendido desde agosto debido a que los volúmenes dispuestos allí se redujeron a 2 ton mensuales en promedio teniendo en cuenta que los residuos hospitalarios inertizados se están disponiendo en Zona VIII.

Adyacente a la Zona VI se destinó un área de 3,6 Ha., para la construcción de la Planta de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario, y de 2,9 Ha. para la disposición de los lodos producidos por ésta.

La Concesión para la Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario, la realiza el Consorcio Proactiva Doña Juana E.S.P S.A., a través del contrato C.011/2000, mediante la administración, operación y mantenimiento del Relleno Sanitario, incluyendo las obras de adecuación del terreno y la operación de la disposición técnica de los residuos sólidos, el diseño de las nuevas zonas de disposición final, los estudios, trámites y requerimientos ambientales y de otra índole que sean necesarios para la operación, el mantenimiento del sistema de conducción de lixiviados y el mantenimiento general del predio.

La concesión para el diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario, la realiza mediante contrato C.4035/99, STL S.A. E.S.P., inicialmente denominada Consorcio Hera Holding, Nam Ltda, Velzea Ltda. 1

¹ ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL RELLENO SNITARIO DOÑA JUANA ZONA VIII. CAPITULO 1. PÁG. 1

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 DEFINICIÓN COLOMBIANA DE LOS RESIDUOS (DECRETO 4741 DE 2005)

Residuo sólido o desecho:

“Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula. De acuerdo con esto los residuos son elementos, líquidos o gases que se producen por la actividad de los seres humanos y que por razones técnicas y económicas ya no pueden ser utilizados nuevamente”.²

4.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

Los residuos pueden ser clasificados utilizando diferentes criterios, así tenemos por ejemplo: estado, origen, tipo de tratamiento al que serán sometidos o potenciales efectos derivados del manejo.

4.2.1 Clasificación por estado

“En este caso un residuo se define de acuerdo al estado físico en que se encuentra, por lo que tendremos los siguientes grupos:

- **Sólidos o semisólidos:** que según su composición pueden ser orgánicos (restos de alimentos, excretas humanas y de otros animales, maderas y otros restos vegetales y en general, los que son putrescibles) o inorgánicos (vidrio, metal, papel, plásticos).
- **Líquidos:** ya sea por las sustancias que se generan resultado de actividades de manufactura o procesado como la sangre derivada del sacrificio de ganado o la utilización de mercurio en la minería del oro, o por la descomposición de otros residuos. Estos últimos, conocidos como

² Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Tomado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718>, recuperado el 14 de diciembre de 2007.

lixiviados y que según el Decreto 1713 de 20025 como son «el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos en condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como consecuencia de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación». Esto quiere decir que, bajo ciertas condiciones de humedad y temperatura, la presencia y la actividad de microorganismos, que requieren oxígeno u otros gases, descomponen este tipo de residuos produciendo un líquido en el cual se mezclan diversas sustancias y material orgánico con alta capacidad de contaminar aguas superficiales y subterráneas.

- **Gaseosos:** bien sea como gases contenidos en recipientes o en depósitos que son generados por la descomposición de la fracción orgánica de los residuos, tales como el metano y el dióxido de carbono, que, en su mayor parte, provocan lo que se ha denominado el efecto invernadero y cuya principal consecuencia ha sido el calentamiento global, reflejado en el incremento de la temperatura. Importa concluir que cada tipo de residuo, por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, genera diferentes impactos y requiere de medidas diferentes para su almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, lo que, en términos del ciclo de los residuos sólidos compone su gestión integral.”³

4.2.2 Clasificación por origen

“Se refiere a una clasificación sectorial y no existe límite en cuanto a la cantidad de categorías o agrupaciones que se pueden realizar. A continuación se mencionan algunas categorías:

- Domiciliarios, urbanos o municipales
- Industriales
- Agrícolas, ganaderos y forestales
- Mineros
- Hospitalarios o de Centros de Atención de Salud

³ Contraloría general de la Nación. Agenda ciudadana de Control Fiscal Participativo sobre Residuos en Colombia. Recuperado el día 15 de diciembre de 2007, tomado de http://www.contraloriagen.gov.co:8081/internet/central_doc/Archivos/312/residuos.pdf . Pág. 11 y 12.

- De construcción
- Portuarios
- Radiactivos

Una denominación de uso frecuente es "asimilable a residuo urbano" que se utiliza para los residuos generados en cualquier actividad y tiene características similares a los residuos urbanos y por lo tanto pueden ser gestionados como tales."⁴

Para el caso de Colombia se tiene la siguiente clasificación⁵:

- Residenciales o domiciliarios.
- Comerciales
- Industriales
- Institucionales
- De construcción y demolición
- Municipales como barrido de calles y poda de árboles.

4.3 PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC)

La producción de residuos sólidos domésticos es una variable que depende básicamente del tamaño de la población y de sus características socioeconómicas.

Una variable necesaria para dimensionar el sitio de disposición final es la llamada Producción per cápita (PPC). Este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (Kg/hab/día).

4 Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Recuperado el día 15 de diciembre de 2007, tomado de http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11437484041gr-01_02-definicion_pag15-24.pdf . Pág. 17.

5 Nota de clase Gestión de Residuos Sólidos, Edith Alayón. Universidad El Bosque 2006.

4.3.1 Estimación teórica de Producción per cápita (PPC)

La PPC es un parámetro que evoluciona en la medida que los elementos que la definen varían. En términos generales, la PPC varía de una población a otra, de acuerdo principalmente, con su grado de desarrollo socioeconómico, su densidad poblacional y su nivel de consumo. Otros elementos, como los periodos estacionales (temporada de fiestas, carnavales, vacaciones., etc.) y las actividades predominantes también afectan la PPC.

Es posible efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección y utilizando la siguiente expresión:

$$PPC = \frac{\text{Ton. (Día)}}{\# \text{ Hab.}}$$

En donde:

Ton. (Día): es la cantidad de residuos que se generan.

Hab.: es la cantidad de habitantes.

Para el caso de Bogotá, la producción per cápita se estima de acuerdo con el total de toneladas de residuos generados por los habitantes de la ciudad y que ingresan al Relleno sanitario Doña Juana en un día.

Toneladas que se disponen: 5800Ton aprox. Según Proactiva Doña Juana E.S.P.

Habitantes de Bogotá: 6'840.116. Según censo de DANE en el año 2005

$$\begin{aligned} PPC &= \frac{5800 \text{ Ton-día (1000 Kg.)}}{6' 840.116 \text{ Hab.}} \\ PPC &= 0.84 \text{ kg-Hab.-día} \end{aligned}$$

4.4 COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

Usualmente los valores de composición de residuos sólidos municipales o domésticos se describen en términos de porcentaje en masa, igualmente en base húmeda y contenidos como materia orgánica, papales y cartones, escombros, plásticos, textiles, metales, vidrios, huesos, etc.

La utilidad de conocer la composición de residuos sirve para una serie de fines, entre los que se pueden destacar estudios de factibilidad de reciclaje y de tratamiento, investigación, identificación de residuos, estudio de políticas de gestión de manejo.

Es necesario distinguir claramente a qué etapa de la gestión de residuos corresponden los valores de composición. Los factores de que depende la composición de los residuos son relativamente similares a los que definen el nivel de generación de los mismos.

La composición física de los residuos sólidos domésticos, que se generan en Bogotá D.C., son caracterizados en el Relleno Sanitario Doña Juana. La Tabla 1 muestra la composición de los residuos sólidos generados el mes de Julio de 2007, en Bogotá D.C., así como también el peso en base húmeda y el porcentaje de humedad de los residuos, respecto a la muestra tomada.

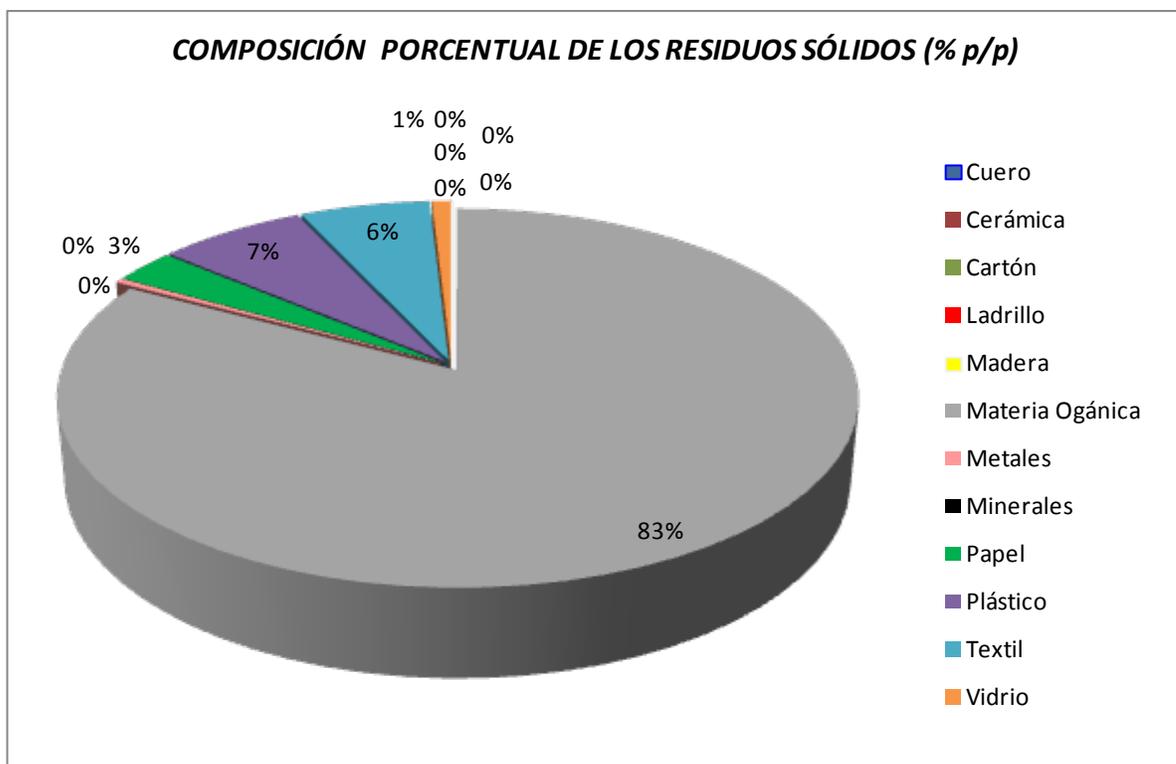
Como se puede observar en la Tabla 1, la materia orgánica es el residuo que más se genera y el que mayor contenido de humedad presenta, lo cual se puede relacionar con la producción de lixiviado.

Tabla 1. Composición física de los residuos sólidos domésticos que llegan al Relleno sanitario Doña Juana.

Material	Peso Húmedo (Kg)	Composición Húmeda (%)
Cuero	0	0
Cerámica	0	0
Cartón	0	0
Ladrillo	0	0
Madera	0	0

Material	Peso Húmedo (Kg)	Composición Húmeda (%)
Materia Orgánica	95,8	82,8
Metales	0,4	0,4
Minerales	0	0
Papel	3,3	2,9
Plástico	8	6,9
Textil	7,1	6,1
Vidrio	1,05	0,9
TOTAL	115,65	100

Fuente: Informe mensual Julio 2007. PROACTIVA DOÑA JUANA E.S.P. S.A.



Gráfica 1. Composición porcentual de los residuos sólidos (% p/p)- Julio/2007

Fuente: Informe mensual Julio 2007. PROACTIVA DOÑA JUANA E.S.P. S.A.

4.5 DISPOSICIÓN FINAL

Después que el residuo ha sido tratado éste se encuentra listo para su disposición. La forma y tipo del residuo determina en gran parte en dónde se realizará su disposición final. Los residuos sólidos comúnmente son depositados en:

- Botaderos a cielo abierto
- Botaderos especiales (residuos peligrosos)
- Rellenos sanitarios
- Depósitos de seguridad (residuos especiales como los son los hospitalarios)

De acuerdo con la Normativa Ambiental, en Colombia sólo es permitido realizar la disposición de los residuos sólidos, por ejemplo, en rellenos sanitarios, ya que éstos por las condiciones de los diseños, son técnicamente apropiados para la disposición de residuos; sin embargo, en el país son pocas las ciudades que cuentan con este sistema de manejo de residuos y se realiza en botaderos a cielo abierto, generando gran impacto a los recursos naturales tales como: el suelo, el agua, aire y por consiguiente a las poblaciones.

4.5.1 Rellenos Sanitarios

“Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, mediante la impermeabilización del fondo colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domesticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual

utilización en usos distintos al relleno sanitario; como servir para actividades silvoagropecuarias en el largo plazo.

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendado para realizar la disposición final en países como el nuestro, pues se adapta muy bien a la composición y cantidad de residuos sólidos urbanos producidos.

La definición más aceptada de relleno sanitario es la dada por la sociedad de ingenieros civiles (ASCE); Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método este, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.”⁶

4.5.1.1 Criterios Ambientales en Rellenos Sanitarios

“Los problemas sanitarios causados por la disposición de los residuos sólidos en el suelo se deben a la reacción de las basuras con el agua y a la producción de gases, riesgo de incendios y explosiones.

Los residuos sólidos están compuestos físicamente por un 40 a 50% de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, etc. Químicamente están compuestos por sustancias orgánicas, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos.

⁶ Galdames O. Domingo. Ingeniería Ambiental y Medio Ambiente en Residuos Sólidos. Recuperado el día 14 de noviembre de 2007. Tomado de <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

Las sustancias líquidas y los sólidos disueltos y suspendidos tienden a percolarse por la masa de residuos sólidos y posteriormente llegan al suelo. Éste está constituido por materia sólida, aire y agua.

A partir de determinada profundidad se encuentra el nivel freático donde el agua se mueve a baja velocidad de alta a baja presión horizontalmente y en dirección vertical por efecto de la gravedad, por ascensión capilar entre los granos del suelo.

Las sustancias contaminantes del lixiviado al percolarse a través del suelo, adquieren gran agilidad al llegar al nivel freático y pueden contaminar el agua de los manantiales, las aguas subterráneas por las fisuras y por otras fallas de las rocas y suelos permeables, a la vez de causar un efecto negativo en la calidad del suelo. ”⁷

La *Tabla 2*, recopila los factores ambientales involucrados en la selección de sitios para rellenos sanitarios:

Tabla 2. Factores ambientales involucrados en la selección de sitios para rellenos sanitarios

CRITERIO	DETALLE
Riesgo ambiental	1. Contaminación de aguas subterráneas.
	2. Calidad del aire.
	3. Transporte de materiales.
	4. Contaminación del suelo.

4.5.1.2 Actividad Biológica dentro del Relleno Sanitario

“La actividad biológica dentro de un relleno sanitario se presenta en dos etapas relativamente bien definidas:

⁷ *Ibíd.*, Criterios Ambientales.

- Fase aeróbica: Inicialmente, parte del material orgánico presente en las basuras es metabolizado aeróbicamente (mientras exista disponible oxígeno libre), produciéndose un fuerte aumento en la temperatura. Los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos.
- Fase anaeróbica: A medida que el oxígeno disponible se va agotando, los organismos facultativos y anaeróbicos proceden con la descomposición de la materia orgánica, pero más lentamente que la fase aerobia. Los productos que caracterizan esta etapa son el dióxido de carbono, ácidos orgánicos, nitrógeno, amoníaco, hidrógeno, metano, compuestos azufrados (responsables del mal olor), manganeso, hidrógeno y sulfito de hierro.

Además, algunos de estos productos producen reacciones químicas dentro y fuera del relleno. En consecuencia, otras reacciones similares se llevan a cabo, como resultado de la interacción de algunos subproductos de descomposición, entre ellos mismos o con las basuras con que entran en contacto. Muchos de estos productos, en la eventualidad de emerger libremente del relleno, como gases o líquidos, podrían provocar serios trastornos ambientales.”⁸

4.5.1.3 Producción de lixiviados.

“Los residuos sólidos en un relleno sanitario son una mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos. A medida que los residuos se van colocando en el relleno empiezan los procesos de descomposición y oxidación de los residuos. El tiempo que requiere la descomposición de los residuos es función de algunas variables como son el tipo de residuos sólidos, la temperatura ambiente, el contenido de agua y oxígeno, entre otras.

La descomposición de los componentes orgánicos de los residuos sólidos genera un volumen de lixiviados considerable proveniente de la humedad contenida en los residuos sólidos y la que se infiltra en el relleno sanitario. Por consiguiente, en el diseño es fundamental estimar y evaluar la cantidad de lixiviados generados en el interior del relleno.

