

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
CONTAMINACIÓN EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO POR CROMO Y
ZINC, EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO – CUNDINAMARCA
(SUB - CUENCA DEL RIO CHICÚ)**

**MARÍA MARGARITA DURÁN ARROYO
DIEGO ALEJANDRO CIABATO JIMÉNEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2011**

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA
CONTAMINACIÓN EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO POR CROMO Y
ZINC, EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO – CUNDINAMARCA
(SUB - CUENCA DEL RIO CHICÚ)**

**MARÍA MARGARITA DURÁN ARROYO
DIEGO ALEJANDRO CIABATO JIMÉNEZ**

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingenieros Ambientales y Sanitarios**

**Director
Ricardo Campos
Ingeniero Agrónomo
M.Sc Fertilizantes y medio ambiente**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2011**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Jurado

Jurado

Bogotá D. C., Septiembre de 2011

Este trabajo de grado está dedicado a:

A Dios por regalarme la fortaleza, salud y fe para poder culminar esta gran etapa de mi vida.

A mis padres José Guillermo y Luz Marina, por darme la vida, por creer en mí y permitirme cumplir este gran sueño, por su inmenso amor y compañía, que aunque la distancia durante estos cinco años fue dura, no fue un impedimento para estar cerca, porque desde pequeña me enseñaron a luchar por mis metas. Este triunfo es de ustedes. Los amo !!

A mi hermana Camila Andrea, gracias por estar conmigo siempre, por apoyarme en los momentos difíciles, mi amiga incondicional, por no dudar en ningún momento que cumpliría este triunfo, te adoro hermanita.

A tí amor, por ser mi apoyo incondicional durante estos cinco años, colega, amigo, y compañero, gracias por tu comprensión y ayuda día a día, gracias por estar conmigo siempre y recuerda que eres muy importante para mí. Te amo.

María Margarita Durán Arroyo.

Este trabajo de grado está dedicado a:

A Dios ya que me ha brindado la fortuna de tener una familia maravillosa.

A mi mamá debido a que es un símbolo de lucha ante las adversidades, de brindarme un gran amor y por formarme como una persona ética.

A mi papa, mi compañero de juegos, por sus consejos, por su ayuda incondicional en los momentos más difíciles y por el gran amor que me ha brindado.

A mi abuelita o mamá por el apoyo incondicional en mi carrera y por formarme como una persona íntegra.

A mi hermana la cual es mi Ángel, y sé que desde donde esta me está apoyando ante las adversidades que se me presenten.

A mi chiquita la cual es la personita más importante de mi vida, debido a que es un regalo de Dios, y sé que siempre estará a mi lado.

A mi princesa que me ha acompañado durante estos cinco años inolvidables, por su apoyo, por su amor, y por ser una mujer tan especial en mi vida, Te amo....

Diego Alejandro Ciabato Jiménez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Al Ingeniero Ricardo Campos Segura, Director de esta investigación, por su apoyo, paciencia y aporte – técnico conceptual para el desarrollo del presente proyecto.

Al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle en especial al Ingeniero Oscar Contenido por su gran colaboración y apoyo científico.

A Adrianita secretaria del programa de Ingeniería Ambiental y sanitaria, pues siempre nos apoyo, colaboró y compartió con nosotros cada etapa del proyecto.

Al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, quienes sabiamente y con cariño nos guiaron en el proceso de formación profesional y personal.

A las empresas de Servicios Públicos de los municipios de Tabio y Tenjo (Cundinamarca), por su colaboración e información suministrada.

A Iván Velásquez, pues contribuyó en el desarrollo del presente proyecto.

RESUMEN

El presente proyecto se realizó con la finalidad de evaluar los impactos ambientales asociados a la contaminación en agua, suelo y sedimento por Cromo y Zinc, en la sub - cuenca del Rio Chicú en los municipios de Tabio y Tenjo (Cundinamarca). Esta investigación es un indicador o punto de partida en el estado de las fuentes de contaminación a la cuenca media del Rio Bogotá, enfocado especialmente a metales pesados como el cromo y el zinc.

En el desarrollo del proyecto se determinaron las concentraciones de Cromo y Zinc, y parámetros fisicoquímicos para agua, suelo y sedimento, donde se observaron diferencias marcadas en las concentraciones. También se señaló la calidad de la sub – cuenca a partir de la comparación con las normas legales vigentes en Colombia para agua, y normas legales internacionales para suelo y sedimento.

Cabe aclarar que para la ejecución del proyecto se tuvo en cuenta un estudio realizado por la CAR – Cundinamarca titulado: “Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Rio Bogotá, sub-cuenca del Rio Chicú”, en el cuál se indican diferentes puntos representativos para la toma de muestras, por lo cual se buscó actualizar y complementar no sólo la calidad del agua sino que además, se tuvo en cuenta el suelo y el sedimento, para así tener mayor representatividad al momento de evaluar los impactos ambientales asociados a la sub – cuenca del Rio Chicú.

Por otra parte, se realizó un diagnóstico situacional enfocado a la identificación de las posibles causas de contaminación y la influencia poblacional en la sub – cuenca, lo anterior se logró mediante la aplicación de

listas de verificación en las cuales se identificaron los impactos ambientales más relevantes de la zona de estudio según las actividades económicas desarrolladas. Finalmente, con la identificación de los impactos ambientales se procedió a aplicar herramientas de matrices de impacto ambiental (Leopold) y DOFA, donde su finalidad fue evaluar dichos impactos ambientales para así, proponer alternativas de prevención y mitigación de estos impactos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	16
LISTA DE ANEXOS.....	17
INTRODUCCIÓN.....	18
OBJETIVOS.....	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
1. MARCO TEÓRICO.....	21
1.1 Generalidades de la Cuenca del Río Bogotá.....	21
1.2 Generalidades Sub - Cuenca del Río Chicú.....	22
1.2.1 Localización	22
1.2.2 Clima	23
1.2.3 Hidrogeología	23
1.2.4 Entorno ambiental	23
1.2.5 Suelos	24
1.3 Generalidades Municipio de Tabio	26
1.3.1 Localización	26
1.3.2 Población	27
1.3.3 Economía	27
1.4 Generalidades del municipio de Tenjo	27
1.4.1 Localización	27
1.4.2 Población	28

1.4.3 Economía	29
1.5 Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	29
1.5.1 Textura	29
1.5.2 Potencial de Hidrógeno (pH)	30
1.5.3 Materia Orgánica (MO).....	31
1.5.4 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	33
1.5.5 Salinidad	33
1.5.6 Conductividad eléctrica del extracto de saturación	34
1.6 Metales pesados	34
1.6.1 Cromo (Cr)	35
1.6.2 Zinc (Zn).....	38
1.6.3 Contaminación del suelo por metales pesados	40
1.6.4 Comportamiento de los metales pesados en sedimentos	41
1.7 Evaluación de Impacto Ambiental	42
1.7.1 Listas de Verificación	43
1.7.2 Matriz de Leopold.....	43
1.7.3 Matriz DOFA.....	44
2. MARCO LEGAL	45
3. ESTADO DEL ARTE	47
4. METODOLOGÍA	52
4.1 FASE 1. Investigación documental.....	52
4.1.1 Etapa 1. Universidades y Centros de Investigación	52
4.1.2. Etapa 2. Entidades Públicas	53

4.1.3. Etapa 3. Revisión de Normas Vigentes.....	54
4.2 FASE 2. Investigación de campo.....	54
4.2.1 Etapa 1. Reconocimiento del sitio	54
4.3. FASE 3. Ejecución operativa	55
4.3.1. Etapa 1. Toma de muestra	55
4.3.2. Etapa 2. Determinación analítica de muestras	56
4.4 FASE 4. Procesamiento de datos.....	58
5. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	60
5.1 Identificación de los puntos de muestreo	60
5.1.1 Punto 1. Bocatoma acueducto.	60
5.1.2 Punto 2. Antes de la PTAR de Tabio.....	61
5.1.3 Punto 3. Después del vertimiento de PTAR Tabio	64
5.1.4 Punto 4. Antes de la PTAR de Tenjo.....	66
5.1.5 Punto 5. Después del vertimiento PTAR Tenjo	68
6. IDENTIFICACIÓN DE LA CALIDAD EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO	69
6.1 Plan de muestreo	69
6.2 Identificación de la calidad del agua.....	70
6.2.1 Comparación con la normatividad legal vigente	82
6.2.2 Actualización de datos (Sub – cuenca del rio Chicú)	84
6.3 Identificación de la calidad del suelo	88
6.3.1 Comparación con la normatividad legal vigente	99
6.4 Identificación de la calidad del sedimento	101
6.4.1 Comparación con la normatividad legal vigente	108

7. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	109
8. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	110
8.2 Matriz de Leopold	110
8.2 Matriz DOFA.....	114
9. ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	119
10. CONCLUSIONES	123
11. RECOMENDACIONES.....	127
12. BIBLIOGRAFIA.....	129

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Población Municipio de Tenjo	28
Tabla 2. Efecto del pH y sus efectos en el suelo.	31
Tabla 3. Estimativo de materia orgánica en los suelos.	32
Tabla 4. Estimativo de CIC.	33
Tabla 5. Propiedades del Cromo.	36
Tabla 6. Propiedades del Zinc.	38
Tabla 7. Marco legal.	45
Tabla 8. Puntos de muestreo.	53
Tabla 9. Parámetros in situ en agua, suelo y sedimento.	56
Tabla 10. Parámetros a evaluar en agua, suelo y sedimento.	57
Tabla 11. Resultados de pH en el agua.	71
Tabla 12. Resultado de Conductividad en el agua.	72
Tabla 13. Resultados de Sólidos disueltos totales en el agua.	73
Tabla 14. Resultados de Sólidos Sedimentables en el agua.	75
Tabla 15. Resultados de DBO en el agua.	76
Tabla 16. Resultados de DQO en el agua.	78
Tabla 17. Resultados de Cromo total en el agua.	79
Tabla 18. Resultados de Zinc en el agua.	80
Tabla 19. Comparación con la normatividad legal vigente – Decreto 1584 de 1984	83
Tabla 20. Comparación con la normatividad legal vigente – Acuerdo 043 de 2006.	84
Tabla 21. Resultados de pH en el Suelo.	88
Tabla 22. Resultados de CIC en el Suelo.	90
Tabla 23. Resultados de materia orgánica en el Suelo.	91
Tabla 24. Resultados de salinidad en el Suelo.	93
Tabla 25. Resultados de conductividad eléctrica en el Suelo.	94
Tabla 26. Resultados de humedad en el suelo	96

Tabla 27. Resultados de cromo total en el Suelo.	97
Tabla 28. Resultados de Zinc en el Suelo.	98
Tabla 29. Comparación con la normatividad legal vigente de Canadá en el suelo	100
Tabla 30. Comparación con la normatividad legal vigente de España en el suelo	100
Tabla 31. Resultados de Humedad en el sedimento.	102
Tabla 32. Resultados de pH en el sedimento.	103
Tabla 33. Resultados de Materia orgánica en el sedimento.	104
Tabla 34. Resultados de Cromo total en el sedimento.	106
Tabla 35. Resultados de Zinc en el sedimento.	107
Tabla 36. Comparación con la normatividad legal vigente de Canadá en el sedimento.	108
Tabla 37. Rangos de magnitud.	111
Tabla 38. Rangos de importancia.	112
Tabla 39. Sumatoria de componentes para los municipios de Tabio y Tenjo.	113
Tabla 40. Sumatoria por actividades económicas para los municipios de Tabio y Tenjo	114
Tabla 41. Matriz DOFA para los municipios de Tabio y Tenjo	115