⁸ *Ibíd.*, Actividad biológica en el Relleno.

La cantidad y calidad de lixiviados generados durante la construcción del relleno, así como después de clausurado, son aspectos de gran importancia en el estudio y manejo de los rellenos sanitarios.

La generación de lixiviados en rellenos sanitarios depende de varios factores que afectan el proceso principal de descomposición de la materia orgánica, entre los cuales es preciso mencionar como factores:

- La capacidad de campo de los residuos sólidos.
- La humedad de los residuos sólidos.
- La cantidad de agua que se infiltra en el relleno”.⁹

A continuación, en la se presenta la caracterización fisicoquímica del lixiviado producido Relleno Sanitario Doña Juana, en las zonas de disposición cerradas y en la zona actual, en donde se ve la variación del lixiviado según su edad, la cual depende del tiempo en el que los residuos sólidos han sido dispuesto.

Tabla 3 Caracterización fisicoquímica del lixiviado del Relleno Sanitario Doña Juana.

PARÁMETRO	UNIDAD	ZONA				
		ZONA VIII	ZONA VII	ZONA IV	ZONA II	ZONA I
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L CaCO ₃	18000	13600	9500	10800	14200
CLORUROS	mg/L Cl ⁻	5000	3450	2550	2150	3400
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	31700	28800	21800	20600	30200
D.B.O.	mg/L O ₂	13650	684	290	376	269
D.Q.O	mg/L O ₂	17480	2912	1970	2047	3145
FENOLES	mg/L	2,19	0,16	0,67	0,20	0,40
FÓSFORO TOTAL	mg/L P	22	63,4	50,0	31,4	31
GRASAS Y ACEITES	mg/L	14	<6	<6	<6	<6
NITRÓGENO AMONIACAL	mg/L N	2400	1326	1336	1265	2902
NITRATOS	mg/L N	<0,10	<0,1	<0,10	<0,1	<0,1
NITRITOS	mg/L N	<0,001	<0,001	0,12	<0,001	<0,001
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg/L N	3080	1512	1344	1456	3220
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	16920	13873	8805	8898	10349
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	2200	57	19	37	203

⁹ ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA ZONA VIII, Cáp. 4. Pág. 13

PARÁMETRO	UNIDAD	ZONA				
		ZONA VIII	ZONA VII	ZONA IV	ZONA II	ZONA I
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	mg/L	1386	20	11	13	57
SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES	mg/L	7880	4110	1156	1960	2036
SULFATOS	mg/L SO ₄	54	97	20	34	6,51
SULFUROS	mg/L H ₂ S	102	64	34	61	43,6
TENSOACTIVOS ANIÓNICOS	mg/L SAAM	8,9	1,12	5,2	1,10	2,70
TURBIEDAD	UNT	350	9,3	175	85	235
ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES	mg/L Ác.Acético	4286	193	69	64	64
pH	Unidades	8,08	8,66	7,96	8,41	8,37
TEMPERATURA	°C	31,0	29,4	20,8	18,4	19,0
CAUDAL	L/s	18,00	0,70	0,33	0,20	0,08

Fuente: Informe mensual Mayo 2007. PROACTIVA DOÑA JUANA E.S.P. S.A.

Como se puede ver en la *Tabla 3*, el lixiviado de las zonas más recientes, como el caso de la Zona VIII (actual zona de disposición) tiene mayores niveles de contaminación que las zonas más antiguas y que ya se encuentran cerradas, las cuales se pueden ver en detalle en el Anexo 1. Plano 1.

De acuerdo con la composición fisicoquímica del lixiviado, las características contaminantes más críticas son: la concentración de materia orgánica, concentración y tipo nutrientes, altos contenidos de metales pesados, la presencia de tenso activos, alto contenido de sólidos suspendidos, altos niveles de alcalinidad, altas temperaturas en zonas jóvenes, etc., los cuales deterioran la calidad del agua, cuando accidentalmente sustancias entran en contacto con los cuerpos hídricos.

4.5.1.4 Impermeabilización del fondo del Relleno

“Teniendo en consideración las características de los componentes en los líquidos percolados, es indiscutible que estos pueden contaminar las aguas y los suelos con los cuales entran en contacto.

Sería ideal evitar todo tipo de contacto entre líquidos percolados, el agua y suelos subterráneos, pero, para tal efecto, habría que cuidar muchos aspectos que encarecerían la obra en tal forma que sería imposible de realizar. Sin embargo, llevar este contacto a un nivel mínimo de modo que las

características de la napa no sufran grandes variaciones y que el uso actual o eventual de ella no sea afectado, es perfectamente posible.

Ahora bien, no hacer nada en base a suponer que los contaminantes serán diluidos en las aguas subterráneas es un error, que puede causar un gran daño, ya que una vez que las aguas y suelos han sido contaminados será muy difícil revertirlas a las condiciones originales. El escurrimiento de las aguas subterráneas, por lo general, es laminar, lo que hace que la dispersión del contaminante sea por difusión y no por dilución, y como las velocidades de las napas y las tasas de difusión son bajas, hacen que configure una zona de contaminación bastante peligrosa.

Los contaminantes de origen orgánico son los más abundantes en los líquidos percolados, pero ellos van perdiendo esa característica en el transcurso del tiempo. Por otra parte, es un hecho comprobado que gran parte de ellos quedan retenidos al tener que pasar por un medio arcilloso, contribuyendo en gran medida a aumentar la impermeabilidad del medio.

El uso de arcilla como medio impermeabilizante es bastante común en América, a continuación se mostrará una forma de ponerla para lograr esta condición impermeabilizante.

Sobre el terreno emparejado del fondo de la celda que se adecuará para la disposición de los residuos sólidos, se colocarán 0.60 metros de material arcilloso, homogéneo, sin contenido orgánico, la capa de arcilla compactada, deberá mantenerse permanentemente húmeda para evitar su agrietamiento, hasta que se cubra con basura, por lo que se recomienda construir esta impermeabilidad solo con la extensión necesaria para ejecutar con comodidad el relleno sanitario.

Otro método de impermeabilización es utilizar geomembrana de polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y cloruro de polivinilo (PVC), en ocasiones las geomembranas son usadas con geotextiles (tejidos esponjosos) con el fin de protegerlas de desgarramientos.”¹⁰

¹⁰ *Ibíd.*, Impermeabilización y control del fondo del Relleno.

4.5.1.5 Control de los lixiviados

Como consecuencia de la impermeabilización del relleno sanitario, se acumulan en éste una gran cantidad de líquidos, los cuales deben ser manejados o tratados en forma apropiada. Es importante tener en el relleno sanitario los elementos necesarios para mantener un control total de los lixiviados, éstos pueden ir desde almacenamientos en lagunas para luego recircularlos con equipos de bombeo, hasta sistemas de drenaje al interior del relleno, depósitos de almacenamiento y tratamiento químico y/o biológico.

Es importante establecer un sistema de monitoreo rutinario que permita detectar y anticipar un eventual paso de líquidos percolados a través del terreno y subsecuentemente adoptar las medidas preventivas y correctivas que corresponda para evitar riesgos a la población, por consumo de agua de mala calidad.

4.5.2 IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS QUE PUEDEN AFECTAR EL RECURSOS HÍDRICO

Los impactos ambientales que sufre el medio ambiente a través del desarrollo de las tres etapas de un relleno sanitario son de diferentes características y tal vez lo más relevante y que trascienden mayormente son aquellas que se producen en la etapa de operación y construcción del relleno. Los efectos de los variados impactos pueden verse incrementados o disminuidos por las condiciones climáticas del lugar y por el tamaño de la obra.

4.5.2.1 Impactos ambientales en la etapa de habilitación

- Intercepción y desviación de aguas lluvias superficiales
- Alteración permeabilidad propia del terreno

4.5.2.2 Impactos ambientales en la etapa de operación y construcción del relleno

- Contaminación de cuerpos de agua, brotes de lixiviados.
- Intercepción y desviación de aguas lluvias superficiales
- Impacto paisajístico, cambio en la topografía del terreno, modificación en la actividad normal del área.

4.5.2.3 Impactos ambientales en la etapa de clausura

- Impacto paisajístico, recuperación vegetación, recuperación fauna.
- Contaminación de cuerpos de agua, brotes de lixiviados. Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos de un relleno sanitario dependen de una serie de factores, entre los cuales destacan: las características del proyecto, tecnología usada, localización, condiciones de operación (tamaño, clima), etc., no obstante es posible identificar los impactos más frecuentes generados por este tipo de faena y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación.

En el Relleno Sanitario Doña Juana como medidas de mitigación, seguimiento y monitoreo se realizan las siguientes actividades:

1. Manejo de aguas superficiales y sub-superficiales.
2. Impermeabilización de las zonas para evitar la contaminación de las aguas profundas.
3. Implementación de sistemas de filtros y conducciones para la recolección de lixiviados en las zonas de disposición de residuos,
4. Adecuado manejo de los materiales sobrantes de excavación.
5. Monitoreo ambiental, analizando la caracterización de los lixiviados producidos en las diferentes zonas.

5. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de este trabajo se circunscribe a las categorías que tienen que ver con la contaminación del recursos hídrico.

5.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales, son aguas que resultan de las actividades domésticas e industriales; estas aguas, dependiendo de donde se generen, contienen altas concentraciones de materia fecales, metales pesados, grasa, aceites, diferentes químicos, etc., y que por salubridad, impactos ambientales y costos económicos, no pueden ser vertidas a lagos o corrientes de agua, sin tener un tratamiento previo.

5.2 Aguas subterráneas¹¹

El agua subterránea es agua que se filtra a través de grietas y poros de las rocas y sedimentos que yacen debajo de la superficie de la tierra, acumulándose en las capas arenosas o rocas porosas del subsuelo las cuales se saturan como una esponja determinando la tabla de agua que es el nivel agua en el suelo donde todos los espacios están llenos de agua. Estas áreas donde el agua se almacena y puede ser extraída a través de un pozo se le denominan acuíferos, que son los grandes almacenes de agua en la tierra y muchas personas alrededor de todo el mundo dependen del agua subterránea en su diario vivir.

Las aguas subterráneas están expuestas a diversos riesgos de carácter ambiental como son:

- Contaminación de los acuíferos por derrame o fuga de sustancias tóxicas en la superficie o bodegas que posteriormente se infiltran. (aceites y grasas, aguas residuales, residuos, químicos, etc.)

¹¹ Secretaría Distrital de ambiente. Recurso hídrico Subterráneo. Recuperado el día 25 de febrero de 2008, tomado de: <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/php/decide.php?patron=03.1413>

- Contaminación con hidrocarburos por filtración de tanques de almacenamiento subterráneo o derrames accidentales.
- Sobreexplotación de los acuíferos poniendo en riesgo la recarga y normal funcionamiento del mismo.
- Inadecuado mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos.
- Contaminación biológica de las aguas subterráneas por sobrealimentación o malfuncionamiento de sistemas sépticos o fugas en la red de alcantarillado.
- Eliminación, impermeabilización o urbanización de las zonas de recarga de los acuíferos.

5.3 Contaminación hídrica superficial

Según el Tesoro Ambiental para Colombia, la contaminación hídrica superficial es la “Alteración en la composición natural del agua producida por residuos agrícolas, industriales y urbanos.”

5.4 Lixiviados

“Los lixiviados son líquidos oscuros que se producen por la descomposición de la materia orgánica y el agua que entra al relleno por la precipitación, los cuales al fluir, disuelven sustancias y arrastran partículas contenidas en los residuos.”¹²

5.5 Pondaje

Son estructuras para el almacenamiento estacional de lixiviados, conectado con la red principal de conducción que va a una planta de tratamiento, conformadas por un terraplén perimetral que permite soportar las presiones hidrostáticas del lixiviado; estos pondajes son impermeabilizados

¹² Universidad Tecnológica de Pereira. Evaluación de la Tratabilidad de los Lixiviados en el Relleno Sanitario de Pereira mediante filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto.2006. Recuperado el día 8 de mayo de 2008, tomado de: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/73955399-404.pdf>

con geomembrana para evitar las filtraciones que puedan contaminar el suelo y las aguas subterráneas.

Los pondajes cumplen la función de homogenización del lixiviado y además sirven como sistema de regulación de caudales del lixiviado.

5.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Según Sawyer Clair, “la Demanda Bioquímica de Oxígeno (BDO) se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición, en condiciones aeróbicas. Al decir “susceptible de descomposición”, se hace referencia a que la materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía.”¹³

Cuando el agua contiene niveles altos de desechos orgánicos, la población de microorganismos es alta y como consecuencia a esto, la DBO también es alta.

5.7 Demanda Química de Oxígeno

La prueba de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es ampliamente usada como una forma de medir la concentración de la materia orgánica total de los residuos domésticos e industriales. Esta prueba permite medir en un residuo la cantidad total de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica a dióxido de Carbono y agua. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001, pág. 589).

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre

¹³ Sawyer, C. McCarty P & Parkin G. Química para Ingeniera Ambiental. Mc Graw-Hill.2001. Pág. 569.

materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales”

5.8 Oxígeno Disuelto

La determinación del oxígeno disuelto es una de las pruebas aisladas más importantes..., relacionada con la contaminación de una corriente de agua..., además es la base del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por tanto es el principio para las mediciones más importantes que se usan para evaluar la magnitud de la contaminación de los desechos domésticos e industriales.

La velocidad de oxidación bioquímica se puede calcular determinando el oxígeno disuelto residual de un sistema a diferentes intervalos de tiempo. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001, pág. 558).

5.9 Nitrógeno

La presencia de los compuestos de nitrógeno en el agua, son sinónimo de eutroficación, debido a que estos compuestos son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

La conversión autótrofa de amoníaco a nitritos y nitratos puede reducir seriamente los niveles de oxígeno disuelto en los ríos y estuario en especial donde se cuenta con el largo tiempo de permanencia que se necesita para el crecimiento de las bacterias nitrificantes de crecimiento lento. Además, estos organismos se reproducen en grandes proporciones debido a la alta eficiencia de los sistemas de tratamiento biológico de los residuos, y su descarga con los efluentes tratados puede hacer que ocurra una rápida nitrificación en los acueductos. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001, pág. 602).

5.10 Fósforo

Todos los abastecimientos de aguas superficiales son base para el crecimiento de pequeños organismos acuáticos. Los organismos libres que flotan y nadan se denominan Plancton, el Plancton esta compuesto por animales, zooplancton, y vegetales, fitoplancton. El último esta

formado por algas y cianobacterias y puesto que son organismos que tienen clorofila, su crecimiento está influido en gran medida por la cantidad de elementos fertilizantes en el agua. La investigación ha demostrado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las algas y las cianobacterias, y que la limitación de estos elementos es usualmente el factor que controla su tasa de crecimiento. Cuando hay abundancia de los dos elementos tiene lugar el florecimiento de algas, que producen una variedad de condiciones molestas. La experiencia ha demostrado que el florecimiento no ocurre cuando el nitrógeno, el fósforo o ambos están presentes en cantidades muy limitadas. El nivel crítico para el fósforo inorgánico ha sido establecido entre 0.005 mg/l y 5 µg/l en condiciones de crecimiento en verano. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001, pág. 645 y 646).

5.11 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de los iones hidrógeno o más exactamente, la actividad del ión hidrógeno.

En el área de los abastecimientos de agua, es un factor que se debe tener en consideración en la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento de aguas y el control de la corrosión. En el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos, el pH se debe mantener en un margen favorable para los organismos específicos que intervienen. Los procesos químicos usados para coagular las aguas residuales, desecar los lodos u oxidar ciertas sustancias como ión cianuro requieren que el pH se mantenga dentro de límites muy estrechos. Por estas razones y por las relaciones fundamentales que existen entre el pH, la acidez y la alcalinidad es muy importante comprender los aspectos teóricos y prácticos del pH. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001, pág. 494).

Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.

5.12 Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos son partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)

5.13 Conductividad

El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C.”¹⁴

¹⁴ Echarri Luis (1998, Agosto) Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: Contaminación del Agua. Recuperado el día 2 de Noviembre de 2007. tomado de: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

6. MARCO NORMATIVO

6.1 Decreto 1594 de 1984

El Decreto 1594 de 1984 considera criterios de calidad diferentes según el uso que se destina o destinará el recurso hídrico en una zona determinada. Para este caso consideramos que las quebradas que se estudian son utilizadas para uso agrícola y pecuario.

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

CAPITULO IV

DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACION DEL RECURSO

Artículo 40: Los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola son los siguientes:

Tabla 4 Valores máximos Decreto 1594 de 1984, para Uso Agrícola

Referencia	Expresada como	Valor (mg/l)
Aluminio	Al	5.0
Arsénico	As	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Cobalto	Co	0.05
Cromo	Cr ⁺⁶	0.1
Hierro	Fe	5.0
Manganeso	Mn	0.2
Níquel	Ni	0.2
Berilio	Be	0.1
Cinc	Zn	2.0
Cobre	Cu	0.2

Referencia	Expresada como	Valor (mg/l)
Flúor	F	1.0
Litio	Li	2.5
Molibdeno	Mo	0.01
Plomo	Pb	5.0
Níquel	Ni	0.2
pH	pH	4.5-9.0 Unidades
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

Parágrafo 1: Además de los criterios establecidos en el presente artículo, se adoptan los siguientes:

- a. El boro, expresado como B, deberá estar entre 0.3 y 4.0 mg/L dependiendo del tipo de suelo y del cultivo.
- b. El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- c. El NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

Parágrafo 2: Deberán hacerse mediciones sobre las siguientes características:

- a. Conductividad.
- b. Relación de absorción de sodio (RAS).
- c. Porcentaje de sodio posible (PSP).
- d. Salinidad efectiva y potencial.
- e. Carbonato de sodio residual.
- f. Radionucleídos.

6.2 Resolución 3358 de 1990

Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez. Por la cual se fija una norma de vertimiento y se toman otras determinaciones.

ARTÍCULO PRIMERO:

Requerir al representante legal de la Empresa Distrital de Servicios Públicos (EDIS), para que dentro de los dos meses siguientes a la ejecutoria de esta providencia presente el plan de cumplimiento orientado a garantizar que los vertimientos que se están generando como consecuencia del Relleno Doña Juana al río Tunjuelito a través de la quebrada Yerbabuena, cumpla con la siguiente norma:

Tabla 5. Concentración máxima de los parámetros químicos según Resolución 3358 de 1990

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	VALORES DE LA NORMA (mg/l)
ALUMINIO	Al	5
ARSÉNICO	As	0.1
BERILIO	Be	0.1
BORO	B	0.3
CADMIO	Cd	0.01
CINC	Zn	2
COBALTO	Co	0.05
COBRE	Cu	0.2
CROMO TOTAL	Cr	0.1
DBO 5	O ₂	100
GRASAS Y ACEITES		2
HIERRO	Fe	5
LITIO	Li	2.5
MANGANESO	Mn	0.2
MERCURIO	Hg	0.01
MOLIBDENO	Mo	0.01
NIQUEL	Ni	0.2

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	VALORES DE LA NORMA (mg/l)
PLOMO	Pb	0.1
SELENIO	Se	0.02
VANADIO	V	0.1
pH		4.5-9 unidades
FENOLES	Fenol	0.2
COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS	Concentración de Agente Activo	0.05

7. MARCO DE REFERENCIA.

7.1 GENERALIDADES BIOGEOGRÁFICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el estudio de las quebradas que se encuentran en el Relleno Sanitario Doña Juana, se tiene como herramienta la base cartográfica establecida en el Estudio de Impacto Ambiental Zona VIII, realizado en el año 2000, el cual fue modificado de acuerdo a las variaciones presentadas hasta el año 2008, en cuanto a lo que se refiere al tema de estudio del presente trabajo. Ver Anexo 1. Plano No. 1

7.2 QUEBRADA AGUAS CLARAS

Nace en la parte alta de la vereda el Mochuelo Alto, ver Plano No. 1. Llega al Relleno por el costado sur del predio. Recibe aguas de las de las quebradas El Bebedero y La Porquera. La ronda de esta quebrada está delimitada principalmente por cultivos de habas, papa, arveja y otros, que son la principal base económica de la vereda El Mochuelo Alto.

El punto de monitoreo establecido para realizar la toma de las muestras para el monitoreo de la calidad del agua de la quebrada Aguas Claras se localiza a 2.900 m.s.n.m. con coordenadas topográficas: Norte 88.163,23 y Este 92.948,56.

Fotografía 1. Quebrada Aguas Claras. Relleno Sanitario Doña Juana



7.3 QUEBRADA PUENTE BLANCO

Este drenaje nace al occidente de la Zona VIII. Su caudal es alimentado por la Quebrada Puente Tierra que nace en la parte alta de la vereda Mochuelo Alto. La ronda de esta quebrada está protegida por un bosque de especies arbustivas como: Chilcos, Tintos, Espinos, Mortiños, Ayuelos, entre otros. El final de este cauce se da, cuando se encuentra con la quebrada El Botello.

El punto de monitoreo establecido para realizar la toma de las muestras para el monitoreo de la calidad del agua de la quebrada Puente Blanco se localiza a 2.840 m.s.n.m. con coordenadas topográficas: Norte 89.572,62 y Este 92.735,92.

Fotografía 2. Quebrada Puente Blanco. Relleno Sanitario Doña Juana.



7.4 QUEBRADA EL BOTELLO

Esta quebrada nace en el interior del predio del relleno, fue canalizada en el sector conocido como Zona VII para entregar sus aguas a la Quebrada Yerbabuena, la que a su vez desemboca en el curso principal, que es el Río Tunjuelo. Esta quebrada recibe directamente el caudal de la quebrada Puente Blanco, Cañada el Zorro y Cañada El Sábado, que nacen por fuera de los predios del relleno. Este es un drenaje intermitente a lo largo del año, que aumenta y se mantiene constante, en época de lluvias.

El punto de monitoreo establecido para realizar la toma de las muestras para el monitoreo de la calidad del agua de la quebrada El Botello se localiza a 2.838 m.s.n.m. con coordenadas topográficas: Norte 89.354,58y Este 92.952,57.

Fotografía 3. Quebrada El Botello. Relleno Sanitario Doña Juana



Fotografía 4. Quebrada El Botello. Relleno Sanitario Doña Juana



7.5 QUEBRADA YERBABUENA.

Recoge el agua que viene de la Quebrada El Botello y de drenajes exteriores al Relleno como: la Quebrada El Mochuelo y Zanjón Grande, y los conduce hasta el río Tunjuelo.

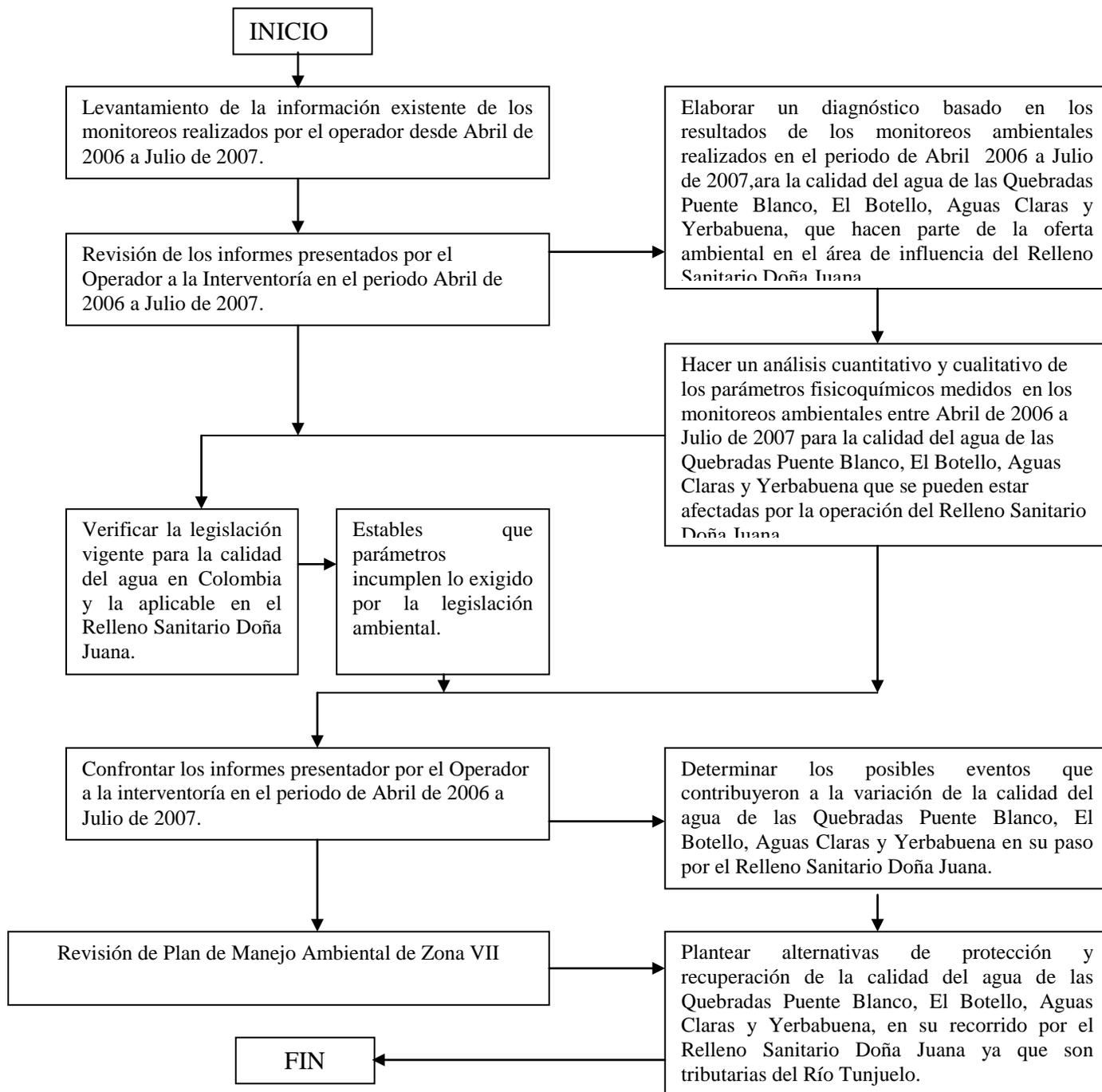
En el interior del relleno es canalizada debido al desvío que se hizo para la adecuación de zona VII. De acuerdo con lo observado en el presente estudio, en ésta quebrada se están disponiendo los lixiviados para ser conducidos al Río Tunjuelo.

El punto de monitoreo establecido para realizar la toma de las muestras para el monitoreo de la calidad del agua de la quebrada Yerbabuena se localiza a 2.601 m.s.n.m. con coordenadas topográficas: Norte 90.608,95 Este 94.476,67.

8. METODOLOGIA

La metodología utilizada en este trabajo se basa en la revisión y análisis de la información secundaria y consta de los siguientes pasos tal como se ilustra en el diagrama.

Diagrama 1. Marco metodológico para el diagnóstico de la calidad de las quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello y Yerbabuena



9. RESULTADOS

9.1 MONITOREO CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL. RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA

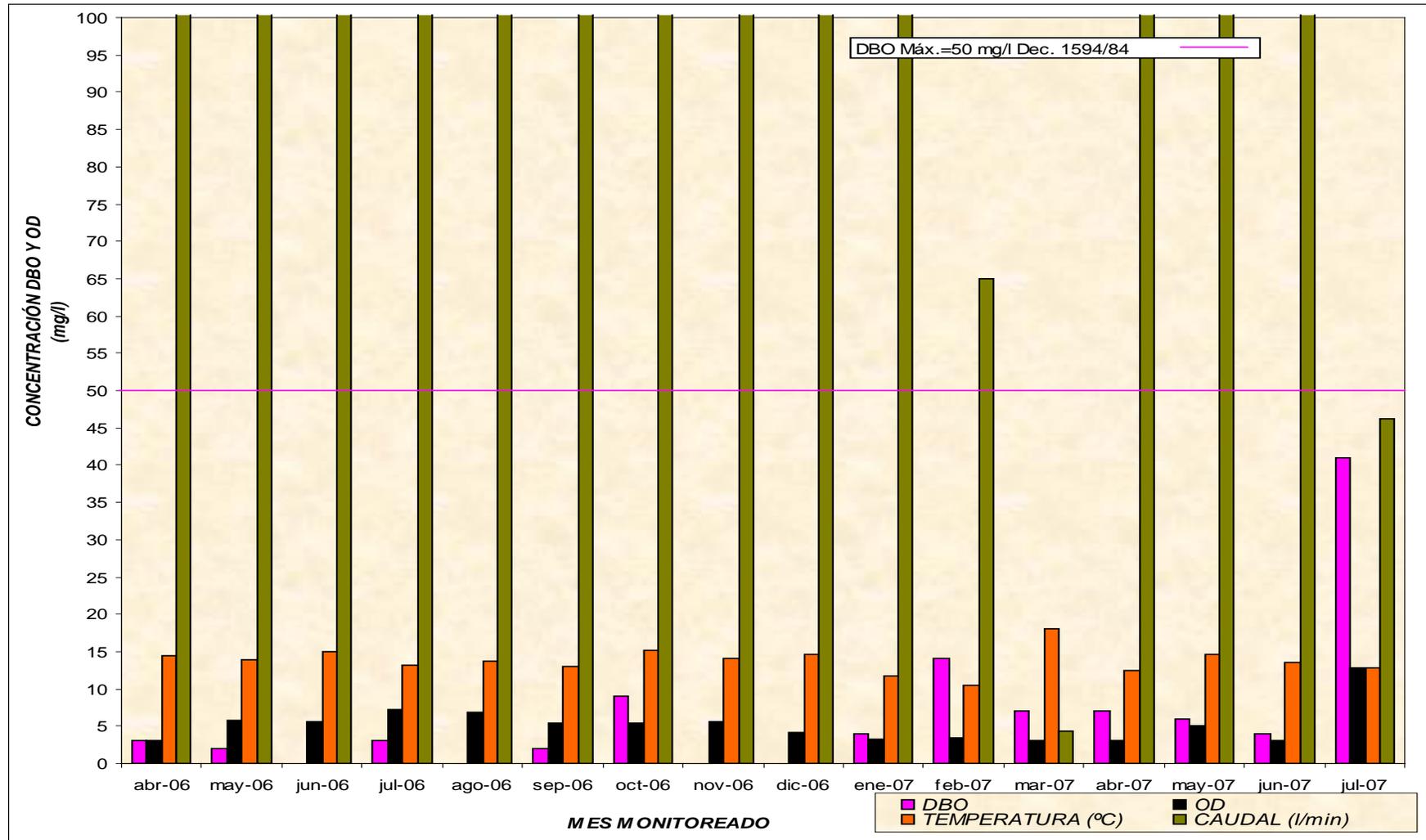
A través del programa de monitoreo ambiental se caracterizan los residuos domésticos de Zona VIII y los productos de su descomposición dentro del relleno, como son gases y lixiviados, para luego proceder a evaluar la calidad del entorno vecino en lo referente a aire y cuerpos de agua superficial, subsuperficial, escorrentía y agua potable. Actualmente, los laboratorios ambientales del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental – C.I.I.A. de la Universidad de los Andes y ANALQUÍM Ltda., están a cargo de la realización del monitoreo, desde la toma de muestras hasta el reporte final de los resultados de laboratorio

A continuación se relacionan los monitoreos que el operador PROACTIVA, ha realizado en cumplimiento con el Plan de Manejo Ambiental de Zona VIII, a los cuerpos de agua superficial que interviene el Relleno Sanitario Doña Juana, de forma directa o indirecta; de igual forma, la construcción de gráficas que permiten observar claramente la concentración de contaminantes que transportan estos cuerpos de agua y su variación a través del tiempo.¹⁵