LISTA DE GRÁFICAS

Grafica 1. Resultados de pH en el agua en el agua.	71
Grafica 2. Resultado de Conductividad en el agua.	73
Grafica 3. Resultados de Sólidos disueltos totales en el agua.	74
Grafica 4. Resultados de Sólidos sedimentables en el agua.	76
Grafica 5. Resultados de DBO en el agua.	77
Grafica 6. Resultados de DQO en el agua.	78
Grafica 7. Resultados de Cromo total en el agua.	80
Grafica 8. Resultados de Zinc en el agua.	81
Grafica 9. Datos históricos de pH.	85
Grafica 10. Datos históricos de DQO.	86
Grafica 11. Datos históricos de DBO.	87
Grafica 12. Resultados de pH en el Suelo.	89
Grafica 13. Resultados de CIC en el suelo.	91
Grafica 14. Resultados de materia orgánica en el Suelo.	92
Grafica 15. Resultados de salinidad en el Suelo.	94
Grafica 16. Resultados de conductividad eléctrica en el Suelo.	95
Grafica 17. Resultados de humedad en el suelo	96
Grafica 18. Resultados de cromo total en el Suelo.	98
Grafica 19. Resultados de Zinc en el Suelo.	99
Grafica 20. Resultados de Humedad en el sedimento.	102
Grafica 21. Resultados de pH en el sedimento.	104
Grafica 22. Resultados de Materia orgánica en el sedimento.	105
Grafica 23. Resultados de Cromo total en el sedimento.	106
Grafica 24. Resultados de Zinc en el sedimento.	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sub – cuenca del Rio Chicú, perteneciente a la cuenca Media del rio Bogotá.	22
Figura 2. Localización del municipio de Tabio.	26
Figura 3. Localización del municipio de Tenjo.	28
Figura 4. Punto 1. Bocatoma.	60
Figura 5. Punto 2. Antes de la PTAR de Tabio.	61
Figura 6. Cultivos entre punto 1 y 2.	62
Figura 7. Industrias entre puntos 1 y 2.	63
Figura 8. Punto 3. Después del vertimiento PTAR de Tabio.	64
Figura 9. Accesibilidad punto 3.	65
Figura 10. Punto 4. Antes de la PTAR de Tenjo.	66
Figura 11. Actividades económicas en el punto 4.	67
Figura 12. Punto 5. Después del vertimiento PTAR de Tenjo.	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Listas de verificación.

Anexo 2. Matriz de Leopold para el municipio de Tabio y Tenjo.

Anexo 3. Registro fotográfico.

Anexo 4. Canadian soil and sediment quality guidelines for the Protection of the Environmental and Human Health.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, según su constitución política se establece que es deber del Estado proteger y conservar las áreas de especial importancia ecológica, además de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Aunque, desafortunadamente en gran parte de las áreas naturales del territorio nacional, no se cumple con este postulado; es así, como el Rio Bogotá, una de las cuencas con mayor importancia, está catalogado como uno de los ríos más contaminados del mundo y su deterioro ambiental es evidenciable. El estado por su parte ha tratado de realizar innumerables estudios con el fin de restablecer las condiciones naturales de la cuenca, pero no se ha observado efectividad en la práctica.

Una de las mayores problemáticas por la contaminación de esta cuenca es que sus aguas son captadas para riego en los diferentes cultivos ubicados en la ronda del Rio. Se debe agregar que, aunque en los últimos años se han incorporado nuevas tecnologías con el fin de aumentar la cantidad y calidad de producción agropecuaria, esto ha dado un mayor deterioro ambiental debido a la utilización de agroquímicos y pesticidas.

Por tal motivo, es necesario identificar los impactos ambientales asociados a las sub-cuencas que alimenta al Rio Bogotá, ya que es allí donde se deben realizar programas para la disminución de la carga contaminante y no cuando son descargadas en el Rio Bogotá. Con lo anterior, la Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca, realizó un estudio en el cual evaluó la calidad del Rio Chicú en el año 2006 y el presente proyecto, va encaminado a

actualizar los valores obtenidos por la CAR, con el fin de evaluar el impactos ambientales generados por la contaminación de Cromo y Zinc en agua, suelo y sedimento, los cuales pueden llegar a ser tóxicos para la salud humana y el medio ambiente, ya que la sub-cuenca del Rio Chicú descarga sus aguas en la cuenca media del Rio Bogotá.

Para evaluar los impactos ambientales será necesario determinar la concentración de Cromo y Zinc, esto con el fin de comparar con las normas legales vigentes, además de identificar el estado actual de contaminación por estos metales. Así mismo, se tendrán en cuenta listas de verificación, en las cuales se identificarán los impactos ambientales significativos para así procesarlos en una matriz de Leopold, midiendo el grado de impacto que se tiene en la sub-cuenca.

Con lo anterior se realizó una matriz DOFA, la cual permite examinar las interacciones entre las características particulares y el entorno. Finalmente, con las concentraciones identificadas de los metales pesados, listas de verificación y las matrices de Leopold y DOFA, se determinaron alternativas de prevención y mitigación con el fin de disminuir los problemas de contaminación por Cromo y Zinc.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar los impactos ambientales asociados a la contaminación en agua, suelo y sedimento por Cromo y Zinc, en Los municipios de Tabio y Tenjo – Cundinamarca (sub - cuenca del Rio Chicú).

Objetivos Específicos

- Determinar la concentración por Cromo y Zinc en agua, suelo y sedimento en la sub-cuenca del Rio Chicú.
- Comparar los datos obtenidos con el estudio realizado por la CAR dentro del área de Tabio y Tenjo (Cundinamarca) y las normas legales vigentes nacionales e internacionales.
- Evaluar los impactos ambientales por las concentraciones de Cromo y Zinc, determinando las causas y probables efectos de estos.
- Proponer alternativas para disminuir la concentración de Cromo y Zinc en agua, suelo y sedimento correspondientes a la Sub-cuenca del Río Chicú.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades de la Cuenca del Río Bogotá¹

El Río Bogotá nace al nor-orienté del municipio de Villapinzón, a 3.300 msnm y sus aguas fluyen hacia el suroeste para desembocar en el Río Magdalena, en Girardot a 280 msnm. En su recorrido drena las aguas de 6.000 kilómetros cuadrados, donde habitan alrededor de 8,04 millones de habitantes en 42 municipios, incluyendo el Distrito Capital, y se proyecta que la población supere los 12 millones de habitantes para el 2020. Es decir, en la cuenca del Río Bogotá habita cerca del 19% de la población del país, a lo cual se suma que se genera alrededor del 26% de la actividad económica nacional.

En su recorrido de 336 Km, el Río Bogotá recibe las aguas de los ríos Sisga, Neusa, Tibitóc, Tejar, Negro, Teusacá, Frío, Chicú, Salitre, Fucha, Tunjuelito, Siecha, Balsillas, (que a su vez recoge las aguas de los ríos Subachoque y Bojacá), Calandaima y Apulo. Dicho recorrido se puede caracterizar en tres tramos: (i) Cuenca Alta del Río al norte de Bogotá, con una longitud de 145 Km desde su nacimiento hasta el lugar conocido como La Virgen, (ii) Cuenca Media con unos 68 Km, desde La Virgen hasta Alicachín, en el extremo sur de la Sabana de Bogotá; y, (iii) Cuenca Baja, con una longitud de 123 Km, hasta la desembocadura en el Río Magdalena. La Cuenca Media, puede dividirse a su vez en Cuenca Media Occidental y Cuenca Media Oriental, en la cual se hará referencia directa al Distrito Capital.

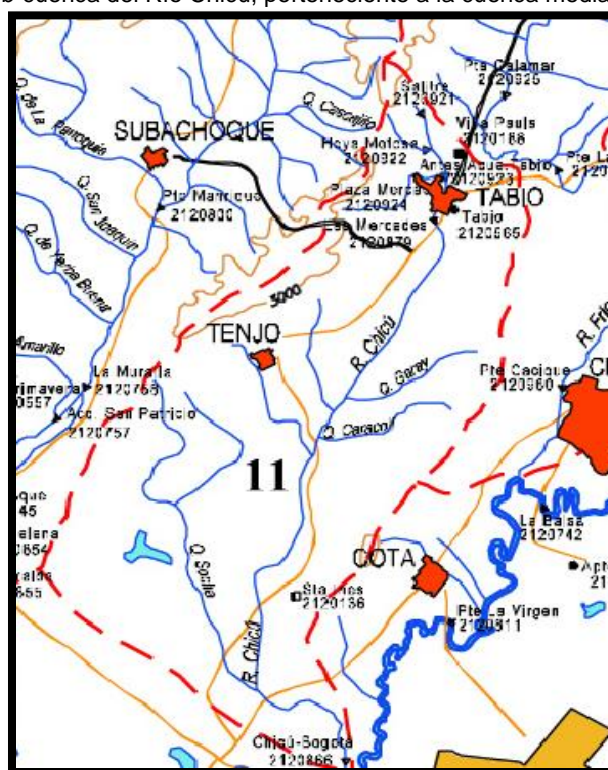
¹SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Descripción del Río Bogotá. [En Línea] <http://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=322&conID=415>

1.2 Generalidades Sub - Cuenca del Río Chicú²

1.2.1 Localización

La sub-cuenca hidrográfica del río Chicú (como se observa en la Figura 1) está ubicada en la parte occidental de la sabana de Bogotá, departamento de Cundinamarca; limita con la cuenca del Río Frío al noreste, la cuenca del Río Bogotá al sureste y al este con la cuenca del Río Subachoque, cuenta con una extensión aproximada de 147.93km² comprendida entre los municipios de Tenjo y Tabio. Dentro de la coordenadas planas N=1017.000 -1040.000 y E=986.000 – 1001.000 presenta elevaciones entre 2550 y 3100 m.s.n.m.

Figura 1. Sub-cuenca del Río Chicú, perteneciente a la cuenca media del Río Bogotá.



Fuente: CAR Cundinamarca

²LONDOÑO, Astrid Natalia y PIMIENTA, Johanna Patricia. Estudio hidrogeológico cuantitativo referente al cobro de la tasa por uso en la cuenca del Río Chicú. Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental. 2002

1.2.2 Clima

El clima característico es de tipo frío andino, con temperaturas promedio de 13.4°C, tiene una precipitación media anual de 750mm en la parte plana y 1000 mm en las zonas altas y una humedad relativa de 79%.

1.2.3 Hidrogeología

El río Chicú es una fuente intermitente, la cual nace en el noreste de la población de Tabio y desemboca en el Río Bogotá; dentro de sus afluentes se destacan las quebradas Chucua, Tiguase y Churruguaco.

En la Cuenca de Río Chicú existen dos sistemas subterráneos principales:

- *Acuífero Cuaternario*: Constituido por la formación Terraza Alta y Aluviones; es de tipo confinado libre y semiconfinado, se encuentran en la zona plana.
- *Acuífero Guadalupe*: Constituido por la Formación Labor y Tierna, Pleaners y Arenisca Dura, sus aguas son de tipo dulce pero no aptas para consumo humano, y utilizables en sistemas de riego.

1.2.4 Entorno ambiental

En la cuenca existen diferentes zonas ambientales de gran importancia que tienen como objetivo controlar los usos del suelo en las zonas de protección urbanas y rurales, fomentar la plantación de vegetación nativa en las zonas de recuperación natural, defender los cuerpos de agua, humedales, y sus rondas de la ocupación y contaminación, además del control de la erosión.