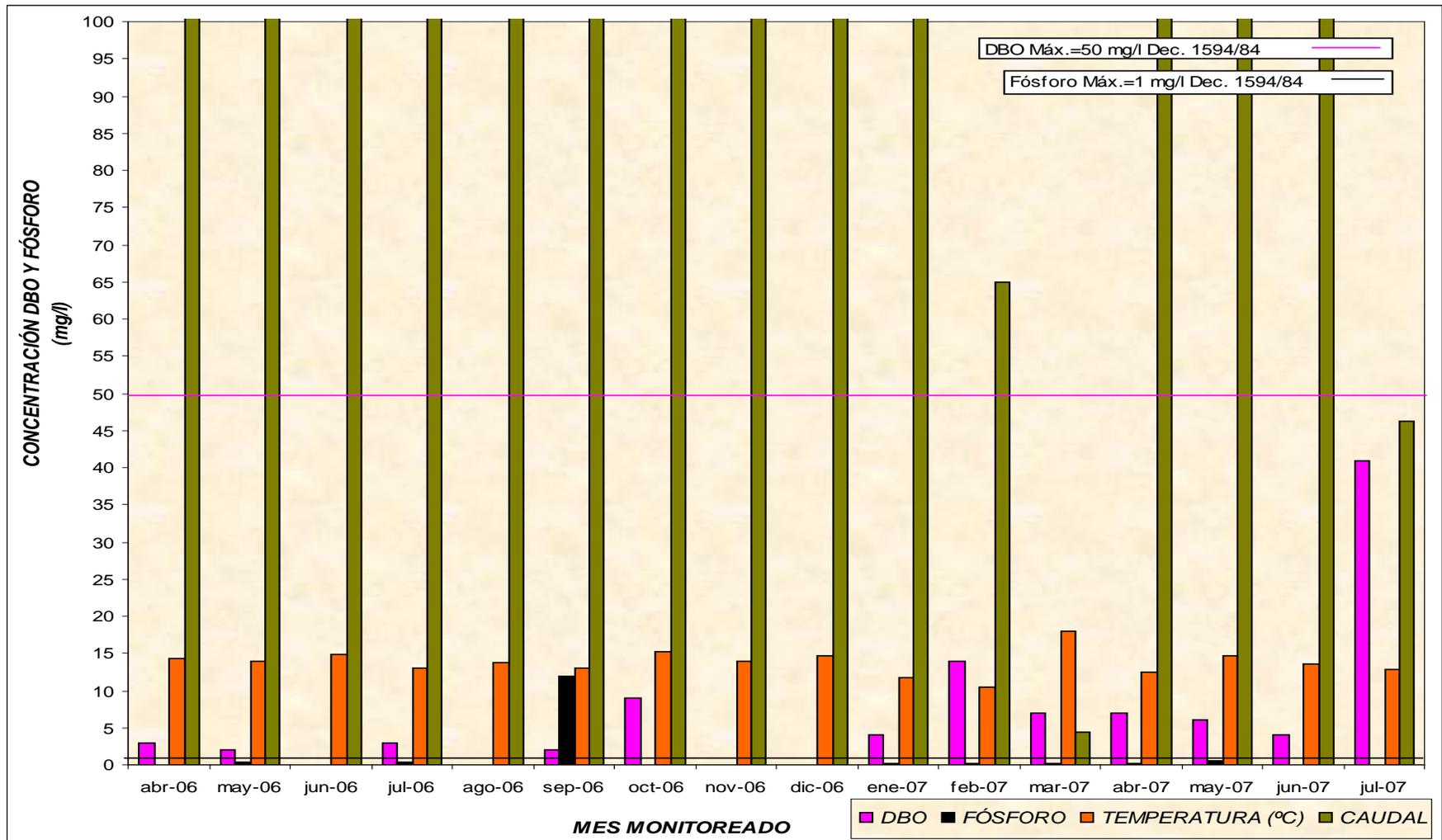
¹⁵ NOTA: Las graficas de la variación de los parámetros fueron recortadas a 100 unidades con el objetivo de poder mostrar en detalle la variación de los parámetros y la variación del caudal en la misma grafica, los valores reales del caudal se presentan en las tablas con los monitoreos históricos.

Tabla 6. Monitoreo histórico quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.

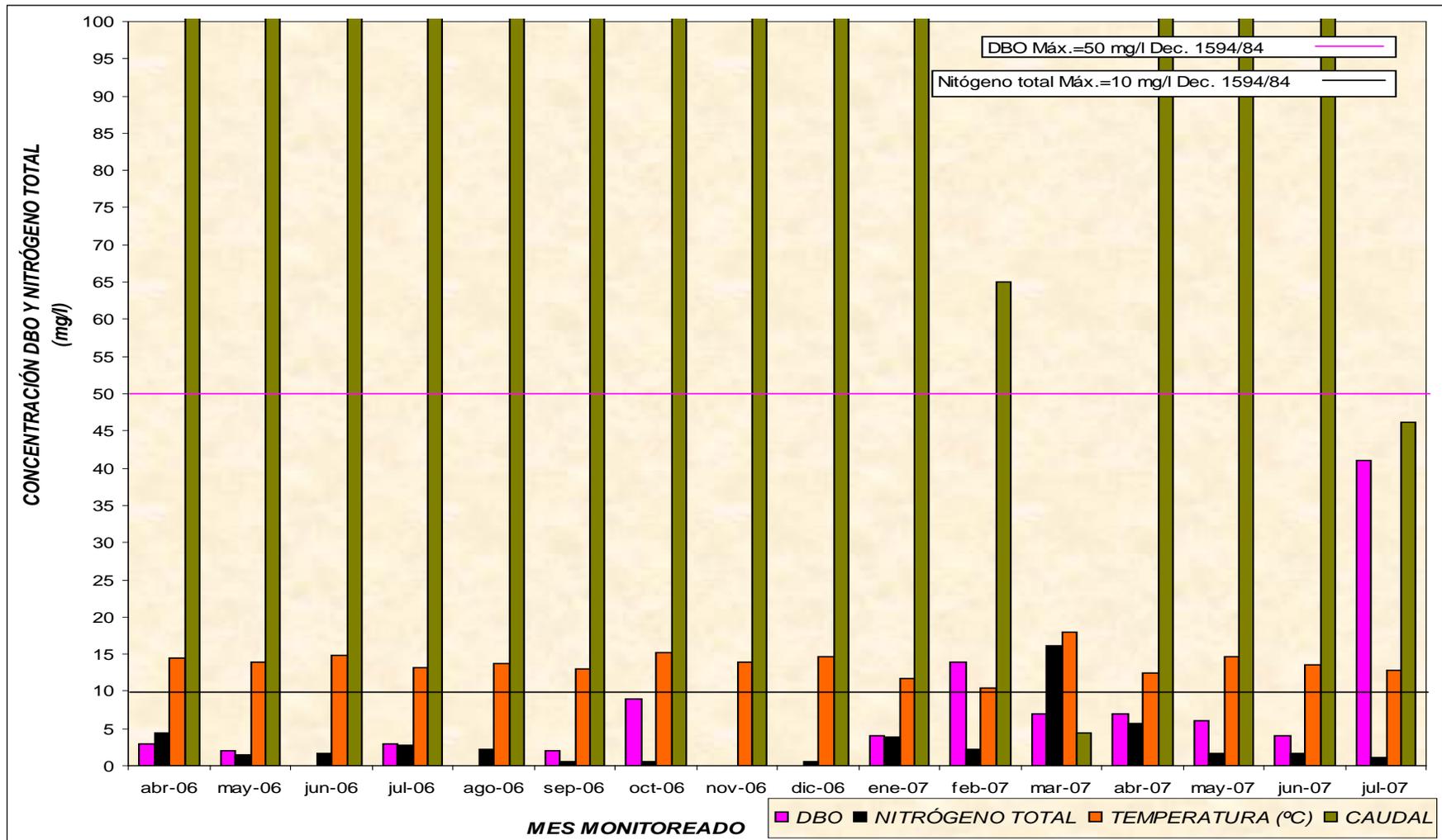
Quebrada Aguas Claras																			
Parámetro	Norma	Unidades	abr-06	may-06	jun-06	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	ene-07	feb-07	mar-07	abr-07	may-07	jun-07	jul-07	
Caudal	—	L/min	168	904	564	346	315	294	164,8	368	244	216	65	4,4	103	108	240	46,18	
Conductancia específica	< 500	microhmios / cm	186	90	94	85	79	85	110	107	87	140	215	323	216	203	148	82	
Coliformes fecales	—	UFC/100 mL	1500	2600 UFC	7100 UFC	13000	8700	4000	1500	3800	4200	510	350	220	60	160	180	10000	
DBO ₅	< 50	mg /L-O ₂	3	2	<LD 2 mg/l	3	<LD 2 mg/l	2	9	<LD 2 mg/l	<LD 2 mg/l	4	14	7	7	6	4	41	
DQO	< 100	mg/L-O ₂	32	33	19	14	47	2,19	40	21	31	10	18	10	31	35	29	61	
Fósforo	< 1	mg/L P	0,09	0,45	0,03	0,32	0,02	12	0,09	0,03	0,06	0,14	0,14	0,2	0,23	0,55	0,08	0,07	
Grasas Aceites	< 25	mg /L	< LD 6 mg/l	< LD 6 mg/	7	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	8	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	
Nitrógeno total	< 10	mg/L-N	4,48	1,4	1,68	2,8	2,2	0,56	0,56	< LD <0,28	0,56	3,9	2,24	16,2	5,6	1,7	1,68	1,12	
Sólidos suspendidos	< 75	mg/L-SS	6	286	27	25	36	17	30	5	18	18	22	13	13	10	7	11	
pH	5,0-9,0		6,9	6,3	6,5	6,27	6,2	6,2	6	6,6	6,92	5,97	6,5	6,5	6,4	6,5	7,13	7,13	
Temperatura		°C	14,4	13,9	14,9	13,1	13,7	13	15,2	14	14,6	11,8	10,5	18	12,5	14,7	13,6	12,9	
Oxígeno (mg/L)	—	mg/L-O ₂	3	5,8	5,6	7,3	6,9	5,4	5,4	5,6	4,18	3,2	3,5	3,05	3	5,12	3,1	12,9	
PROGRAMADO			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	Parámetros que sobrepasan el Dec. 1594/84							N.C	no presentó caudal				<L.D	Menor al límite de detección del equipo					
	DBO que sobrepasa el requerimiento CAR. Res. 3358 de 1990. DBO _{max} =100 mg/l y Dec. 1594/84																		



Gráfica 2. Variación en la concentración de DBO vs. Oxígeno Disuelto, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.



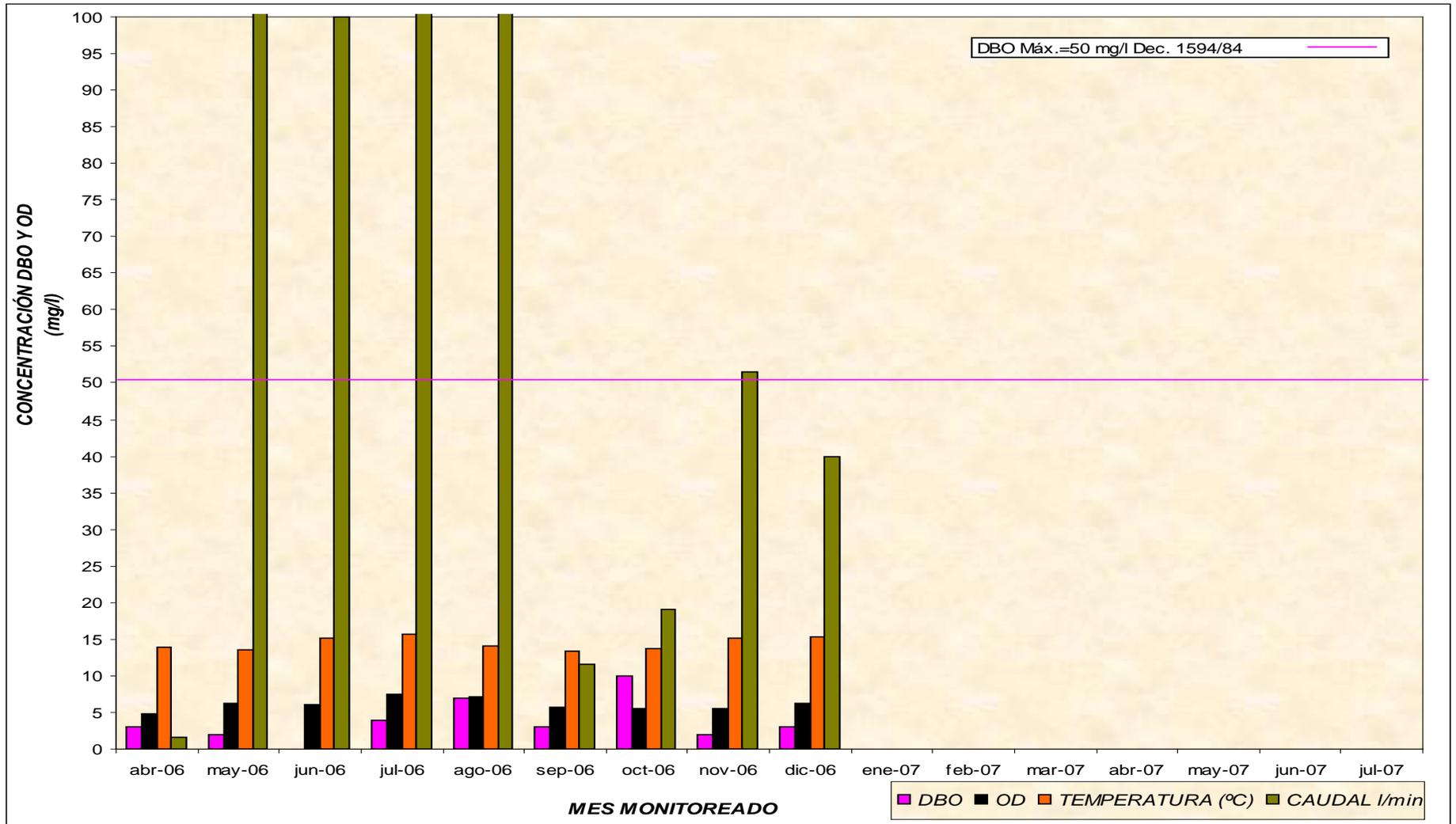
Gráfica 3. Variación en la concentración de DBO vs. Fósforo, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.



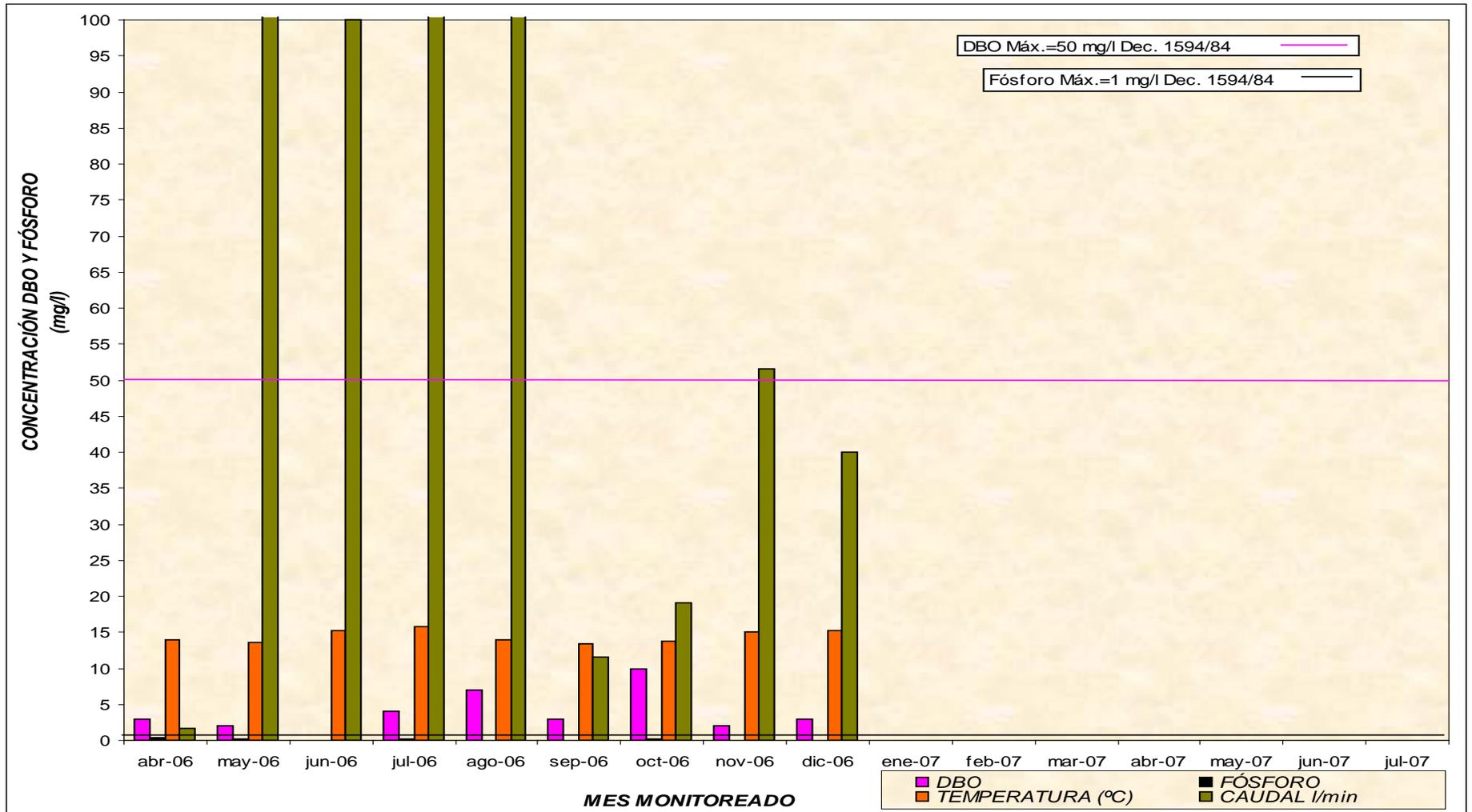
Gráfica 4. Variación en la concentración de DBO vs. Nitrogeno Total, quebrada Aguas Claras. Abril/2006 – julio/2007.