- *Distrito de Manejo Integrado:* Se declara Distrito de Manejo Integrado, la zona ubicada por encima de la cota 2700 metros de acuerdo con las disposiciones emanadas por la Corporación Autónoma Regional “CAR”, en el Acuerdo número 042 de 1999, que comprende la parte alta de las veredas de Juaica, Chincé, Churuguaco, Chitasugá y El Estanco, conforme a los términos de referencia para el plan de manejo ambiental.
- *Zona de Protección y Conservación:* Compuesta por el cerro “EL MAJUI”, los humedales, los espejos de agua, quebradas, afluentes y áreas de interés paisajístico - ambiental como la ronda del Río Chicú, la quebrada Tincé, acequias adyacentes al casco urbano y bosques nativos circundantes, parques, jardín botánico, zona de recreación y descanso. al igual que todas aquellas áreas rurales necesarias para la protección del Medio Ambiente.
- *Zona de Amenaza y Riesgos Naturales:* Son aquellas que presentan un potencial peligro para los habitantes asentados en ellas, debido a las condiciones geotécnicas del suelo tales como suelos afectados por expansión y contracción de arcillas, por sismicidad media (todo el municipio de Tabio), las áreas de pendientes mayores a 50% y por inundación en las inmediaciones de los ríos y quebradas existentes en la cuenca.
- *Zona de amenaza en área urbana central:* Se considera como zona amenazada el área de la ronda del Río Chicú, actualmente ocupada por asentamientos humanos y con algún grado de susceptibilidad a la inundación.

1.2.5 Suelos

- *Serie Tibaitatá (Tz):* Serie de gran extensión, ocupa la mayor parte de la zona plana derivado de cenizas volcánicas que se depositan sobre arcillas

caoliníticas de origen lacustre. Forma relieves muy planos, contiene altos porcentajes de materia orgánica y posee gran cantidad biológica que favorece la infiltración.

La retención de humedad es alta con valores hasta de 36% para adquirir una capacidad de campo, y de 19.6% en el punto de marchitez permanente; el contenido de humedad aprovechable es del 16%.

- *Asociación Cabrera – Cagua (CGD)*: Se presenta al norte de Tenjo bordeando el piedemonte hasta el final de la cuenca del Río Chicú. Son suelos formados en pendientes suaves, derivados de cenizas volcánicas y meteorización de niveles arcillosos del grupo Guadalupe y la formación Guaduas, presentan valores de humedad entre 30-40% para adquirir la capacidad de campo entre 20-25% para el punto de marchitez.

- *Asociación Techo – Gachancipa (TG)*: Se localiza en el piedemonte de la serranía de Cota principalmente hacia el sur y en el piedemonte de la serranía de Tenjo con mayor abundancia hacia el sur de este municipio. Contiene gran cantidad de arcillas y una capa endurecida a poca profundidad que limita la entrada de agua hacia el subsuelo, la retención de humedad es baja (10.5%).

1.3 Generalidades Municipio de Tabio³

1.3.1 Localización

Su territorio forma un valle plano contorneado por ondulaciones suaves, que se recortan por el relieve montañoso de la Cordillera de los Monos, la Cuchilla Canica, la Peña de Juaica, El Cerro, La Costurera y el Monte Pincio. Con una altitud mínima de 2569 metros sobre el nivel del mar en el casco urbano y una máxima 3200 metros sobre el nivel del mar en el sector de Llano Grande. Limita por el norte con el Municipio de Zipaquirá, al oriente con el Municipio de Cajicá, al occidente con el Municipio de Subachoque y al sur con el Municipio de Tenjo.

El Municipio de Tabio (Figura 2) cuenta con una extensión de 74.5 Km², de la cual 0.43 Km² corresponden al área urbana y el 74.2 Km² corresponden al área rural.

Figura 2. Localización del municipio de Tabio



Fuente: Pagina web del municipio.

³ ALCALDIA MUNICIPAL DE TABIO. Generalidades del municipio de Tabio. [En Línea] <http://tabio-cundinamarca.gov.co/presentacion.shtml?apc=texx1-&s=i>. 2008

1.3.2 Población

El municipio de Tabio según el último censo del año 2009, cuenta con una población en la zona rural de 12.000 habitantes y en la zona urbana de 10.000 habitantes.

1.3.3 Economía

La economía del municipio es dependiente del mercado externo, con una vocación agrícola, especialmente en el área de la floricultura; la producción agrícola es casi exclusiva de los cultivos transitorios (papa, maíz, arveja) obligando a la importación de artículos de consumo cotidiano. La estructura económica de Tabio tiene una baja participación industrial y muestra una mayor participación del sector primario, con mediana participación en el sector secundario y terciario.

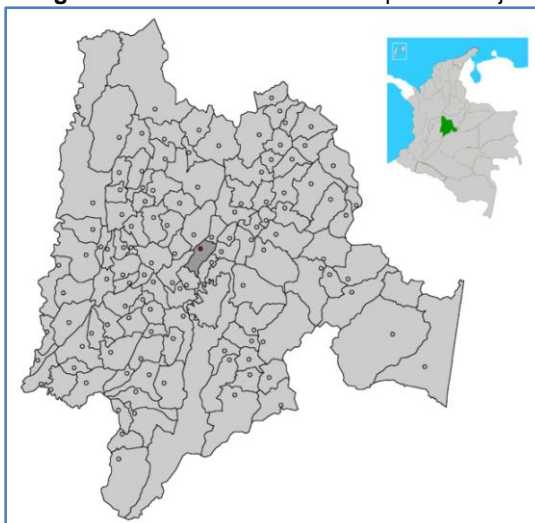
1.4 Generalidades del municipio de Tenjo⁴

1.4.1 Localización

Se encuentra ubicado al noreste de Bogotá a 57 Kilómetros, pasando por Chía, Cajica y Tabio. Puede llegarse también por la Autopista Medellín a 21 Kilómetros de la capital, vía Siberia – Tenjo, como se observa en la Figura 3. Limita con los Municipios de Subachoque, Tabio, Chía, Cota, Funza y Madrid.

⁴ ALCALDIA MUNICIPAL DE TENJO. Ubicación. [En Línea] http://www.municipiodetenjo.gov.co/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=56.

Figura 3. Localización del municipio de Tenjo



Fuente: Pagina web del municipio.

1.4.2 Población

La población comprendida en el municipio de Tenjo se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Población del municipio de Tenjo

DATOS DEMOGRÁFICOS	
Población Total	19.176 habitantes
Población Cabecera Municipal	3.065 habitantes
Población Rural	16.282 habitantes
Población Masculina	49.92%
Población Femenina	50.08%
Menores de 40 años	78%
En edad productiva	49%

Fuente: Pagina web del municipio.

1.4.3 Economía

La base de la economía de Tenjo son las actividades agropecuarias las cuales se presentan en el 86% de las veredas; el sector agropecuario es el principal generador del PIB municipal. Aproximadamente, el 30% de la población económicamente activa del municipio, vive de las actividades agrícolas y ganaderas.

Hay un porcentaje del 32.6% de la población que trabaja en el área rural del municipio, pero que vive fuera de él, es decir, que son empleados en los cultivos de flores y que se considera población flotante.

1.5 Propiedades fisicoquímicas del suelo

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo, esa distribución de los metales pesados en los perfiles del suelo, así como su disponibilidad está controlada por parámetros como propiedades intrínsecas del metal y características de los suelos⁵.

1.5.1 Textura

Es un parámetro de gran importancia dentro del estudio del suelo, debido a que determina la posibilidad de brindarle a la planta soporte, que permita un buen desarrollo radicular y un adecuado nivel de nutrientes agua y aire⁶. De

⁵ COLOMBO L.D., Mangione S.B. &Figlioglia A. Soil profile distribution of heavy metals in soil affected by the Guadamar toxic flood.Sci. Total Environ. 1998. 2242: 117 – 129.

⁶FACULTAD DE CIENCIAS. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, URUGUAY. Textura del suelo. Pág. 14. [En línea]. <<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>>.

igual manera, es importante porque de ella dependen en parte la rapidez de absorción del agua en el suelo (coeficiente de infiltración), la velocidad de las aguas libres a través del suelo (permeabilidad) y la capacidad de retención del agua.

1.5.2 Potencial de Hidrógeno (pH)

Este parámetro es importante porque influye sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos para cualquier tipo de planta⁷. El valor de pH del suelo, aporta una información de suma importancia en diversos ámbitos de la edafología. Uno de ellos, es que las plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua; y la variación del pH modificaría el grado de solubilidad de esos minerales⁸.

También afecta la actividad de los microorganismos responsables de descomponer la materia orgánica y más transformaciones químicas en el suelo. De esta manera, el pH del suelo afecta la disponibilidad de varios de los nutrientes de la planta⁹.

El pH del suelo tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica,

⁷ ELBLOGVERDE.com. Blog sobre ecología y medio ambiente. El pH del suelo. [En línea]. <<http://elblogverde.com/ph-del-suelo/>>.

⁸ MADRIDMASD.org. Blog Madrid. Un lugar para la ciencia y la tecnología. [En línea]. <<http://www.madridmasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>>.

⁹NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE.USDA Natural Resources Conservation Service.Soil Quality Information Sheet. Soil Quality Indicators: pH. What is the significance of pH?.January 1998. 2 p.

solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo. Además afecta a los procesos de ingreso del metal a las raíces de las plantas, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Efecto del pH y sus efectos en el suelo

pH	Efectos
Menor de 5.5	Fuerte a extremadamente ácido. Posible toxicidad del Aluminio y del Manganeso. Posibles deficiencias de fósforo, calcio, magnesio, nitrógeno y molibdeno. Es necesario encalar para la mayoría de los cultivos.
5.5 – 5.9	Moderadamente ácido, baja solubilidad del fósforo y regular disponibilidad de calcio y magnesio. Algunos cultivos como leguminosas requieren de enclamiento.
6.0 – 6.5	Ligeramente ácido. Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
6.6 – 7.3	Ligeramente ácido. Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
7.4 – 8.0	Alcalino. Posible exceso de calcio, magnesio y Carbonatos. Baja solubilidad de fósforo y de micronutrientes a excepción del molibdeno. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas (yeso).
Mayor de 8.0	Muy alcalino. Posible exceso de sodio intercambiable. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. 1992. p. 19.

1.5.3 Materia Orgánica (MO)

La fuente principal de materia orgánica en el suelo, proviene de los restos vegetales de cualquier índole como hojas, ramas, troncos, etc. que caen al suelo. Esta es esencial para la fertilidad y la buena producción agropecuaria.

Los suelos sin materia orgánica son suelos pobres y de características físicas inadecuadas para el crecimiento de las plantas.

Cualquier residuo vegetal o animal es materia orgánica, y su descomposición lo transforma en materiales importantes en la composición del suelo y en la producción de plantas. La materia orgánica bruta es descompuesta por microorganismos y transformada en materia adecuada para el crecimiento de las plantas y que se conoce como humus. El humus es un estado de descomposición de la materia orgánica, es decir, es materia orgánica no totalmente descompuesta¹⁰.

El nivel deseable de materia orgánica en los suelos arcillosos medios es del 2%, pudiendo descender a 1,65% en suelos pesados y llegar a un 2,5% en suelos arenosos¹¹, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Estimativo de materia orgánica en los suelos.

CLIMA	INTERPRETACIÓN DEL % DE MO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Frío	Menor de 5	5 – 10	Mayor de 10
Templado	Menor de 3	3 - 5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2- 4	Mayor de 4

Fuente: IGAC, Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. 1995.

¹⁰ ECOLOGÍA DEL PERÚ. Enciclopedia: "Ecología del Perú". Materia Orgánica. [En línea]. <<http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>>.

¹¹ JULCA – OTINIANO, Alberto. La Materia Orgánica, Importancia y Experiencia de su uso en la agricultura. En: Scielo Chile: Abril de 2006. Vól. 24. Número 1. ISSN 0718-3429.

1.5.4 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Es función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos¹², como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Estimativo de Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos

Interpretación	CIC (meq/100g)
Bajo	<10
Medio	10 – 20
Alto	>20

Fuente: ICA. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. 1992. p.21.

1.5.5 Salinidad¹³

La liberación de sales solubles en el suelo, mediante los procesos de meteorización de las rocas y minerales, y la mineralización de los compuestos orgánicos; pueden ser suficientes para sostener la vida vegetal bajo condiciones normales.

Sin embargo, las concentraciones de sales pueden llegar a límites nocivos para las plantas, bajo ciertas condiciones de clima y suelo.

¹² GARCÍA, Inés; DORRONSÓ, Carlos. Contaminación por metales pesados.

¹³ Campos, Ricardo. GUIAS DE PRÁCTICA DE LABORATORIO DE SUELOS. Práctica: Diagnóstico de salinidad. Recurso Suelo. Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental.

La fuente original de la cual provienen las sales son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas. Las sales solubles del suelo consisten principalmente de proporciones variables de los cationes Na, Ca, Mg y de los aniones cloruros y sulfato.

Por otra parte, aunque la meteorización de los minerales primarios es la fuente de casi todas las sales solubles, es raro encontrar suelos “In Situ” que acumulen suficiente cantidad de sales como para convertirse en salinos.

1.5.6 Conductividad eléctrica del extracto de saturación¹⁴

La conductividad eléctrica de un medio, se define como la capacidad que tienen el medio (que por lo general contiene las sales inorgánicas en solución o electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad.

1.6 Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos del grupo de los metales, con densidad superior a 4.5 g/cm³ y masa atómica alta. Como contaminantes, son

¹⁴ LABORATORIOS DR CALDERÓN. Concepto Conductividad eléctrica del extracto de saturación. [En línea]. http://www.drcalderonlabs.com/Investigaciones/Conductividad/La_Conductividad_Electrica.htm

un grupo de sustancias que se metabolizan y eliminan deficientemente presentando impactos tóxicos significativos para los seres vivos, incluido el hombre¹⁵.

Dadas sus características de acumulación y toxicidad en organismos vivos, los metales pesados se convierten en sustancias químicas de interés ambiental. Los de mayor importancia son Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Plomo (Pb), Cobalto (Co), Vanadio (V), Titanio (Ti), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Plata (Ag), y Estroncio (Sn). Algunos de estos metales son indispensables para la vida en pocas proporciones teniendo un límite de tolerancia por exposición a los mismos, el cual depende de diversos factores tanto ambientales, como físicos y metabólicos, además de la vía de exposición¹⁶.

1.6.1 Cromo (Cr)¹⁷

Elemento químico, Símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color plateado, duro y quebradizo, en la tabla 5 encontramos sus principales propiedades.

¹⁵ MARCANO J. Glosario de Términos Ambientales. Educación ambiental en la República Dominicana. 2009. [En línea]. http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_m.html.

¹⁶ GUTIÉRREZ, Gina. Metales pesados en sedimentos del lago de Tota. Tesis de Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. 2005. p. 12

¹⁷ WATER TREATMENT SOLUTIONS. Metales pesados Cromo: [En línea]. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>.

Tabla 5. Propiedades del cromo

Nombre	Cromo
Número atómico	24
Valencia	2,3,4,5,6
Estado de oxidación	+3
Electronegatividad	1,6
Radio covalente (Å)	1,27
Radio iónico (Å)	0,69
Radio atómico (Å)	1,27
Configuración electrónica	[Ar]3d ⁵ 4s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	6,80
Masa atómica (g/mol)	51,996
Densidad (g/ml)	7,19
Punto de ebullición (°C)	2665
Punto de fusión (°C)	1875

Fuente: Lenntech, 2011

Se ha encontrado que el cromo en su forma hexavalente es más tóxico para la vida acuática y que su toxicidad varía con el pH debido a su alto poder oxidante. Los metales pesados son tóxicos como cationes, puesto que inhiben la acción de varias enzimas biológicamente importantes, además estos pueden adherirse firmemente al suelo y solamente una pequeña cantidad puede disolverse en agua pasando así a los niveles más profundos del suelo contaminando las aguas subterráneas¹⁸.

¹⁸ PINZÓN L., RODRÍGUEZ J. & GIRALDO E. Interacción de los metales pesados Cr, Cd, Pb, Ni entre el sedimento y la columna de agua en el caso del río Bogotá. Universidad de los Andes. No. 222. 1995.

Una vez depositado el cromo en suelos o aguas superficiales, su mayor parte se encuentra en forma soluble, formando precipitados o adsorbido a la fracción sólida de los suelos y sedimentos¹⁹.

La movilidad del cromo es muy limitada y depende del contenido de arcillas del terreno y, en menor medida, de la presencia de óxido de hierro, Fe_2O_3 , y materia orgánica. El cromo puede adsorberse irreversiblemente a la matriz de suelos, de forma totalmente no disponible para animales o plantas. En medios reductores, como los provocados por la inundación de los terrenos y la descomposición de materia vegetal, el cromo (II) puede formar complejos, lo que aumenta su solubilidad y movilidad.

Los efectos agudos más importantes de la ingestión de dosis altas de cromo son cuando su configuración es hexavalente ya que cruza con facilidad las membranas celulares, por su carácter corrosivo provoca irritación de los tejidos expuestos y puede incluso producir necrosis en concentraciones elevadas. La absorción de cromo es más rápida en el intestino que en el estómago. Tras su absorción el cromo se distribuye preferentemente a los pulmones.

También la ingestión de cromo hexavalente puede llevar a lesiones renales, en glomérulos y túbulos. La exposición dérmica y por inhalación de forma crónica conduce a la ulceración y perforación del tabique nasal, así como de otras regiones cutáneas expuestas. El cromo no presenta tendencia a la bioconcentración en organismos acuáticos, pero es clasificado como agente cancerígeno, cuando se produce por vía inhalación para la configuración hexavalente, debido a que este atraviesa rápidamente la membrana celular.

¹⁹MORENO GRAU, María Dolores. Metales: Zinc. En: Toxicología Ambiental: Evaluación del riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill, 2003.p 212-214.

Por otro lado no se ha demostrado que el cromo trivalente posea efectos cancerígenos por alguna de las rutas de administración.

1.6.2 Zinc (Zn)²⁰

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37 es un metal maleable, dúctil y de color gris, en la tabla 6, se presenta sus principales propiedades.

Tabla 6. Propiedades del Zinc

Nombre	Zinc
Número atómico	30
Valencia	2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,6
Radio covalente (Å)	1,31
Radio iónico (Å)	0,74
Radio atómico (Å)	1,38
Configuración electrónica	[Ar]3d ¹⁰ 4s ²
Primer potencial de ionización (eV)	9,42
Masa atómica (g/mol)	65,37
Densidad (g/ml)	7,14
Punto de ebullición (°C)	906
Punto de fusión (°C)	419,5

Fuente: Lenntech, 2011.

El zinc se presenta naturalmente en aire, agua y en el suelo, pero las concentraciones de zinc están aumentando de modo innatural, a causa de la añadidura de zinc debido a actividades humanas. La mayor parte del zinc es añadida en las actividades industriales como extracción, combustión de carbón y rechazos y elaboración del acero. Algunos suelos son contaminados

²⁰WATER TREATMENT SOLUTIONS. Metales Pesados Zinc. [En línea]. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm>.

pesadamente por el zinc y ellos se encuentran en las zonas donde el zinc es extraído, o dónde el barro de descargue de zonas industriales es utilizado como fertilizante.

El agua es contaminada con el zinc, a causa de la presencia de grandes cantidades de zinc en el agua de descargue de las instalaciones industriales. Esta agua refluyente no es depurada adecuadamente. Una de las consecuencias es que los ríos depositan barro contaminado de zinc sobre sus riberas. El zinc también puede aumentar la acidez del agua. Algunos peces pueden acumular el zinc en sus cuerpos, cuando viven en canales navegables contaminados con zinc. Cuando el metal entra en los cuerpos de estos peces es capaz de bio-ampliarse sobre el ciclo alimenticio.

La movilidad del zinc aumenta considerablemente al descender el pH, ya que aumenta su solubilidad y el grado de disociación de los complejos orgánicos, y disminuye su adsorción a las superficies de matriz sólida. Por tanto, el Zinc puede incorporarse al lixiviado y desplazarse hacia las aguas subterráneas fundamentalmente en medios ácidos.

La movilidad del zinc también aumenta en aguas salobres, debido a la competencia con otros cationes, como los alcalino-térreos, por los centros adsorbentes, interacciones que tienen como resultado la desorción del zinc. En medios reductores el zinc precipita en forma de sulfuro, muy insoluble. Lo que limita drásticamente su movilidad.

Las concentraciones de zinc pueden causar problemas de salud eminentes, como son úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y

anemia. Niveles altos de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios. Además, puede causar la gripe conocida como la fiebre del metal. El zinc puede afectar fetos y a los recién nacidos. Cuando sus madres han absorbido grandes concentraciones de zinc los niños pueden ser expuestos a éste a través de la sangre o la leche de sus madres.

En los ecosistemas acuáticos las consecuencias más eminentes son el incremento de la acides del agua. Los peces pueden acumular zinc, cuando el zinc entra en los cuerpos de estos peces, éste es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria²¹.

1.6.3 Contaminación del suelo por metales pesados

Los suelos poseen una cierta capacidad para asimilar las intervenciones humanas sin entrar en procesos de deterioro. Sin embargo, esta capacidad ha sido ampliamente sobrepasada en muchos lugares, como consecuencia de la producción y acumulación de residuos industriales.

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gr/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%.

²¹ MORENO GRAU, María Dolores. Metales: Zinc. En: Toxicología Ambiental. Evaluación del riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill, 2003.p 206-208.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- ✓ Oligoelementos o micronutrientes: Son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
- ✓ Metales pesados sin función biológica conocida: Cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Zn, Sb, Bi²².

1.6.4 Comportamiento de los metales pesados en sedimentos

Las condiciones físico químicas y bioquímicas de los sistemas acuáticos y los sedimentos, respectivamente, determinan fenómenos semejantes. Considerando el movimiento de los metales pesados dentro de los sedimentos se deben considerar dos factores como son el pH y el potencial redox.

La transformación de los metales pesados contenidos dentro de los sedimentos incluye procesos como:

- ✓ La formación y la disolución de metales fijos en carbonatos.

²² GARCÍA, Inés; DORRONSÓ, Carlos. Contaminación por metales pesados. P. 1

- ✓ La formación y descomposición de compuestos orgánicos metálicos solubles e insolubles.
- ✓ La formación y disolución de hidróxidos y oxihidratos.

Los sedimentos de los ríos y estuarios están mucho más sumergidos y el volumen intersticial de los poros está saturado de agua; el oxígeno se difunde lentamente entre los poros y es consumido por los microorganismos localizados en los primeros milímetros de las capas del sedimento donde se oxidan los compuestos para transformarlos en carbonatos y sulfuros, con esto el potencial redox del sedimento disminuye. Bajo condiciones anóxicas los metales pesados se encuentran generalmente estables, en particular en forma de compuestos sulfhídricos.

El intercambio químico entre el sedimento y la columna de agua es por lo general poco y lento, y está restringido a una profundidad entre 5 a 20 cm. Se han estudiado gran número de sustancias contaminantes peligrosas, tales como pesticidas y metales pesados, las cuales desaparecen rápidamente de la columna de agua pero presentan gran persistencia en los sedimentos²³.

1.7 Evaluación de Impacto Ambiental²⁴

Un impacto ambiental es la alteración de la calidad del medio ambiente abiótico o biótico que puede ser benéfico o perjudicial y que es generado por una actividad humana. El procedimiento para la evaluación de impacto

²³ PINZÓN L., RODRÍGUEZ J. & GIRALDO E. Interacción de los metales pesados Cr, Cd, Pb, Ni entre el sedimento y la columna de agua en el caso del río Bogotá.

²⁴GARMENDIA, ALFONSO. Evaluación del impacto ambiental. 2005

ambiental (EIA), tiene por objeto evaluar la relación que existe entre la actividad realizada sobre el medio ambiente.