Tabla 7. Monitoreo histórico quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.

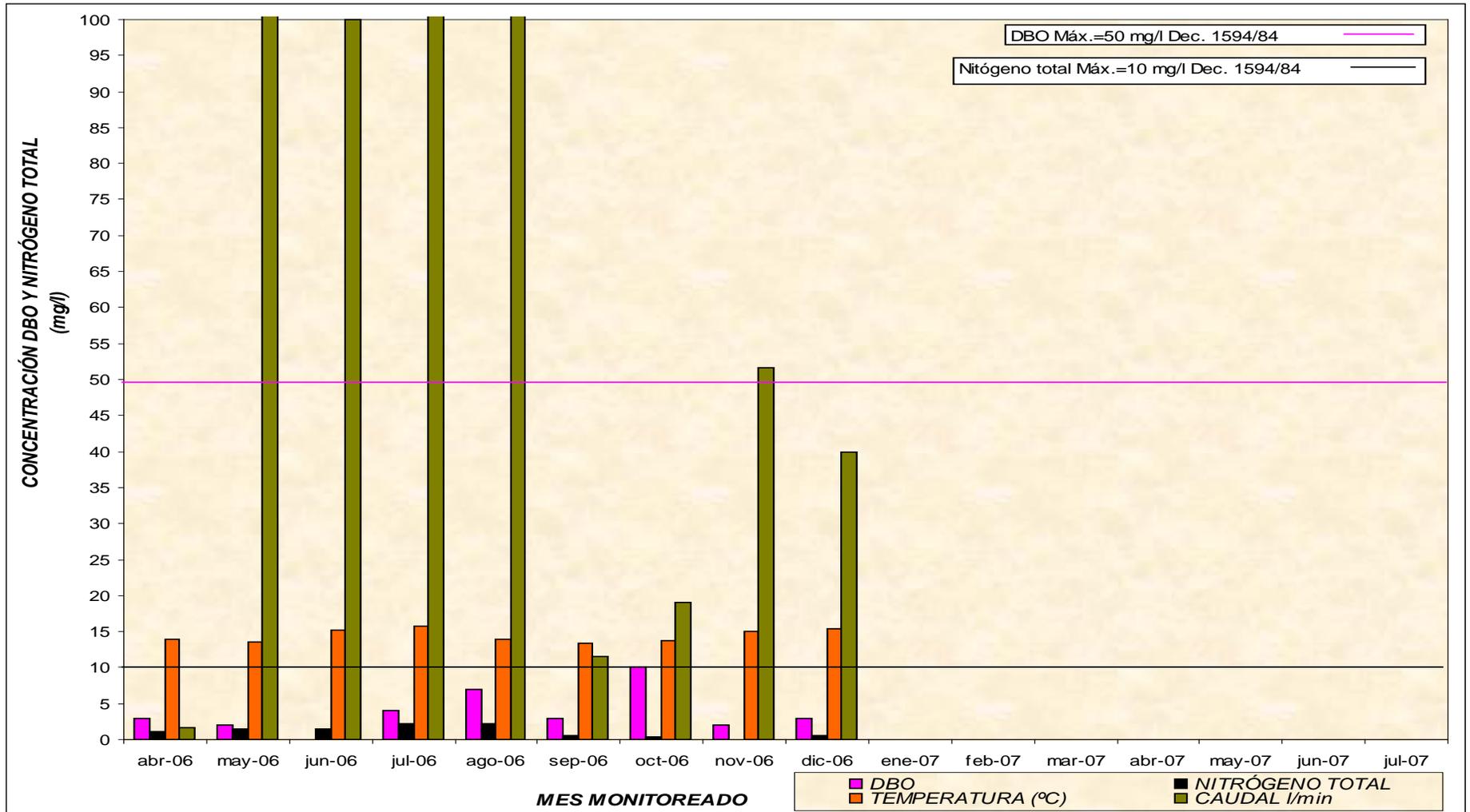
Quebrada Puente Blanco																			
Parámetro	Norma	Unidades	abr-06	may-06	jun-06	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	ene-07	feb-07	mar-07	abr-07	may-07	jun-07	jul-07	
Caudal	—	L/min	1,60	282,00	100,00	210,00	120,00	11,50	19,00	51,60	40,00	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Conductancia específica	< 500	microhmios / cm	106	114	97	119	120	183	178	175	154	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Coliformes fecales	—	UFC/100 mL	3900 UFC	800 UFC	70 UFC	600 UFC	320 UFC	600 UFC	1300	1900	2300	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
DBO ₅	< 50	mg /L-O ₂	3	2	<LD 2 mg/l	4	7	3	10	2	3	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
DQO	< 100	mg/L-O ₂	64	57	37	28	86	34	34	40	32	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Fósforo	< 1	mg/L P	0,43	0,24	0,04	0,26	0,05	0,04	0,1	0,07	0,07	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Grasas Aceites y	25	mg /L	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	9	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	11	< LD 6 mg/	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Nitrógeno total	< 10	mg/L-N	1,1	1,4	1,4	2,24	2,2	0,56	0,4	<LD 0,28 mg/l	0,56	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Sólidos suspendidos	< 75	mg/L-SS	564	209	52	171	183	160	187	158	236	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
pH	5,0-9,0		6,2	6,5	6,6	6,54	6,5	6,5	6,5	6,7	6,54	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Temperatura		°C	13,9	13,6	15,2	15,7	14	13,4	13,7	15,1	15,3	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
Oxígeno (mg/L)	—	mg/L-O ₂	4,8	6,2	6,1	7,5	7,2	5,7	5,6	5,6	6,21	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C	
PROGRAMADO			SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
	Parámetros que sobrepasan el Dec. 1594/84						N.C	no presentó caudal				<L.D	Menor al límite de detección del equipo						
	DBO que sobrepasa el requerimiento CAR. Res. 3358 de 1990. DBO _{max} =100 mg/l y Dec. 1594/84																		



Gráfica 5. Variación en la concentración de la DBO vs. OD, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.



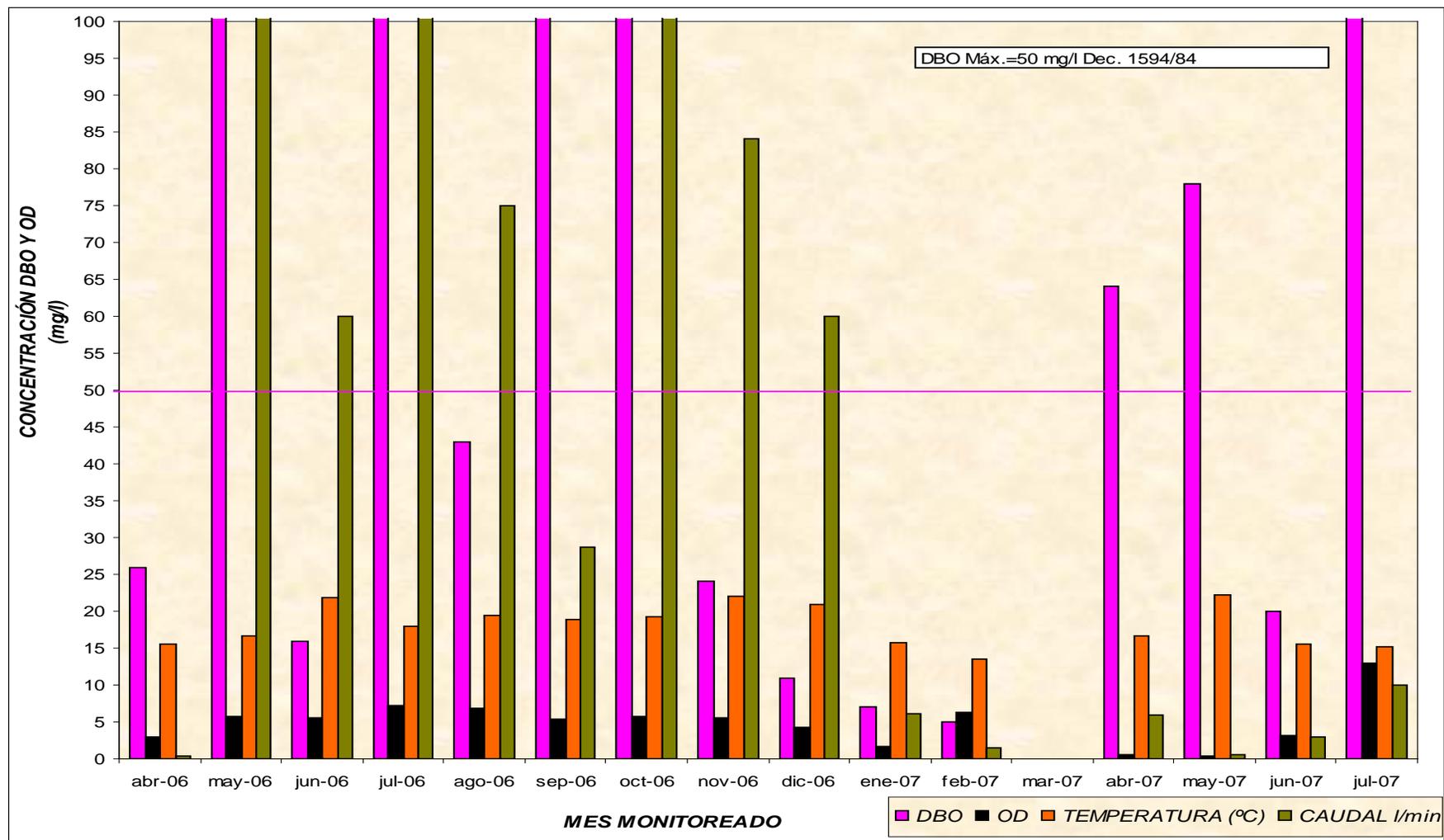
Gráfica 6. Variación en la concentración de la DBO vs. Fósforo, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.



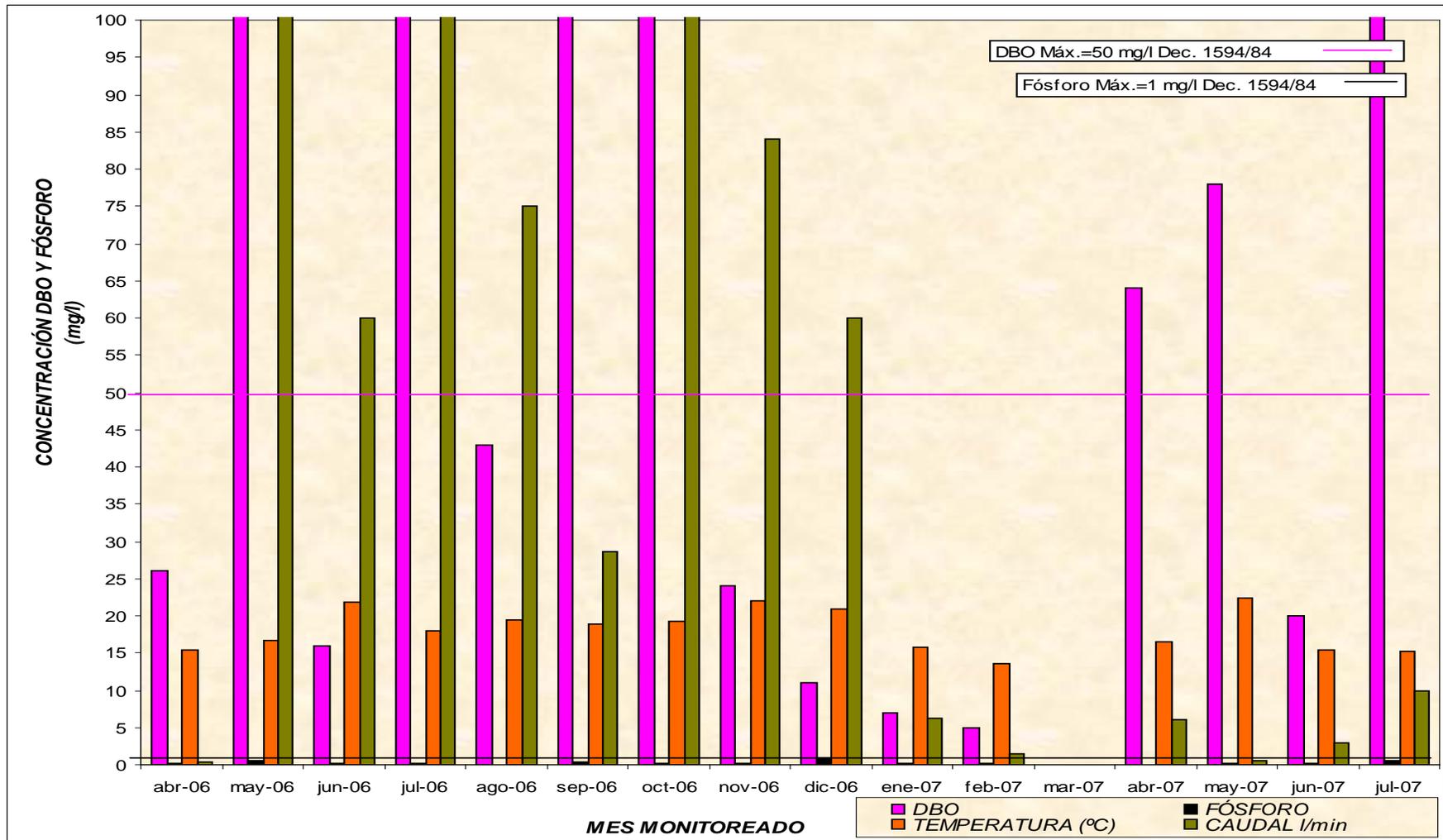
Gráfica 7. Variación en la concentración de la DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada Puente Blanco. Abril/2006 – julio/2007.

Tabla 8. Monitoreo histórico quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.