En una evaluación de impacto ambiental existen diferentes metodologías para conocer los impactos que se pueden producir, desde este punto de vista se pueden realizar por medio de matrices de Leopold, matrices de interacción, métodos de superposición, diagramas de redes e índices e indicadores de calidad ambiental

1.7.1 Listas de Verificación

La fase de verificación de los impactos es muy importante porque una vez conocidos los efectos se pueden valorar las consecuencias, con más o menos precisión por diferentes sistemas. Para no omitir ningún aspecto importante, se hace útil elaborar una lista de control lo más amplia posible, tanto de los componentes o factores ambientales como de las actividades del proyector²⁵. Su principal función es la de servir en las primeras etapas para identificar los impactos ambientales.

1.7.2 Matriz de Leopold

Se trata de un sistema de información y de identificación, más que de evaluación. La base del sistema es una matriz en que las entradas según columnas son las acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las entradas según filas son las características del medio factores

²⁵Metodologías de la evaluación del impacto ambiental [En Línea] <http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0803104-125133> Páginas 46-47.

ambientales que pueden ser alteradas. En total hay 8.800 interacciones posibles, de las cuales habrá muchas de ellas que serán teóricas o improbables, pero la exhaustividad del listado evita el olvido de las relaciones características de cada actuación humana o proyecto. El análisis que supone la construcción de la matriz no da una estimación cuantitativa rigurosa, pero incluye muchos juicios de valor que pueden servir para valorar los alcances globales de los proyectos con todas las acciones humanas que comportan²⁶.

1.7.3 Matriz DOFA

(D) Debilidades, (O) Oportunidades, (F) Fortalezas y (A) Amenazas, es una estructura conceptual para un análisis sistemático que facilita la adecuación de las amenazas y oportunidades externas con las fortalezas y debilidades internas de una organización. Esta matriz es ideal para enfrentar los factores internos y externos, con el objetivo de generar diferentes opciones de estrategias.

²⁶ RACO. Matriz Leopold: Verd Joseph. Recursos para las CTMA: La matriz de Leopold, un instrumento para analizar noticias de prensa de temática ambiental. [En línea]. <http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/88684/132833>.

2. MARCO LEGAL

Tabla 7. Disposiciones Legales

NORMATIVIDAD	OBJETIVO
<p>CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA (1991)</p>	<p>Establece los derechos y obligaciones para el estado, y para los ciudadanos con relación a los recursos naturales y a la prestación de servicios públicos. También establece los mecanismos de control y vigilancia de bienes, servicios y recursos.</p>
<p>DECRETO LEY 2811 DE 1974</p>	<p>Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.</p>
<p>DECRETO 2857 DE 1981</p>	<p>Reglamenta el Código Nacional de Recursos Naturales, Decreto – ley 2811/74, sobre cuencas hidrográficas.</p>
<p>DECRETO 1594 DE 1984</p>	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 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 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.</p>
<p>LEY 99 DE 1993</p>	<p>Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la</p>

	gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.
DECRETO 155 DE 2003	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
RESOLUCION 3957 DE 2009	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital
DECRETO 3930 DE 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
ACUERDO CAR 043 DE 2006	Se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.
CANADIAN ENVIRONMENTAL QUALITY GUIDELINES	Adoptan estándares de calidad de agua, suelo y sedimento de Canadá en relación a metales pesados

Fuente: Compilado por los autores.

3. ESTADO DEL ARTE

En el desarrollo del proyecto se realizó una investigación documental, resaltando temas relacionados a estudios en la sub-cuenca del Rio Chicú, efectos de metales pesados, y alternativas de solución a efectos por metales pesados. Las investigaciones de mayor relevancia se encuentran a continuación:

- **“CONTAMINACIÓN POR CADMIO Y ARSÉNICO EN SUELOS Y HORTALIZAS EN UN SECTOR DE LA CUENCA DEL RIO BOGOTÁ”. Gonzales Galeano, Saúl. Programa de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional. 1994.**

El desarrollo de esta investigación se enfoca en la cuantificación del contenido de cadmio y arsénico en algunos de los suelos hortícolas de la Sabana de Bogotá, debido a que no se tenían datos analíticos específicos sobre la concentración de estos dos elementos en los suelos adyacentes al Rio Bogotá.

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron un fenómeno de acumulación permanente, como resultado del riego constante con aguas del Rio Bogotá sometidas a muchas actividades antropogénicas, por tal motivo en los cultivos intensivos presentaron altos niveles de los elementos contaminantes las cuales se relacionan significativamente con un mayor uso de aguas de irrigación con aguas con alta carga contaminante.

- **“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUANTITATIVO REFERENTE AL COBRO DE LA TASA POR USO EN LA CUENCA DEL RÍO CHICÚ”.** Londoño, Astrid Natalia – Pimienta, Johana patricia. Tesis: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. 2002.

Esta investigación permitió la elaboración de un balance hídrico, utilizando los datos obtenidos en la medición de los niveles estáticos de la red de monitoreo de INGEOMINAS en los años 1991 - 1992 y de la CAR realizadas en 1998 - 1999 -2000 y 2001 con cuyos resultados se elaboraron mapas de isopiezas, para establecer las variaciones y zonas de explotación; Igualmente se elaboraron diagramas de flujo indicando el movimiento de las aguas subterráneas en los acuíferos correspondientes al grupo Guadalupe y Cuaternario, sus zonas de recarga y descarga. La información recopilada y generada permitió establecer un modelo hidrogeológico conceptual de los sistemas subterráneos que indique la oferta y la demanda de agua en la Cuenca del Río Chicú. El estudio permitió evaluar e implementar la Tasa por Uso, actualmente propuesta por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), objeto principal de esta monografía; y además se complementará con una comparación de los métodos utilizados por otras entidades ambientales en el territorio Nacional.

- **“PERFIL AMBIENTAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ DE LA CUENCA MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ”.** Moreno Saboyá, Yamile Andrea – Murillo Londoño, Yeimmy Johanna. Tesis: Facultad de ingeniería Ambiental. Universidad de la Salle 2010.

El desarrollo del proyecto inició mediante la fase preparatoria tendiente a recopilar y analizar la información necesaria para determinar la oferta y demanda actual y futura de la cuenca. Este proyecto aportó un diagnóstico y evaluación del estado actual y futuro de la Subcuenca del río Chicú, de tal forma que contribuyera al logro de parte de los objetivos planteados por el Proyecto del grupo ITACH. Se establecieron pautas indispensables para que futuros investigadores lleven a cabo estudios similares con las demás subcuencas que hacen parte de la cuenca del río Bogotá y, así, adoptar medidas que permitan llegar a una ordenación adecuada del recurso hídrico.

- **“IDENTIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MODELACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE LOS METALES PESADOS CROMO Y CADMIO EN SEDIMENTOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ MUNICIPIO DE CHOCONTÁ”.** Torralba Sánchez, Tifany Lorena – Tarazona Guzmán, Sindy Lorena. Tesis: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. 2010.

Con el fin de caracterizar el fenómeno de adsorción de cromo y cadmio, Cr y Cd, que tiene lugar en los sedimentos presentes aguas abajo de los vertimientos contaminantes de la industria de curtiembres del municipio de Chocontá (Cundinamarca) en las épocas de verano (Febrero) e invierno (Mayo), se llevaron a cabo experimentos en batch a nivel de laboratorio sobre sedimento no contaminado, proveniente del nacimiento del Río Bogotá, para representar el estado previo de dichas capas de materia del fondo del río. Se encontraron que los valores de Cr y Cd medidos (Cr 27.46 mg/L verano; Cr 26.21 mg/L invierno y Cd 12.63 mg/L verano; Cd 11.62 mg/L invierno) en muestras del Río Bogotá a la altura del municipio de Chocontá, Cundinamarca superan con un margen excesivo a los valores establecidos

por la autoridad (Cr 0.1 y Cd 0.01 mg/L) para uso agrícola, lo cual es un efecto de la presencia de parques industriales en la ribera que vierten las descargas contaminantes de sus procesos al cauce deteriorando la calidad ambiental del mismo.

- **“PRUEBA PILOTO PARA FITORREMEDIACIÓN DE CROMO Y PLOMO, EN SUELO DE LA SUBCUENCA RIO ALTO BOGOTÁ (MUNICIPIO - CHOCONTÁ)”. Rodríguez Martínez, Diana Carolina – Caho Rodríguez, Carlos Andrés. Tesis: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. 2010.**

Con esta investigación se aplicó de la técnica biorremediadora de suelos: fitorremediación, la cual tiene como objetivo degradar, asimilar, metabolizar o eliminar metales pesados, por medio de la acción de plantas con capacidad fisiológica de absorber o retener sustancias contaminantes a formas menos tóxicas en el suelo. Las características principales de este tratamiento son: ser una técnica de limpieza pasiva, estéticamente agradable, dependiente de la energía solar y puede ser empleada en un amplio rango de contaminantes.

Se encontraron que las altas concentraciones de los metales encontrados en el suelo de estudio, demuestran que el nivel de contaminación en los suelos de la cuenca alta del río Bogotá es muy elevada para cromo, y moderado para plomo; debido a la influencia de las curtiembres ubicadas en las riberas del río, que han realizado vertimientos a los cuerpos de agua y al suelo mismo, lo que ha provocado una acumulación de los metales en el suelo a lo largo del tiempo, debido a las características del mismo.

- **“EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES OCASIONADOS POR LA CONTAMINACION DE CADMIO Y PLOMO EN SUELO AGUA Y SEDIMENTO DE LOS MUNICIPIOS TABIO Y TENJO PERTENECIENTES A LA SUB CUENCA DEL RIO CHICU”. Romero Mora, Sindy Viviana – Guevara Pérez, Luisa Fernanda. Tesis: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. 2011.**

El proyecto se realizó con el fin de realizar una evaluación en los impactos ambientales ocasionados por la carga contaminante de cadmio y plomo, determinados para agua, suelo y sedimento, en el cual además se determinaron las características fisicoquímicas de la cuenca. También se evaluó la calidad ambiental del río Chicú a través del acuerdo 43 de 2006 y de las normas legales vigentes. Por último se evaluó los impactos ambientales por la presencia de cadmio y plomo, esto analizado a través de matrices como Leopold y DOFA. Con lo anterior se plantearon posibles alternativas de solución para los problemas allí encontrados.

4. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para el desarrollo del proyecto “Evaluación de los impactos ambientales asociados a la contaminación en agua, suelo y sedimento por Cromo y Zinc, en los municipios de Tabio y Tenjo – Cundinamarca (Sub – Cuenca del Río Chicú) se efectuó por fases, como se describe a continuación:

4.1 FASE 1. Investigación documental

Para esta etapa se realizó una revisión bibliográfica en centros de investigación, Universidades, entidades públicas dentro de sus recursos bibliográficos y base de datos digitales y revisión de normas legales en Colombia y el mundo. Esta fase se estableció de la siguiente manera:

4.1.1 Etapa 1. Universidades y Centros de Investigación

Se realizó un revisión Bibliográfica en la base de datos de la Universidad de la Salle frente a las diferentes investigaciones sobre la sub - cuenca del río Chicú, además de estudios en evaluaciones de contaminantes en este. Así mismo, se tuvieron en cuenta investigaciones realizadas por otras Universidades tanto privadas como públicas. Como en este proyecto se determinó la contaminación en el suelo y el sedimento, se estudiaron no sólo los proyectos ejecutados desde el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria sino también en otros programas como Ingeniería Agronómica o Biología. Por último, se realizó una revisión bibliográfica en centros de investigación como el IDEAM, Instituto Colombiano de Geología y Minerías

(INGEOMINAS), Sociedad Geográfica de Colombia e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), cuya finalidad era tener antecedentes sobre estudios realizados en el área de influencia.

4.1.2. Etapa 2. Entidades Públicas

En esta etapa se tuvo en cuenta el proyecto ejecutado por la CAR - Cundinamarca en el año 2006, titulado “Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Rio Bogotá, sub-cuenca del Rio Chicú”, en él se establecen los puntos de muestreo en la sub-cuenca y cuyos puntos se utilizaron para la ejecución de este proyecto. Los puntos de muestreos empleados se observan en la Tabla 8.