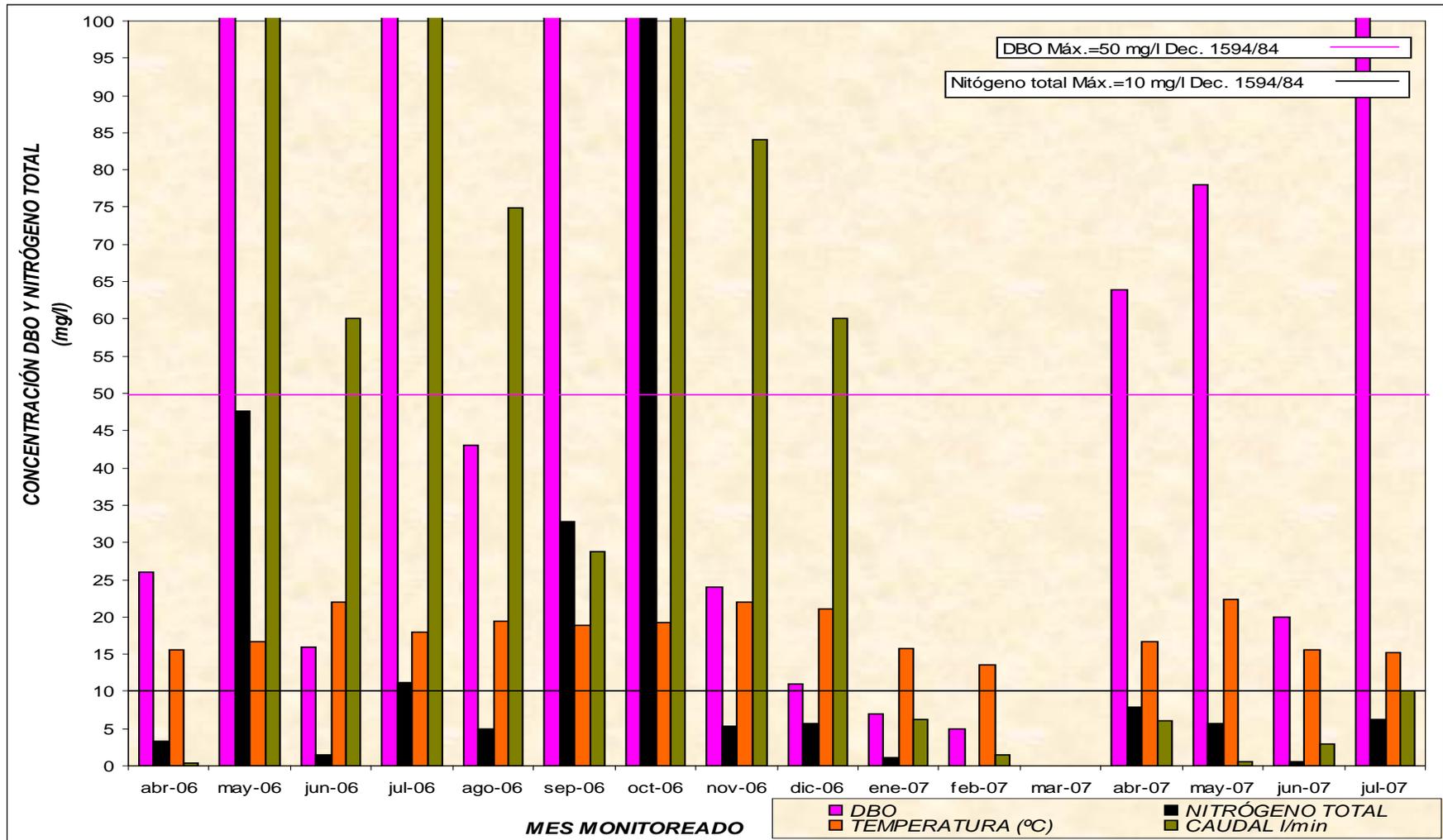
Quebrada El Botello																		
Parámetro	Norma	Unidades	abr-06	may-06	jun-06	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	ene-07	feb-07	mar-07	abr-07	may-07	jun-07	jul-07
Caudal	—	L/min	0,33	145,1	60	116	75	28,7	126,7	84	60	6,2	1,4	N.C	6	0,6	3	10
Conductividad	< 500	microhmios / cm	572	1604	144	236	91	1050	4600	876	65	149	186	N.C	435	346	147	464
Coliformes fecales	—	UFC/100 mL	1,9x10 ⁴	3800	1,4x10 ⁴	380	1500	5300	120000	3200	4100	1200	280	N.C	600	1,4X10 ⁴	1800	1,1X10 ⁴
DBO ₅	< 50	mg /L-O2	26	257	16	201	43	441	825	24	11	7	5	N.C	64	78	20	103
DQO	< 100	mg/L-O2	63	323	116	68	74	552	900	109	40	36	11	N.C	90	120	32	146
Fósforo	< 1	mg/L P	0,2	0,54	0,25	0,24	0,06	0,28	0,19	0,15	0,83	0,16	0,14	N.C	0,05	0,13	0,11	0,46
Grasas Aceites y	25	mg /L	9	9	11,00	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	6	7	9	12	< LD 6 mg/	7	N.C	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	6
Nitrógeno total	< 10	mg /L	3,36	47,6	1,40	11,2	5	32,8	227,3	5,3	5,6	1,1	<LD 0.28 mg/l	N.C	7,8	5,6	0,56	6,2
Sólidos suspendidos	< 75	mg/L-N	91	3650	172	71	33	138	7167	1028	1446	98	15	N.C	166	362	99	434
pH	5,0-9,0		6,9	7,8	6,2	6,56	6,8	7,2	7	7,6	6,39	6,31	6,5	N.C	6,9	7,88	6,54	7,15
Temperatura		°C	15,5	16,7	21,9	18	19,4	18,9	19,2	22	21	15,8	13,5	N.C	16,6	22,3	15,5	15,2
Oxígeno (mg/L)	—	mg/L-O2	3	5,8	5,6	7,3	6,9	5,4	5,8	5,6	4,18	1,6	6,35	N.C	0,5	0,38	3,1	12,9
PROGRAMADO		mg/L-SS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Parámetros que sobrepasan el Dec. 1594/84						N.C	no presentó caudal				<L.D	Menor al límite de detección del equipo					
	DBO que sobrepasa el requerimiento CAR. Res. 3358 de 1990. DBOmax=100 mg/l y Dec. 1594/84																	



Gráfica 8. Variación en la concentración de DBO vs. OD, quebrada El Botello. . Abril/2006 – julio/2007.



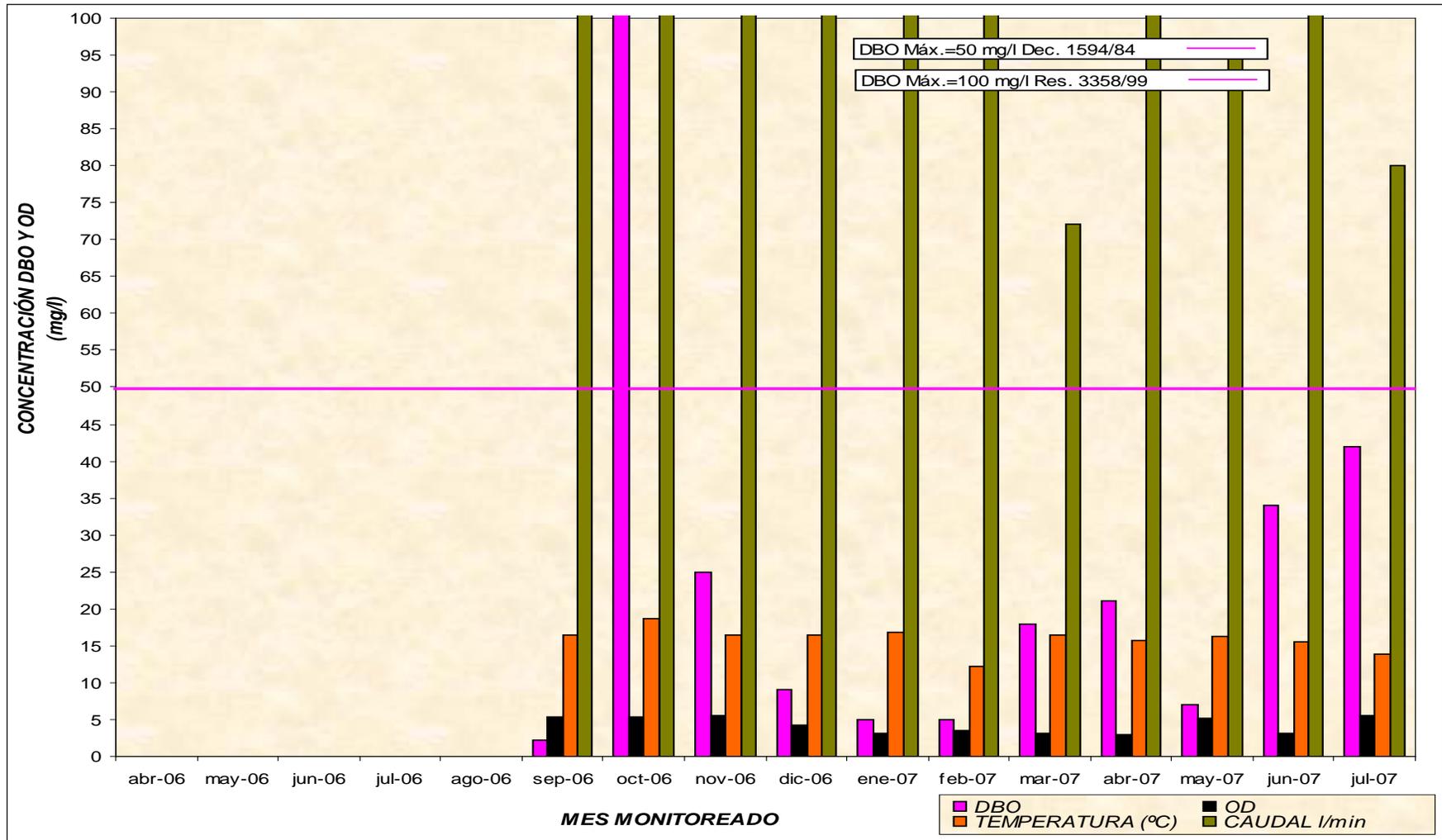
Gráfica 9. Variación en la concentración de DBO vs. Fósforo, quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.



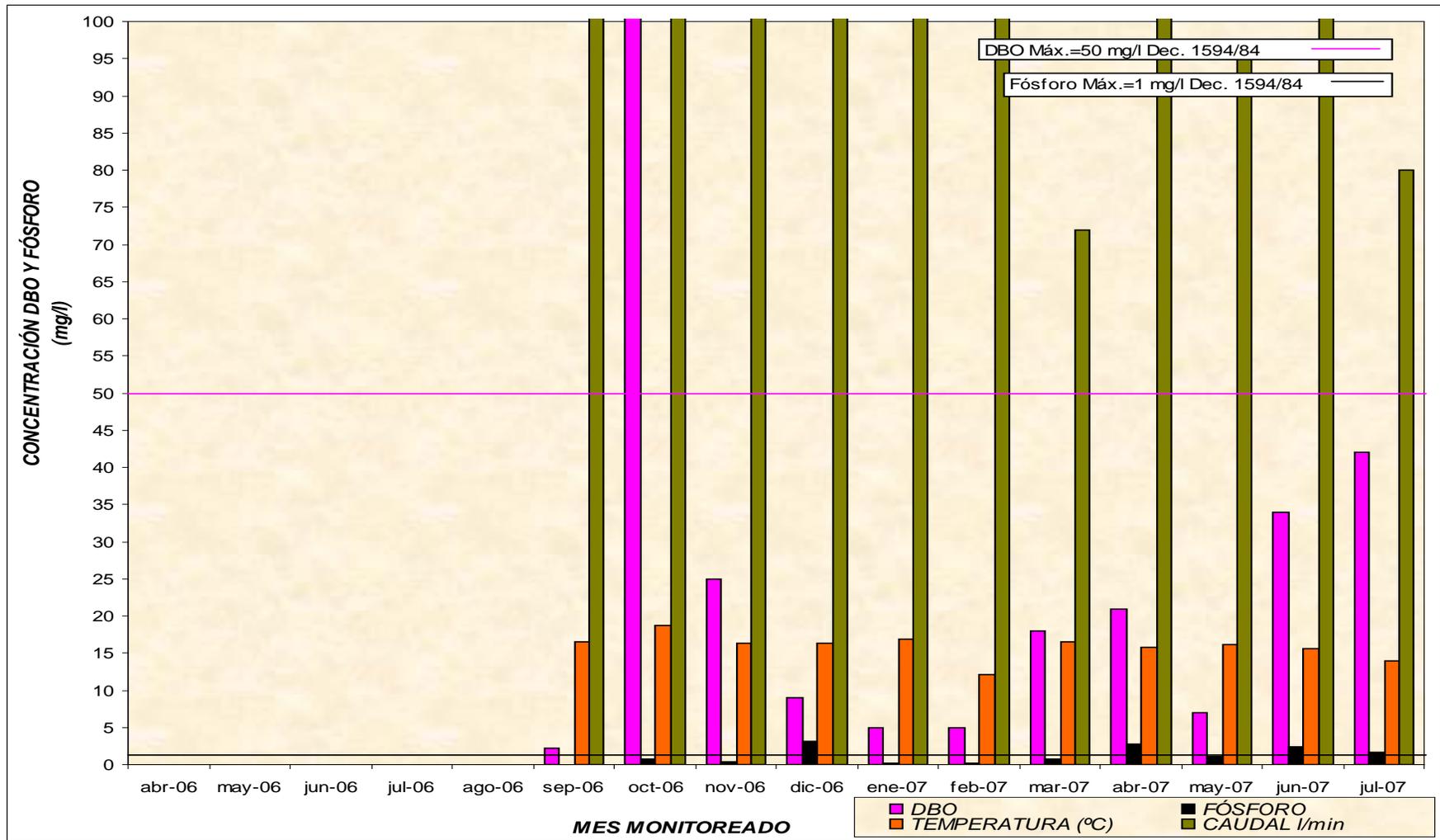
Gráfica 10. Variación en la concentración de DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada El Botello. Abril/2006 – julio/2007.

Tabla 9. Monitoreo histórico quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.

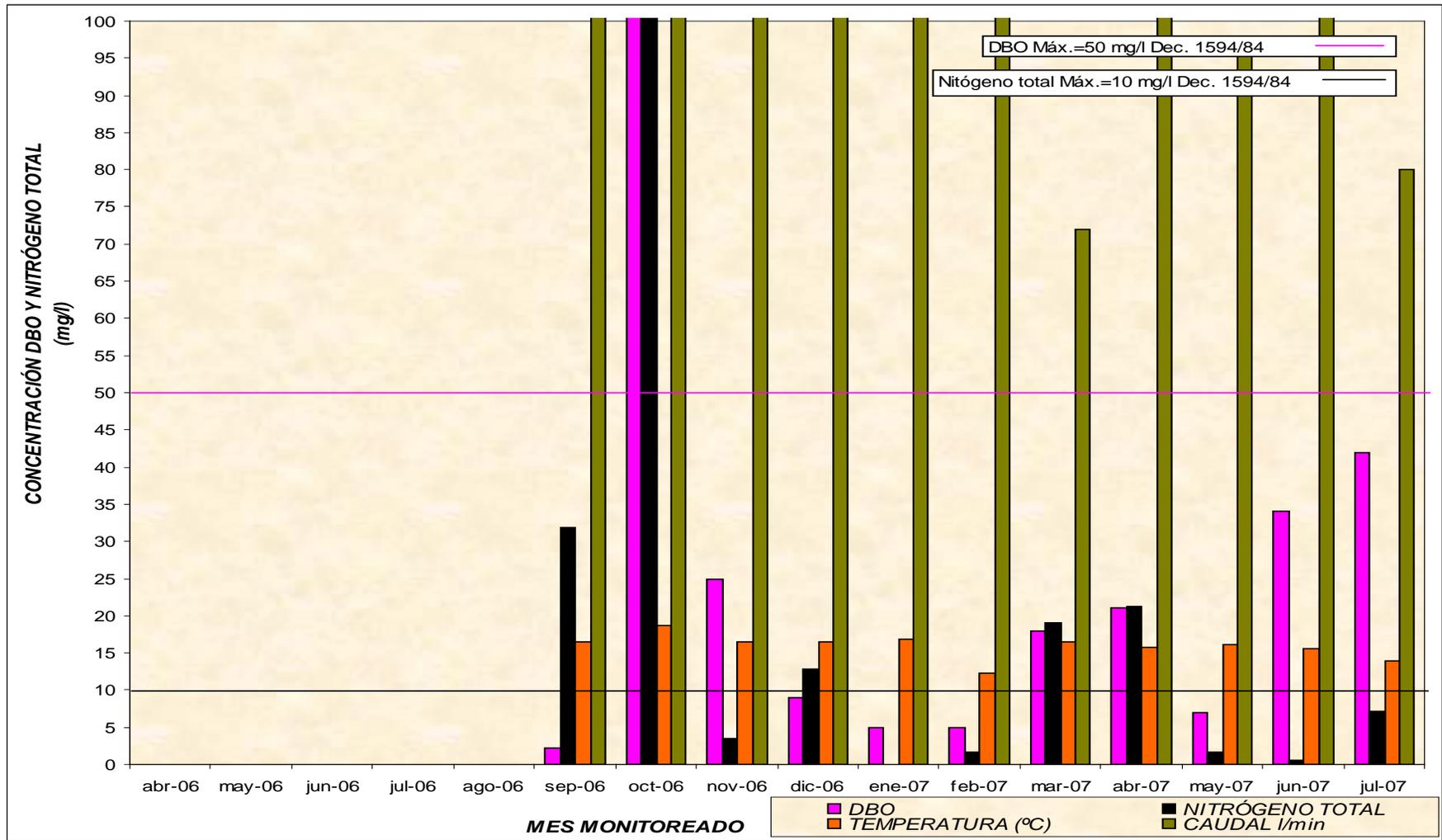
Quebrada Yerbabuena																		
Parámetro	Norma	Unidades	abr-06	may-06	jun-06	jul-06	ago-06	sep-06	oct-06	nov-06	dic-06	ene-07	feb-07	mar-07	abr-07	may-07	jun-07	jul-07
Caudal	—	L/min	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	196	460	325	180	330	140	72	102	96	320	80
Conductividad	500	microhmios / cm	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	85	3650	495	429	186	154	772	676	418	262	391
Coliformes fecales	—	UFC/100 mL	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	4000	1,9x10 ⁴	2,1x10 ⁴	9200	280	330	320	7900	5800	2100	150
DBO ₅	< 50	mg /L-O2	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	2,19	756	25	9	5	5	18	21	7	34	42
DQO	< 100	mg/L-O2	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	12	968	120	48	11	9	94	74	43	49	55
Fósforo	< 1	mg/L P	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	0,05	0,8	0,37	3,2	0,14	0,1	0,81	2,8	1,07	2,43	1,61
Grasas Aceites y	25	mg /L	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	< LD 6 mg/	< LD 6 mg/	9	8	< LD 6 mg/	7	< LD 6 mg/				
Nitrógeno total	< 10	mg /L	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	31,9	176	3,4	12,9	3,9	1,7	19	21,3	2	1	7,2
Sólidos suspendidos	< 75	mg/L-N	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	17	85	675	44	15	22	20	41	47	2786	18
pH	5,0-9,0		N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	6,2	8,1	7,9	7,46	7,43	6,5	6,85	7,7	7,8	7,47	7,93
Temperatura		°C	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	16,5	18,72	16,4	16,4	16,8	12,2	16,5	15,7	16,2	15,6	13,9
Oxígeno (mg/L)	—	mg/L-O2	N.M	N.M	N.M	N.M	N.M	5,4	5,4	5,6	4,18	3,2	3,5	3,05	3	5,12	3,1	5,6
PROGRAMADO		mg/L-SS	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Parámetros que sobrepasan el Dec. 1594/84						N.M	no muestreada				<L.D	Menor al límite de detección del equipo					
	DBO que sobrepasa el requerimiento CAR. Res. 3358 de 1990. DBOmax=100 mg/l y Dec. 1594/84																	



Gráfica 11. Variación en la DBO vs. OD, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.