Tabla 8. Puntos de muestro

PUNTO	X	Y	LOCALIZACIÓN
1	996678	1036959	Bocatoma acueducto
2	997466	1034692	Antes de la PTAR de Tabio
3	997633	1034183	Efluente PTAR Tabio
4	997613	1034144	Después del vertimiento de PTAR Tabio
5	993258	1030147	Efluente PTAR Tenjo

Fuente: Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Rio Bogotá, sub-cuenca del Rio Chicú – CAR.

Se destaca que una de las finalidades del proyecto es actualizar el estado de calidad ambiental en la sub-cuenca según los puntos establecidos por la CAR. Para cumplir lo anterior se realizó una revisión bibliográfica en entidades públicas como la empresa de Acueducto de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

4.1.3. Etapa 3. Revisión de Normas Vigentes

Se tuvieron en cuenta los niveles permisibles de los parámetros a estudiar en las diferentes disposiciones legales vigentes a nivel local, departamental, y nacional. Así mismo, se recurrió a normas a nivel internacional como son las guías de calidad ambiental canadiense para poder comparar las concentraciones de los metales de Cromo y Zinc en suelo y sedimento, ya que Colombia no cuenta con este tipo de normatividad.

4.2 FASE 2. Investigación de campo

Se realizó un diagnóstico de los municipios involucrados dentro del marco del proyecto, esto con el fin de dar confiabilidad a los análisis en la matriz de impacto ambiental y matriz DOFA.

4.2.1 Etapa 1. Reconocimiento del sitio

Se realizó un reconocimiento de la cuenca con el fin de identificar las diferentes actividades económicas en la influencia de la sub-cuenca dentro de los municipios de Tabio y Tenjo, donde se evidenciaron los siguientes sectores: agrícolas (Hortalizas), floricultor y ganadero.

Así mismo, se procedió a realizar una revisión bibliográfica en las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) y el Acueducto de los municipios (EMSERTABIO Y EMSERTENJO), con el fin de conocer los estudios actuales realizados de la sub-cuenca. Se pudo determinar la influencia de la sub-cuenca sobre la población y su posible afectación en caso de contaminación.

Por último, se comprobó la accesibilidad a los puntos de muestreo establecidos por la CAR, donde su finalidad fue hacer un reconocimiento previo del sitio, para así no llegar a tener inconvenientes el día en que se realizó el muestreo.

4.3. FASE 3. Ejecución operativa

En esta fase se realizó la ejecución de los muestreos en los 5 puntos de representativos descritos en la Tabla 8, así mismo, se realizaron los análisis en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle. A continuación se describen de forma detallada las etapas comprendidas en esta fase.

4.3.1. Etapa 1. Toma de muestra

En esta etapa se ejecutaron los muestreos de agua, suelo y sedimento en cada punto determinado por la CAR, el muestreo se inició aguas arriba (Punto de la Bocatoma) y culminó aguas abajo (Punto Efluente PTAR Tenjo). Se debe tener en cuenta que se solicitaron los equipos de medición in - situ para análisis de agua, suelo y sedimento, como se muestra Tabla 9.

Tabla 9. Parámetros in situ en agua, suelo y sedimento

	PARÁMETROS IN SITU	EQUIPO
AGUA	pH	Multiparámetro Hanna
	Conductividad	Conductímetro
	Sólidos disueltos totales	Multiparámetro Hanna
	Sólidos Sedimentables	Conos imhoff
SUELO	Textura	-
	pH	Multiparámetro Hanna
SEDIMENTO	pH	Multiparámetro Hanna
	Conductividad	Conductímetro

Fuente: Los Autores. 2011

Cabe resaltar que en cada punto de muestreo se realizó una réplica tanto en agua, suelo y sedimento con el fin de dar validez y confiabilidad a los datos obtenidos.

4.3.2. Etapa 2. Determinación analítica de muestras

Con las muestras recolectadas se procedió a realizar los análisis en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de La Universidad de La Salle, aplicando los métodos correspondientes. Los parámetros analizados se encuentran en la Tabla 10. Se resalta que las muestras son tomadas por duplicado, para así dar mayor confiabilidad a los datos obtenidos.

Tabla 10. Parámetros a evaluar en agua, suelo y sedimento

	PARÁMETROS EX SITU	MÉTODO
AGUA	DBO	Prueba de 5 días
	DQO	DQO en sistema cerrado
	Cromo	Absorción atómica
	Zinc	Absorción atómica
SUELO	Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	Método del acetato de sodio
	Materia orgánica (MO)	Método Walckey Black
	salinidad	Caracterización química de suelos salinos y sódicos.
	conductividad	conductividad eléctrica del extracto de saturación
	porcentaje de humedad	Determinación de Humedad
	Cromo	Absorción atómica
	Zinc	Absorción atómica
SEDIMENTO	Materia orgánica (MO)	Método Walckey Black
	porcentaje de humedad	Determinación de Humedad
	Cromo	Absorción atómica
	Zinc	Absorción atómica

Fuente: Los Autores. 2011

4.4 FASE 4. Procesamiento de datos

Finalmente, los datos obtenidos en el laboratorio se procesaron con cinco finalidades, las cuales se describen a continuación:

- **Lista de verificación:** Identificar los impactos ambientales de mayor importancia.
- **Elaboración de matriz Leopold:** Determinar la afectación de los impactos ambientales encontrados.
- **Elaboración de matriz DOFA:** Analizar las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.
- **Determinación de la calidad ambiental de la sub cuenca:** A través de la comparación con las normatividades a nivel local, regional, nacional y mundial. Para lo anterior se comparará con las siguientes normas:

Acuerdo 043 de 2006: Contempla los criterios y objetivos de calidad mínima que debe tener los diferentes tramos de la cuenca del río Bogotá para el año 2020, cuyos valores corresponden al uso agrícola.

Decreto 1594 de 1984: Donde en el Artículo 40, estiman los valores máximos permisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, en el Artículo 41 dictan los criterios de calidad para la destinación del agua para uso pecuario y finalmente en el Artículo 38 estipulan los

valores límites permisibles para la destinación del agua para uso doméstico la cual requiere sólo de tratamiento convencional.

Estudio realizado por la CAR: Como este estudio contempla los 5 puntos de muestreo utilizados en este proyecto, se procederá a realizar una actualización de dichos datos para observar y evaluar el comportamiento histórico de la calidad del agua.

Se resalta que los resultados obtenidos en los parámetros evaluados son el promedio de las dos mediciones.

- **Actualización y ampliación de los datos obtenidos por la CAR Cundinamarca.**

5. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

Para el desarrollo del proyecto se realizó una investigación en campo enfocada en el reconocimiento del sitio, teniendo en cuenta: la influencia poblacional, las actividades económicas y la accesibilidad a los puntos de muestreo. Cabe destacar que estos puntos fueron seleccionados por la Autoridad ambiental competente (CAR-Cundinamarca) en su estudio en el año 2006.

5.1 Identificación de los puntos de muestreo

El diagnóstico situacional se realizó según las características de cada punto de muestreo, debido a que en cada punto se identifican diferentes particularidades que afectan la sub-cuenca. Por tal motivo los puntos de muestreo son los siguientes:

5.1.1 Punto 1. Bocatoma acueducto.

Figura 4. Punto 1. Bocatoma del acueducto.



Fuente: Los Autores. 2011

Esta localizado en el municipio de Tabio, en la zona de mayor altitud de la zona urbana. Este lugar es punto de captación para el tratamiento de potabilización para el municipio, como se muestra en la Figura 4. Las coordenadas geográficas del punto son Latitud: 4°55'49.508" y Longitud: 74°6'26.852"; con una altitud de 2622 m.s.n.m. Este punto al estar localizado a una mayor altitud genera una zona de pendientes, lo cual dificulta actividades como ganadería o cultivos. Aunque es destacable que la principal actividad económica en este punto es el turismo en la zona, debido a que desde allí se puede contemplar el paisaje del municipio de TABIO.

La bocatoma está ubicada en una zona de propiedad privada, y se observa un incumplimiento con la distancia requerida que debe tener la ronda de la sub-cuenca. Esta propiedad, según lo que se indagó, solo vive una familia compuesta por 4 personas, pero la permanencia de ellos es inusual, por tal motivo los empleados de la propiedad (5 personas aproximadamente) son la influencia poblacional que se tiene en este punto permanentemente. Por último la accesibilidad al punto es autorizada sólo por la propietaria del predio y el acueducto del municipio de Tabio (EMSERTABIO).

5.1.2 Punto 2. Antes de la PTAR de Tabio.

Figura 5. Punto 2. Antes de la PTAR de Tabio



Fuente: Los Autores. 2011

Está localizado a la salida del municipio de Tabio (Figura 5), adyacente a la carretera (ViaTenjo – Tabio), además está ubicado en la entrada de una de las veredas del municipio (Vereda el Chicú), se resalta baja cobertura vegetal antes de llegar a este punto, las coordenadas geográficas del punto son Latitud: 4°54'35.707" y Longitud: 74°6'26.852", a una altitud de 2586 m.s.n.m. también se observa que el sitio está rodeado por diferentes fincas de la región. En el recorrido de la cuenca entre el punto 1 y el punto 2, se observan diferentes actividades económicas, la más notable son los cultivos en la zona como se observa en la Figura 6.

Figura 6. Cultivos entre Puntos 1 y 2



Fuente: Los Autores. 2011

Los cultivos que prevalecen en la zona son de hortalizas y de flores, en algunos de ellos fue posible dialogar con los propietarios, informando que aun utilizan agroquímicos y fertilizantes inorgánicos. A pesar de que en la zona se observa como mayor actividad económica la agricultura, también se evidenciaron industrias como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Industrias entre Puntos 1 y 2



Fuente: Los Autores. 2011

Es notoria la presencia de industrias madereras que utilizan continuamente preservantes de madera, además es evidente que algunos sitios de disposición de residuos temporales están cerca a la sub-cuenca generando

contaminación al río. La influencia poblacional sobre este punto es representativa, debido a que la sub-cuenca se intercepta con la vía principal siendo punto de concentración como paradero de transporte, por tal motivo el paso continuo de persona genera contaminación por disposición de residuos sólidos en la sub-cuenca. Por último la accesibilidad del sitio es óptima debido a que está en un espacio público.

5.1.3 Punto 3. Después del vertimiento de PTAR Tabio

Figura 8. Punto 3. Después del vertimiento de PTAR Tabio



Fuente: Los Autores. 2011

El punto 3 como se observa en la Figura 8, está localizado a la salida de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tabio, se tiene en cuenta que el tratamiento utilizado en este sitio son lagunas de oxidación; en este punto la cobertura vegetal es considerable aunque a los alrededores se

observan algunos cultivos. Las coordenadas geográficas del punto son Latitud: 4°54'19.137" y Longitud: 74°5'55.852", y una altitud de 2584 m.s.n.m.

La influencia poblacional es mínima, debido a que este punto está retirado de la zona urbana, es una propiedad privada y por el tamaño de la zona de pastizales es notorio que es casi restringido el paso de personas. La accesibilidad al punto es complicado debido a que se tiene que atravesar diferentes propiedades cercadas y las condiciones del terreno no son admisibles, como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Accesibilidad al Punto 3.



Fuente: Los Autores. 2011

5.1.4 Punto 4. Antes de la PTAR de Tenjo

Figura 10. Punto 4. Antes de la PTAR de Tenjo



Fuente: Los Autores. 2011

El punto 4 como se muestra en la Figura 10, esta localizado en la zona rural del municipio de Tenjo, la cobertura vegetal es predominante en el sitio; las coordenadas geográficas del sitio son: Latitud: 4°52'7.739" y Longitud: 74°8'17.836", y una altitud de 2567 m.s.n.m. La influencia de cultivos (en su mayoría hortalizas) tiene mayor representatividad en la zona, aunque también se observa ganadería en algunos lotes, como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Actividades económicas en el Punto 4.