Gráfica 12. Variación en la DBO vs. Fósforo, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.



Gráfica 13. Variación en la DBO vs. Nitrógeno Total, quebrada Yerbabuena. Abril/2006 – julio/2007.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de la calidad del agua de las quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello y Yerbabuena en su paso por el Relleno Sanitario Doña Juana y base fundamental del diagnóstico, se tuvo en cuenta la caracterización que se realiza a los cuerpos de aguas que hacen parte de la oferta ambiental en el área de influencia del Relleno Sanitario Doña Juana, en cumplimiento al Plan de Manejo Ambiental, que consiste en la medición de los siguientes parámetros fisicoquímicos: Conductancia Específica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo, Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, pH, Sólidos Suspendidos Totales, Sulfatos, Coliformes Fecales, Turbidez y Oxígeno Disuelto; sin embargo, se tomaron como indicadores de calidad, los parámetros fisicoquímicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Oxígeno Disuelto, Nitrógeno y Fósforo, con los cuales se mide la carga contaminante que transportar éstas quebradas.

Como complemento, se estructuró una Zonificación de Vulnerabilidad de contaminación, en donde se analizaron factores internos y externos que generan impactos al recurso hídrico del Relleno Sanitario Daña Juana.

Como referencia legal ambiental, los valores de las concentraciones de los indicadores, se comparan con los valores máximos permitidos en el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 3358 de 1990, como se muestra en la *Tabla 4* y en la *Tabla 5* respectivamente.

De acuerdo con lo anterior se tiene que:

10.1 QUEBRADA AGUAS CLARAS

Durante el periodo abril/2006 a julio/2007, se realizaron 16 monitoreos, los cuales consistieron en la toma de una (1) muestra por mes, analizada por el laboratorio ANALQUIM LDTA, debidamente certificado por el IDEAM.

De acuerdo con los resultados entregados por el laboratorio al operador PROACTIVA S.A. E.S.P., y consolidados para el periodo, por la Interventoría HMV-CONCOL (ver *Tabla 6*), se encontró que la quebrada Aguas Claras, en su recorrido por el Relleno Sanitario Doña Juana, presenta buenas condiciones de calidad, ya que los valores de DBO5 y pH, que se registraron durante el periodo de evaluación, no superaron los límites establecidos por el Dec. 1594/84 (Ver *Tabla 4*).

Para el caso del Fósforo y el Nitrógeno total, se puede ver en la *Gráfica 3* y *Gráfica 4*, que las concentraciones de éstos parámetros, se excedieron en el mes septiembre/2006 y marzo/2007, de acuerdo a lo permitido en el Dec. 1594/84 respectivamente. Esta variación se debe a que en la zona circundante de la quebrada, el suelo es utilizado para el cultivo de papa, arveja, habas y legumbres; lo que hace que la aplicación de agroquímicos y fertilizantes tengan su impacto directo en la calidad del agua de la quebrada; además el aumento del caudal en el mes de septiembre/2006, indica que en este mes las precipitaciones en la zona se incrementaron, lo que posiblemente contribuyó al aumento del Fósforo por el arrastre de los nutrientes contenidos en los fertilizantes utilizados en los predios vecinos.

10.2 QUEBRADA PUENTE BLANCO

Para el caso de la quebrada Puente Blanco, de los 16 meses de monitoreo correspondientes al periodo abril/2006 a Julio/2007, solo se obtuvo registros del mes de Abril/2006 a Diciembre/2006, debido a que se encontró sin caudal la quebrada, (Ver *Gráfica 4* y *Tabla 7*).

Para los meses en que se realizó monitoreo, el comportamiento en los niveles de DBO5 estuvieron en un rango de 2 mg/l. a 10 mg/l como se muestra en la *Gráfica 5*. De igual forma, la variación en las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno, estuvieron por debajo de lo establecido en el Dec. 1594/84, como se puede observar en la *Gráfica 6* y *Gráfica 10*.

Los valores de pH durante el periodo, abril/2006 y diciembre/2006, estuvieron dentro del límite máximo que permite el Dec. 1594/84, con valores entre 6,2 mg/l y 6,7 mg/l.

10.3 QUEBRADA EL BOTELLO

De la quebrada El Botello se tiene registro de 15 de los 16 meses de monitoreo programado, pues en el mes de Marzo/2007, la quebrada no presentó caudal para el monitoreo, (Ver *Tabla 8*)

De acuerdo con los datos obtenidos de los monitoreos realizados, se tiene que la quebrada El Botello presenta niveles altos de contaminación, ya que en los meses de mayo/2006, julio/2006, septiembre/2006, octubre/2006, mayo/2007 y julio/2007, la DBO superó el límite establecido por el Dec. 1594/84, debido a que estos niveles estuvieron entre un rango de 825 mg/l y 78 mg/l, como se muestra en la *Gráfica 8*.

La posible causa de estos niveles de DBO₅, puede ser consecuencia de contaminación con lixiviados, ya que dentro del Relleno Sanitario Doña Juana, se cuenta con una red de conducción de lixiviados, Ver Anexo 1. Plano No. 1, que los transporta a unos pondajes¹⁶ construidos para almacenamiento de estos, antes de ser tratados en la planta de tratamiento de lixiviados STL.

Este sistema está constituido por una red de tuberías especiales, canales en concreto y cajas de inspección, los cuales exigen mantenimiento continuo por el deterioro de los materiales con que fue construida esta red, debido a la composición química de los lixiviados.

El mantenimiento de esta red, consiste básicamente en retirar “partículas incrustadas”¹⁷ en la tubería, que son el resultado de la cristalización del lixiviado, como efecto de los cambios súbitos de la temperatura del lixiviado, así como otros factores no identificados; estas incrustaciones tienen como efecto el taponamiento de las tuberías de conducción, principalmente de la red que sale de Zona VIII hasta el Pondaje VII y desde éste hasta los Pondajes 1, lo que causa derrames ocasionales de lixivado, que por efecto de gravedad llegan a la quebrada.

¹⁶ Pondaje: piscinas de almacenamiento de lixiviados.

¹⁷ la composición de estas incrustaciones aún no ha sido caracterizada.

Teniendo en cuenta lo anterior y lo presentado en la *Tabla 3*, es muy probable que la causa de la contaminación de la quebrada El Botello, haya sido por brotes del lixiviado presentados en la red de conducción de Zona VIII, zona actual de disposición de residuos sólidos y mayor generadora de lixiviados.

10.4 QUEBRADA YERBABUENA

La quebrada Yerbabuena, presenta registros de monitoreo a partir del mes de septiembre/2006., debido a que anterior a esta fecha se monitoreaba otro cuerpo de agua y que fue sustituido en importancia por la quebrada Yerbabuena, (Ver *Tabla 9*).

De acuerdo con la información obtenida, la quebrada Yerbabuena para el mes de octubre/2006, (Ver *Tabla 9*), presentó una concentración de BDO de 756 mg/l, considerablemente superior a la permitida por la Res. 3358/90, (Ver *Tabla 5*).

La variación en la concentración de DBO, se produjo porque en este mes se registró aumento en las precipitaciones en el RSDJ y en la zonas circundante al relleno, directamente relacionadas con el aumento del caudal de este cuerpo de agua, (Ver *Tabla 9* y *Gráfica 11*), lo que aumentó el transporte de material orgánico hasta el punto donde se realizó la muestra.

Además, se tiene que la Cañada El Zorro y la Cañada El Sábado, son tributarias de la quebrada El Botello, la cual es afluente de la quebrada Yerbabuena, estas cañadas son utilizadas para abastecimiento del recurso hídrico en las empresas ladrilleras, que se ubican al occidente del Relleno Sanitario Doña Juana, y que además son utilizadas para verter los afluentes residuales del proceso de fabricación del ladrillo, lo que representa un aumento del material particulado que transportan las cañadas y la quebrada E Botello y que luego es depositado a la quebrada El Botello.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta para hacer el análisis de la calidad del agua de la quebrada Yerbabuena, es que una de las descargas de la red del alcantarillado de los barrios ubicados al occidente del Relleno, se hace sobre la quebrada el Botello, aguas abajo del punto de

muestreo de esta quebrada (Ver Plano 3 y Plano 4); por lo tanto, el aporte de contaminación de esta aguas servidas se ve reflejado en el punto de monitoreo de la quebrada Yerbabuena.

De igual forma, la quebrada El Mochuelo, que es utilizada por los habitantes de la vereda El Mochuelo Bajo como sistema de conducción de parte de sus aguas residuales domésticas, es tributaria de la quebrada Yerbabuena, lo que ocasiona que la calidad del agua de esta quebrada también se deteriore por estos afluentes.

Sin embargo, el aporte de otros drenajes al caudal y la masa vegetal de la ronda de protección de la quebrada, ayudan en el proceso de auto-depuración y contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua de la quebrada Yerbabuena.

10.5 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD DE CONTAMINACIÓN DE LAS QUEBRADAS AGUAS CLARAS, PUENTE BLANCO, EL BOTELLO Y YERBABUENA

La recopilación de la información extraída de los informes presentados por PROACTIVA S.A. E.S.P., los informes presentados por la Interventoría HMV-CONCOL, durante los meses de abril/2006 y julio/2007 y el análisis fisicoquímico, sirvieron como base para la estructuración de una zonificación de vulnerabilidad que permite ver con mayor detalle, las actividades y/o factores que influyen en la variación de la calidad del agua de las quebradas Aguas Claras, Puente Blanco, El Botello y Yerbabuena.

A continuación se describe con mayor detalle la metodología utilizada.

Para la estructuración de la Zonificación de Vulnerabilidad de Contaminación, se construyó una matriz, en donde se identificaron las actividades que por la operación del relleno sanitario generan impactos negativos sobre las quebradas. Adicionalmente, se plantearon niveles de vulnerabilidad, para poder establecer una valoración cuantitativa de cada una de las actividades y que efecto generan en cada uno de los cuerpos de agua que se están analizando.

Las actividades que se establecieron para realizar el análisis, se denominaron “factores de riesgo” las cuales se describen a continuación.

- Brotes de lixiviado: Son los aportes ocasionales de lixiviado que se presentan por obstrucciones e incidentes ocurridos durante el mantenimiento a la red de conducción de lixiviado.
- Proximidad a la zona de disposición: Es la contaminación que se presenta en las quebradas por estar cerca de la zona de disposición actual.
- Transporte de residuos sólidos: Es la contaminación que se presenta por residuos sólidos desprendidos de los vehículos que transportan los residuos sólidos o que el viento arrastra desde la zona de disposición hasta las quebradas.
- Afluente de aguas lluvias contaminadas con lixiviado: Son los aportes de aguas lluvias contaminadas con lixiviado, provenientes de la zona de disposición actual.

Estas actividades fueron valoradas haciendo una distribución porcentual entre 1 y 100, según el impacto que generan sobre la calidad del agua de las quebradas, teniendo en cuenta que la suma total llegara al cien por ciento (100%).

Tabla 10. Valoración de los factores de riesgo.

FACTORES DE RIESGO	VALORACIÓN
Brotes de lixiviado	25%
Proximidad a la zona de disposición	15%
Transporte de residuos sólidos	10%
Afluente de aguas lluvias contaminadas con lixiviado	20%
Afluente de quebradas externas	10%
Afluentes de aguas servidas	15%
Uso del suelo	5%
TOTAL	100%

Como se puede ver en la *Tabla 10*, el factor que mayor impacto causa sobre la contaminación de las quebradas es el brote de lixiviados (25%) y el de menor impacto es el uso del suelo (5%).

Luego de tener la valoración de los factores de riesgo, se establecieron tres niveles de riesgo: bajo, medio y alto. Posteriormente se planteó una escala de valoración para cada uno de los niveles: 1, 2 y 3 respectivamente, tal como se muestra en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Niveles de vulnerabilidad.

NIVEL	VALOR
ALTO	3
MEDIO	2
BAJO	1

Luego de obtener la valoración de los niveles de riesgo, *Tabla 10* y los niveles de vulnerabilidad *Tabla 11*, se construyó una matriz que permite observar cuales son los factores de riesgo que afectan a cada una de las quebradas y el nivel de vulnerabilidad que presenta cada quebrada por cada factor de riesgo.

Teniendo la matriz construida, se procedió a realizar una multiplicación de los valores de los factores de riesgos por su correspondiente nivel de vulnerabilidad, finalmente se realizó una suma de los valores obtenidos en cada quebrada, (Ver *Tabla 12*)

Tabla 12. Matriz de calificación de los factores de riesgo.

QUEBRADA	AGUAS CLARAS			PUENTE BLANCO			EL BOTELLO			YERBABUENA		
	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
NIVELES DE VULNERABILIDAD												
FACTORES DE RIESGO												
Brotos de lixiviado							(0,25*3)					(0,25*1)
Proximidad a la zona de disposición					(0,15*2)			(0,15*2)				
Transporte de residuos sólidos					(0,10*2)				(0,10*1)			
Afluente de aguas lluvias contaminadas con lixiviado						(0,20*1)		(0,20*2)				
Afluente de quebradas externas		(0,10*2)				(0,10*1)		(0,10*2)			(0,10*2)	
Afluentes de aguas servidas			(0,15*1)							(0,15*3)		
Uso del suelo		(0,05*2)										
SUBTOTAL		0,3	0,15		0,5	0,3	0,75	0,9	0,1	0,45	0,2	0,25
TOTAL		0,45			0,8			1,75			0,9	

Luego de la suma obtenida en cada quebrada, se establecieron tres rangos de vulnerabilidad: alto, medio y bajo, los cuales fueron valorados haciendo una distribución entre el valor más alto y el valor más bajo obtenido en la suma, permitiendo así, determinar que tan vulnerable era cada una de las quebradas. Estos rangos se diferenciaron con un color diferente: rojo, amarillo y verde, (Ver *Tabla 13*).

Tabla 13. Rangos de vulnerabilidad

NIVEL DE VULNERABILIDAD	RANGO	COLOR
ALTO	1,4 – 2,0	
MEDIO	0,7 – 1,3	
BAJO	0,0 – 0,6	

Con base en estos rangos de vulnerabilidad, se identificó la vulnerabilidad de cada una de las quebradas como se muestra en la *Tabla 14*, lo cual permitió establecer la zonificación de vulnerabilidad de los cuerpos de agua en el Relleno Sanitario Doña Juana, como se presenta en el Anexo 1. Plano No. 2.

Tabla 14. Matriz de Vulnerabilidad

QUEBRADA	VULNERABILIDAD		
	ALTO	MEDIO	BAJO
AGUAS CLARAS			
PUENTE BLANCO			
EL BOTELLO			
YERBABUENA			

11. CONCLUSIONES

La calidad del agua de las quebradas Puente Blanco y Aguas Claras, en su paso por el Relleno Sanitario Doña Juana, de acuerdo con los monitoreos realizados en el periodo comprendido entre los meses de Abril/2006 a Julio/2007, es aceptable dentro de los parámetros establecidos por el decreto 1594 de 1984, lo que muestra que la operación de Relleno no afecta la calidad del agua de estas quebradas, sin embargo, la vulnerabilidad de la quebrada Puente Blanco es Media respecto a la quebrada Aguas Claras que es Baja, debido a su cercanía a la actual zona de disposición.

La quebrada El Botello, por encontrarse en la zona de influencia de la red de conducción de lixiviado, está más expuesta a ser afectada por los brotes de lixiviado que se presentan por la obstrucción de la red de conducción de lixiviado, lo que hace que la zona se clasifique como zona de vulnerabilidad Alta.

La calidad del agua de la quebrada Yerbabuena, depende en gran medida de los aportes que realizan otros afluentes a la quebrada, y en menor proporción de las actividades que se realizan por la operación del Relleno Sanitario Doña Juana, lo cual incide en la clasificación de la vulnerabilidad Media de la quebrada.

12.RECOMENDACIONES

- Es necesario que se realice el estudio para la conexión de la red interna de alcantarillado del la vereda el Mochuelo Bajo con la red de alcantarillado de la ciudad de Bogotá, ya que las aguas domésticas que se generan son vertidas directamente al cauce de la quebrada El Botello Y El Mochuelo, las cuales descargan su caudal en la quebrada Yerbabuena.

- Para el análisis real y completo de la carga contaminante que trasportan las quebradas al interior del Relleno Sanitario Doña Juana, es necesario y se recomienda que se realicen monitoreos a los cuerpos de agua que son tributarios de éstos, incluyendo dos nuevos puntos de monitoreo tal como se muestra en el Anexo 3. Plano No 3, los cuales estarían ubicados topográficamente bajo las siguientes coordenadas.
 - PMN1: antes de la descarga de la cañada el Zorro a la quebrada El Botello.
 - Norte: 90.063,05
 - Este: 93.424,17
 - Altura: 2.775 m.s.n.m.

 - PMN2: después de la descarga de la caña el Zorro a la quebrada El Botello.
 - Norte: 90.367,89
 - Este: 93.503,77
 - Altura: 2.740 m.s.n.m.

 - PMN3: después de la descarga de la quebrada El Mochuelo a la quebrada el Botello.
 - Norte: 90.525,62
 - Este: 93.852,91
 - Altura: 2.690 m.s.n.m.

- Para evitar derrames de lixiviado a la Quebrada El Botello, se propone lo siguiente:
 - Construir canales perimetrales a las cajas de inspección de la red de conducción de lixiviados, las cuales son las más afectadas por los taponamientos causados por las incrustaciones en la tubería de la red de conducción del lixiviado; para evitar derrames que pueden contaminar el suelo y por consiguiente los cuerpos de agua del relleno sanitario.
 - Realizar la construcción de un canal de contingencia para evitar derrames, que cuando se presenten obstrucciones en la red principal de lixiviados, y así evitar la contaminación del suelo y por consiguiente de los cuerpos de agua que existen en el relleno. La localización de este canal se plantea de cómo se muestra en el Anexo 3. Plano No 3, el cual estaría ubicado por la margen izquierda de la vía principal de acceso a la Zona VIII, referenciado topográficamente bajo las siguientes coordenadas:
 - Punto de inicio:
 - Norte: 89.447,32
 - Este: 92.949,47
 - Altura: 2.830 m.s.n.m.
 - Punto final:
 - Norte: 89.893,91
 - Este: 93.173,36
 - Altura: 2.750
 - Longitud total del canal de contingencia: 1.159,93 m.
 - Sección del canal: 1.00 x 1.20¹⁸
- Se recomienda que las Autoridades Ambientales competentes, realicen un estudio de los

¹⁸ Longitudes referenciadas con base en parte de la red de conducción de lixiviados actual, que esta construida en canal.

suelos aptos para uso agrícola y pecuario, y además delimiten los suelos de protección ambiental, ya que no se están respetando las rondas hídricas de las quebradas, pues se está cultivando a la orilla de estas y se están talando los bosque de ronda para la ampliación de la frontera agrícola.

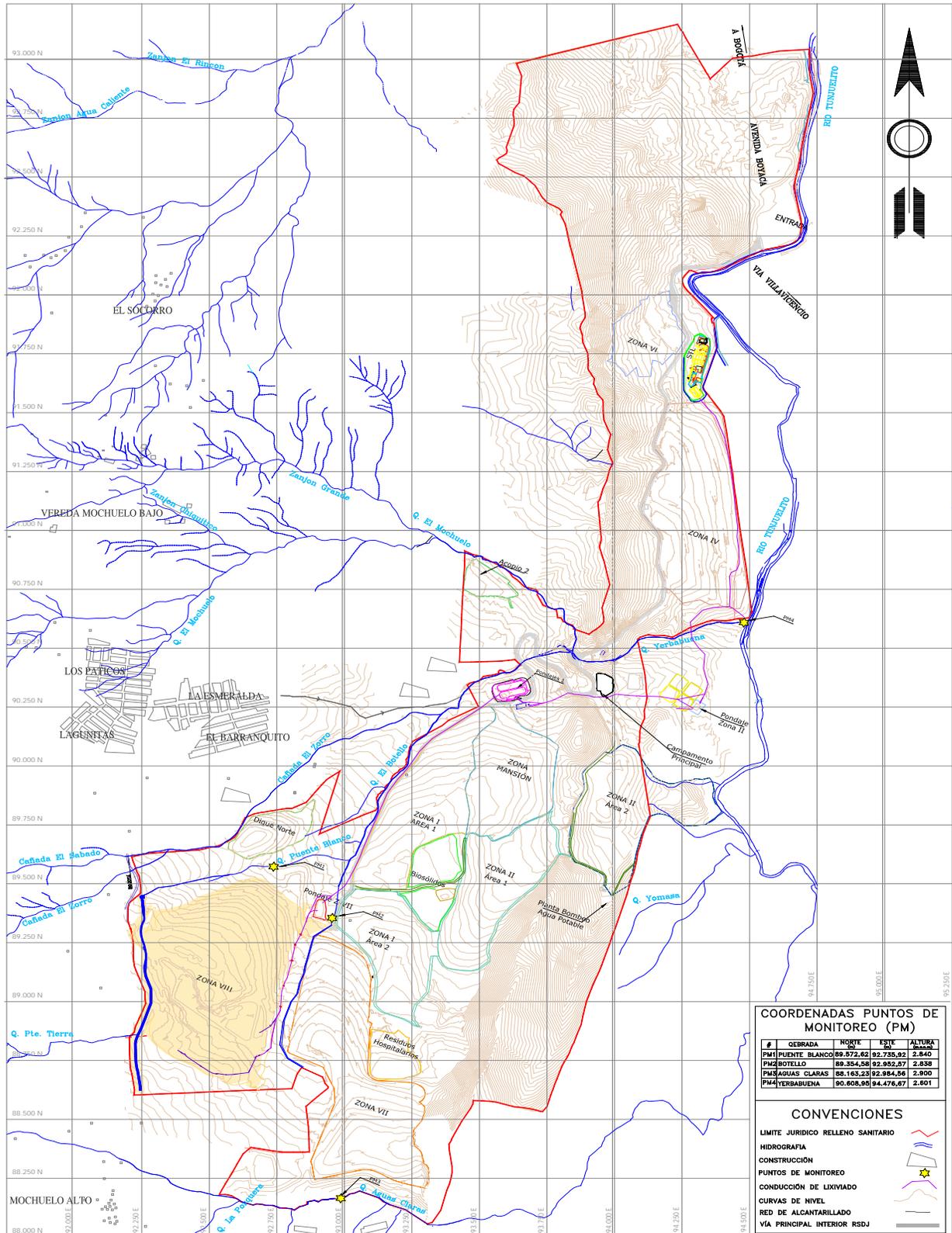
13.BIBLIOGRAFÍA

- Gestión y Desarrollo S.A. Estudio de Impacto Ambiental Relleno Sanitario Doña Juana Zona VIII. Capitulo 1. 2000.
- Gestión y Desarrollo S.A. Estudio de Impacto Ambiental Relleno Sanitario Doña Juana Zona VIII. Capitulo 3. 2000.
- Gestión y Desarrollo S.A. Estudio de Impacto Ambiental Relleno Sanitario Doña Juana Zona VIII. Capitulo 5. 2000.
- Interventoría Consorcio HMV-CONCOL. Informes mensuales enero/2006 a julio/2007.
- Nota de clase Gestión de Residuos Sólidos, Edith Alayón. Universidad El Bosque 2006.
- PROACTIVA COÑA JUANA S.A. E.S.P. Resumen Ejecutivo, informes mensuales de abril/2006 a julio/2007.
- Sawyer C, Perry L. & Mc C. (2001). Química para Ingeniera Ambiental. Mc Graw-Hill.
- Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Tomado de http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11437484041gr-01_02-definicion_pag15-24.pdf
- Contraloría general de la Nación. Agenda ciudadana de Control Fiscal Participativo sobre Residuos en Colombia. Tomado de http://www.contraloriagen.gov.co:8081/internet/central_doc/Archivos/312/residuos.pdf
- Galdames O. Domingo. Ingeniería Ambiental y Medio Ambiente en Residuos Solidos. Tomado de <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>
- Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Tomado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18718>

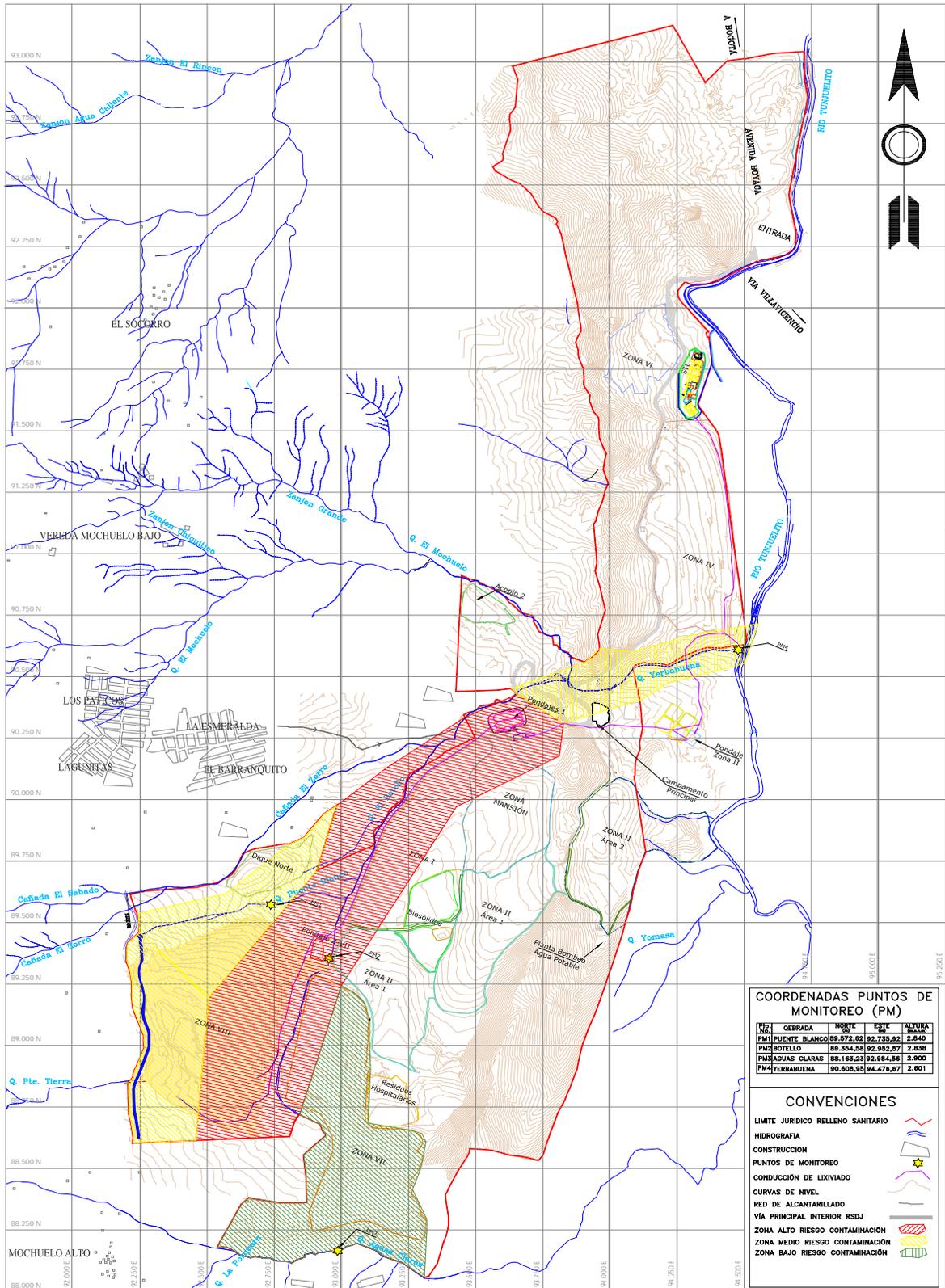
14. ANEXOS

PLANO No.1

PLANO GENERAL Y UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

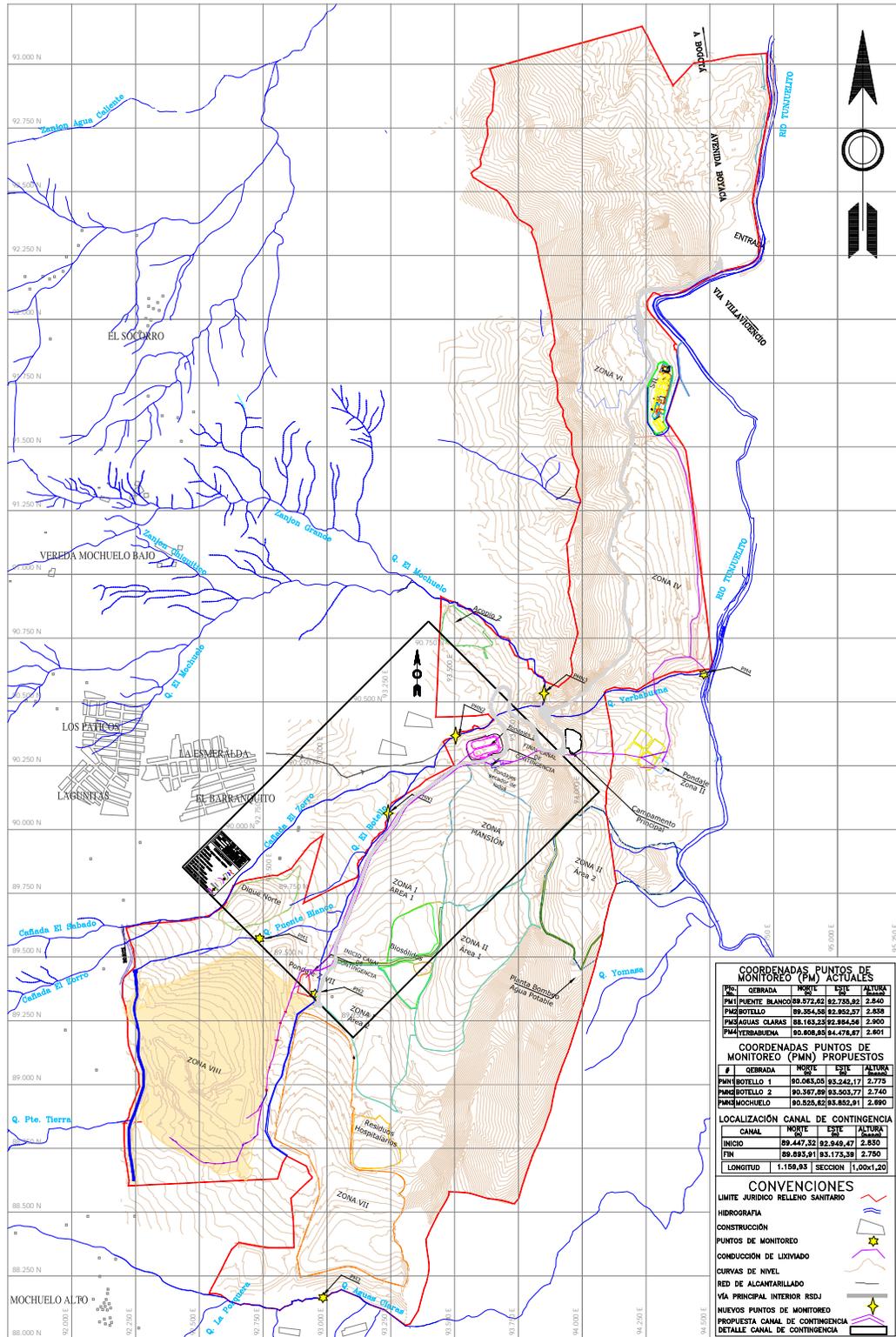


PLANO No.2
ZONIFICACIÓN DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN



PLANO No.3

**PROPUESTA NUEVOS PUNTOS DE MONITOREO
LOCALIZACIÓN NUEVO CANAL DE CONTINGENCIA**



PLANO No.3.1
DETALLE PROPUESTA
NUEVO CANAL DE CONTINGENCIA