Fuente: Los Autores. 2011

Se evidencia la actividad floricultora en la región rural del municipio, en algunas de ellas captan el agua de la sub-cuenca de Rio Chicú, para el riego y drenaje de los cultivos, así mismo esta es vertida nuevamente al río. La ubicación de este punto es de difícil acceso debido a que queda en la interceptación de diferentes cultivos privados. La influencia poblacional en el sitio se determina por las personas encargadas de los cultivos y los habitantes en la zona rural. Por último, a la sub-cuenca del Rio Chicú son vertidas el agua tratada por la PTAR del municipio de Tenjo.

5.1.5 Punto 5. Después del vertimiento PTAR Tenjo

Figura 12. PUNTO 5. Después del vertimiento PTAR de Tenjo



Fuente: Los Autores. 2011

En el punto 5 como se observa en la Figura 12. Está localizado a la salida de la planta de tratamiento de agua residual de Tenjo, es un área ubicada entre cultivos de Hortalizas y de floricultura. Las coordenadas geográficas de este punto son: Latitud: $4^{\circ}52'7.739''$ y Longitud: $74^{\circ}8'17.836''$, y una altitud de 2564 m.s.n.m. la influencia poblacional está determinada por los operarios de la planta de tratamiento y los encargados de los cultivos aledaños. El acceso al punto de muestreo tiene que ser autorizado por la CAR – Cundinamarca, debido a que este punto está situado en la jurisdicción de la PTAR.

6. IDENTIFICACIÓN DE LA CALIDAD EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO

En la sub-cuenca del Rio Chicú como se identificó en el Diagnostico situacional, se establecieron diferentes actividades económicas e influencia poblacional según los diferentes puntos de muestreo. A partir de lo anterior, se realizó el muestreo teniendo en cuenta los diferentes instructivos para la toma de muestra, con el fin de analizarlos en el laboratorio y así establecer la concentración de los metales y el estado fisicoquímico por cada punto de la cuenca.

Con lo anterior se realizó la comparación con las normas legales vigentes tanto para agua, suelo y sedimento, con el fin de determinar el cumplimiento de la normatividad, también se tuvo en cuenta esta comparación con normas legales internacionales en países donde las normas son más restrictivas, con el fin de observar el paralelo de la calidad ambiental en Colombia con países con mayor restricción por contaminación ambiental.

Por último, se realizó una comparación y actualización de datos determinados en el estudio diseñado por la CAR Cundinamarca en el año 2006, identificando los efectos en los últimos años por las actividades económicas de la región.

6.1 Plan de muestreo

El diseño del plan de muestreo se estableció para Agua, suelo y sedimento teniendo en cuenta lineamientos para la toma de muestra, con el fin de dar confiabilidad a los análisis ejecutados en el laboratorio. Se determinó un muestreo puntual para agua, suelo y sedimento, debido a que se quería

conocer las condiciones en el momento de la toma de muestra, además de que es el más apropiado para un muestro en un cuerpo lótico.

Para la toma de muestra puntual de agua se tomaron dos consideraciones. En primera medida se tuvieron en cuenta las instrucciones generales para la toma y preservación de muestreos de aguas, estas instrucciones son basados en la Norma técnica Colombiana NTC – ISO 5667 y por el manual de análisis del IDEAM.

6.2 Identificación de la calidad del agua

Para determinar la calidad del agua de la sub – cuenca del Río Chicú se contó con el análisis de los parámetros “in situ” y “ex situ” como se observa en las tablas 9 y 10. También se realizó una comparación con las diferentes normas legales vigentes que contemplan el recurso agua, identificadas en la Fase 4 de la metodología.

Cabe mencionar que los parámetros evaluados se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y sanitaria de la universidad de la Salle, los resultados se muestran a continuación:

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Este parámetro conforma la lista de los parámetros “In situ” como se indicó anteriormente, los datos obtenidos se encuentran en la tabla 11.

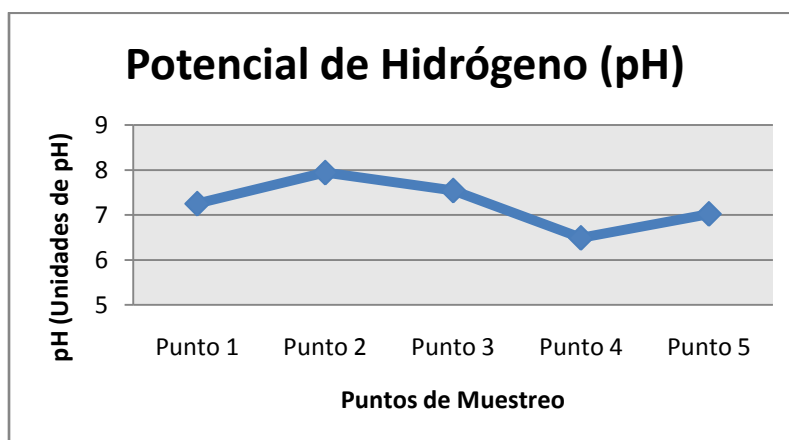
Tabla 11. Resultados potencial de hidrógeno (pH) en agua

Potencial de Hidrógeno pH	
Punto de Muestreo	Valor (Unidades de pH)
Punto 1	7.25
Punto 2	7.94
Punto 3	7.54
Punto 4	6.49
Punto 5	7.02

Fuente: Los Autores. 2011

En la gráfica 1 se observa que en el primer punto de muestreo tiene un pH de 7.25 unidades, esto debido a que no hay influencia de actividades económicas cercanas a este sitio que puedan modificar la calidad del agua (como se describe en el numeral 5.1.1), ya que es allí donde se capta el agua para uso doméstico. De igual forma, se observa que el pH tiende a subir en los puntos de muestreo 1 y 2, pero se visualiza un decrecimiento del pH en los últimos dos puntos de muestreo, lo que conlleva a aumentar la solubilidad de los metales disueltos²⁷.

Gráfica 1. Resultados potencial de hidrógeno (pH) en agua



Fuente: Los Autores. 2011

²⁷ IBAÑEZ Juan José. Componentes, Estructuras y Procesos en los suelos – pH del suelo. MIOD. [en línea] <<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>>.

- **Conductividad**

Los resultados obtenidos en este parámetro se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados de Conductividad en agua

Conductividad	
Punto de Muestreo	Valor ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Punto 1	0.06
Punto 2	0.54
Punto 3	0.24
Punto 4	0.39
Punto 5	0.47

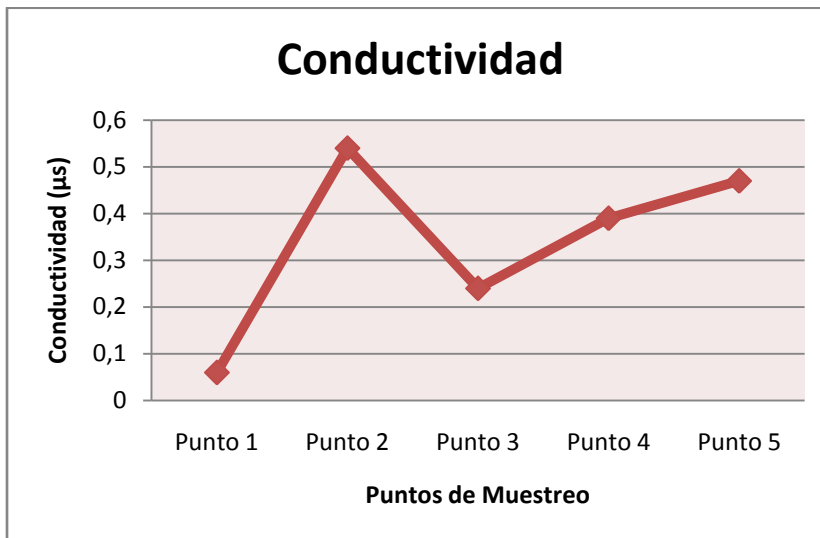
Fuente: Los Autores. 2011

Como se observa en la gráfica 2, el primer punto de muestreo presenta una conductividad de $0.06 \mu\text{s}/\text{cm}$, esto debido a que como es una aguas superficiales, este tipo de aguas tiende a una conductividad muy baja, presentando poca conductividad eléctrica posiblemente por bajos iones en solución como cloruros, nitratos, sodio, calcio²⁸.

Cabe mencionar que la conductividad se relaciona directamente con los sólidos disueltos, es por esto que en los siguientes cuatro puntos de muestreo se observa una conductividad entre $0.24 - 0.54 \mu\text{s}/\text{cm}$, donde se visualiza que el punto 2 presenta el mayor pico y por tal motivo mayor incidencia de sólidos disueltos.

²⁸ DORRONSORO C. Tema 15 Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada, España. 2010. [en línea] <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>

Gráfica 2. Resultados de conductividad en agua



Fuente: Los Autores. 2011

- **Sólidos disueltos totales**

Los resultados obtenidos en este parámetro se encuentran en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de sólidos disueltos totales en agua

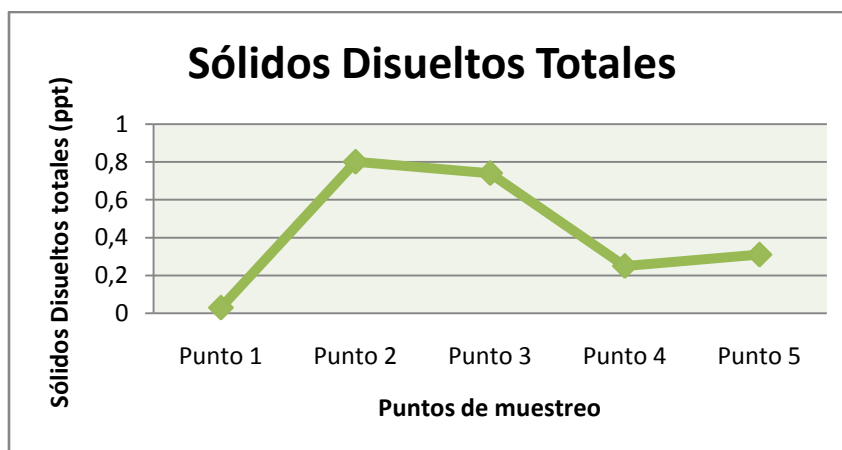
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	
Puntos de muestreo	Valor (ppt)
Punto 1	0.03
Punto 2	0.8
Punto 3	0.74
Punto 4	0.25
Punto 5	0.31

Fuente: Los Autores. 2011

Los sólidos disueltos totales comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua²⁹. En la gráfica 3, se observa que en el punto 1 hay una baja concentración de sólidos, debido a que donde se realizó la toma de muestra está después de un vertedero rectangular como se observa en la Figura 4, esta estructura hidráulica retiene los sólidos generando una disminución de los mismos en el momento de realizar la lectura. En el punto 2, el aumento es significativo debido a los vertimientos realizados por los diferentes cultivos y pequeñas empresas ubicados en la zona de estudio como se observa en las Figuras 6 y 7; en el punto 3 se presentó una disminución debido a que en él sitio se encuentra la PTAR de Tabio, disminuyendo la presencia de éstos.

En los últimos dos puntos de muestreo, se observa una anomalía debido a que el tratamiento en la PTAR de Tenjo no maneja la eficiencia necesaria para remover los sólidos disueltos totales, esto fue informado en las listas de verificación (Anexo 1).

Gráfica 3. Resultados sólidos disueltos totales en agua



Fuente: Los Autores. 2011

²⁹ OMS. Total dissolved solids in drinking-water. Ginebra (Suiza). 2003. [en línea] http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_quimicos/Solidos%20disueltos%20totales.pdf.

- **Sólidos Sedimentables**

Los resultados obtenidos en este parámetro se encuentran en la tabla 14.

Tabla 14. Resultados de sólidos disueltos totales en agua

SOLIDOS SEDIMENTABLES	
Puntos de muestreo	Valor (ml/L)
Punto 1	0
Punto 2	0.8
Punto 3	1
Punto 4	1.8
Punto 5	2.3

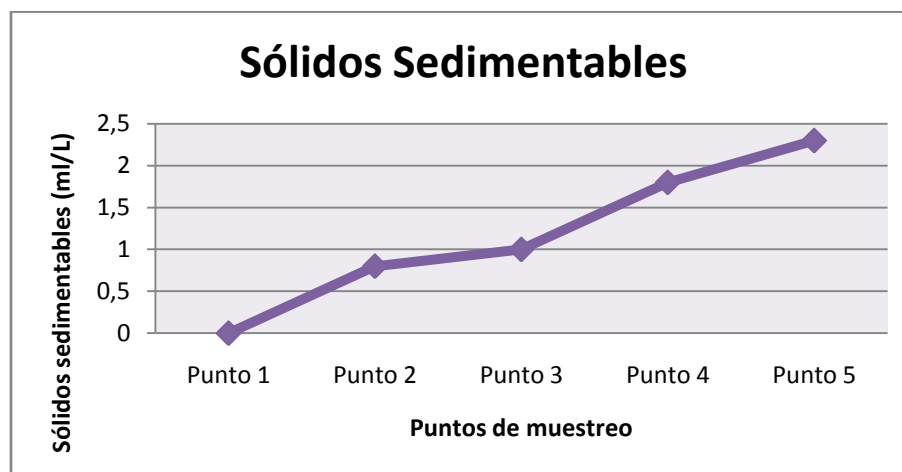
Fuente: Los Autores. 2011

Los sólidos Sedimentables encontrados en el primer punto de muestreo son nulos, debido a la presencia del vertedero rectangular lo cual disminuye la carga de sólidos por la retención en la estructura, en los puntos siguientes como se observa en la gráfica 4 se muestra un aumento de partículas correspondientes a 10 micras³⁰, debido a la influencia poblacional y las actividades económicas.

Se presenta ineficiencia de remoción en el tratamiento de agua residual en los municipios de Tabio y Tenjo además en el punto donde se realizó el muestreo se vierten aguas de riego de los cultivos aledaños generando el aumento de este parámetro. Se debe agregar que en gran parte del cauce se observa una disminución de velocidad, por el ensanchamiento en el área.

³⁰ SÁNCHEZ, Eduardo. Diccionario para agua potable y residual. Ingeniería Sanitaria II. 2011. [en línea] <http://es.scribd.com/doc/50537314/13/SOLIDOS-SEDIMENTABLES>

Gráfica 4. Resultados sólidos sedimentables en agua



Fuente: Los Autores. 2011

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

Los resultados obtenidos de DBO se encuentran en la tabla 15.

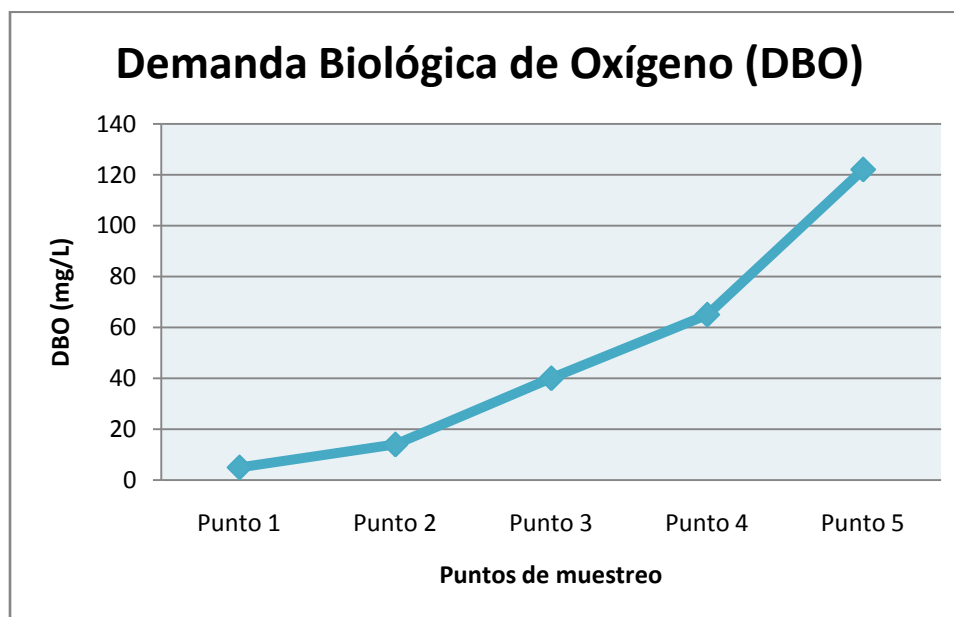
Tabla 15. Resultados de DBO en agua

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	
Puntos de muestreo	Valor (mg/L)
Punto 1	5
Punto 2	14
Punto 3	40
Punto 4	65
Punto 5	122

Fuente: Los Autores. 2011

La demanda biológica de oxígeno está determinada por la cantidad de materia orgánica biodegradable³¹, por tal motivo, como se observa en la gráfica 5, en el punto 1 es baja en comparación a los otros puntos debido a la estructura hidráulica presente en el sitio, ya que no hay acumulación de materia orgánica por la retención en la estructura hidráulica. También, se observan que el parámetro aumenta a través del cauce debido a que no hay eficiencia de remoción en las plantas de tratamiento y el punto de muestreo esta afectado por los vertidos de los cultivos de hortalizas y el sector floricultor.

Gráfica 5. Resultados de DBO



Fuente: Los Autores. 2011

³¹ GRUPO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Demanda de Oxígeno y materia orgánica. Universidad de Sevilla. 2008. [en línea] http://www.ambientum.com/enciclopedia/aguas/2.01.16.16_1r.html

- **Demanda química de Oxígeno (DQO)**

Los resultados obtenidos de DQO se encuentran en la tabla 16.

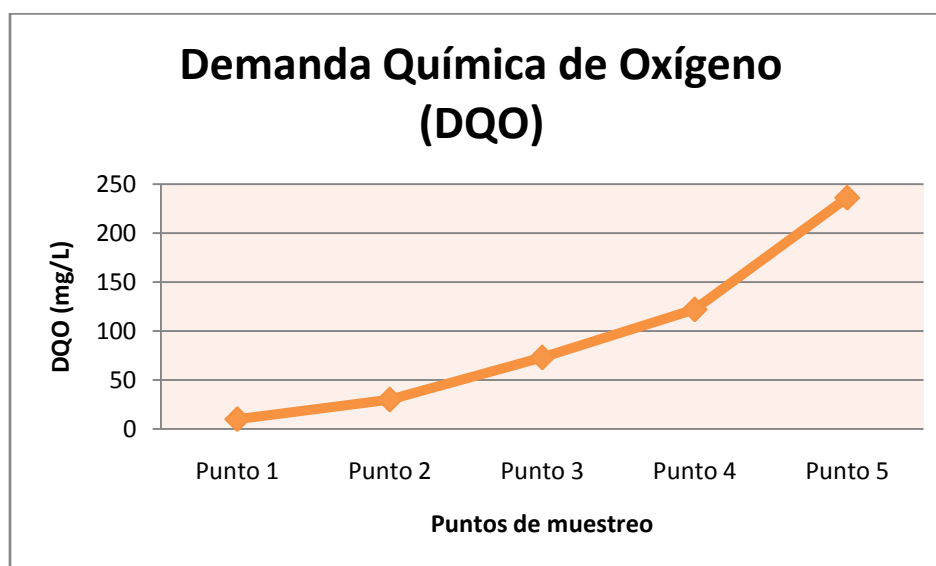
Tabla 16. Resultados de DQO

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	
Puntos de muestreo	Valor (mg/L)
Punto 1	10
Punto 2	30
Punto 3	73
Punto 4	122
Punto 5	236

Fuente: Los Autores. 2011

La demanda química de Oxígeno en la sub – cuenca del río Chicú está determinada por la cantidad de materia orgánica presente en cada uno de los puntos de muestreo ver grafica 6. Al igual que la DBO se observa un aumento de materia orgánica a través del cauce de la cuenca.

Gráfica 6. Resultados de DQO



Fuente: Los Autores. 2011

- **Cromo Total**

Los resultados obtenidos de cromo total se encuentran en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados de Cromo Total en agua

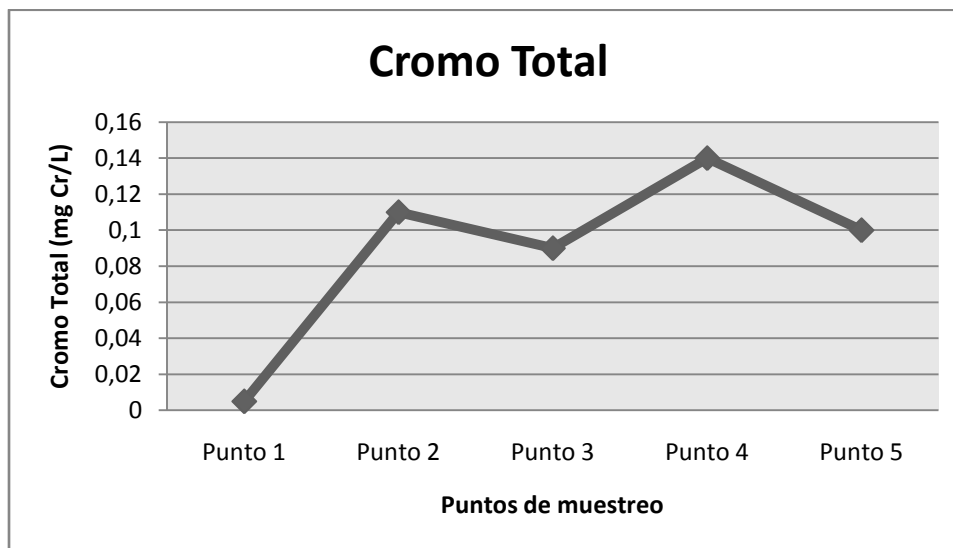
CROMO TOTAL	
Puntos de muestreo	Valor (mg Cr/L)
Punto 1	0.005
Punto 2	0.11
Punto 3	0.09
Punto 4	0.14
Punto 5	0.1

Fuente: Los Autores. 2011

Como se observa en la gráfica 7, en términos generales la concentración de Cromo en el agua no es tan representativa, debido a que este tipo de metal tiene la propiedad de bioacumularse en suelos y sedimentos de la sub – cuenca³². Aun así, a pesar de evidenciar bajas remociones por las PTAR’s de los municipios, se observan disminuciones en las concentraciones del Cromo, indicando así efectividad en el proceso de tratamiento para la remoción de este metal. Por último, el primer punto presenta baja concentración de Cromo en relación a los demás puntos, debido a que esta zona está alejada de las actividades económicas.

³² RODRIGUEZ Antonio y ARVELO Carmen. Control de la degradación de suelos y la desertificación. Universidad de la Laguna, Islas Canarias. 2007. [en línea] http://www.marm.es/es/ministerio/organizacion/organismos-publicos/chaf_art_suelos_08_tcm7-157135.pdf

Gráfica 7. Resultados de Cromo Total en agua



Fuente: Los Autores. 2011

- **Zinc**

Los resultados obtenidos de Zinc se encuentran en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados de Zinc en agua

ZINC	
Puntos de muestreo	Valor (mg Zn/L)
Punto 1	0.2
Punto 2	0.05
Punto 3	0.07
Punto 4	0.21
Punto 5	0.27

Fuente: Los Autores. 2011

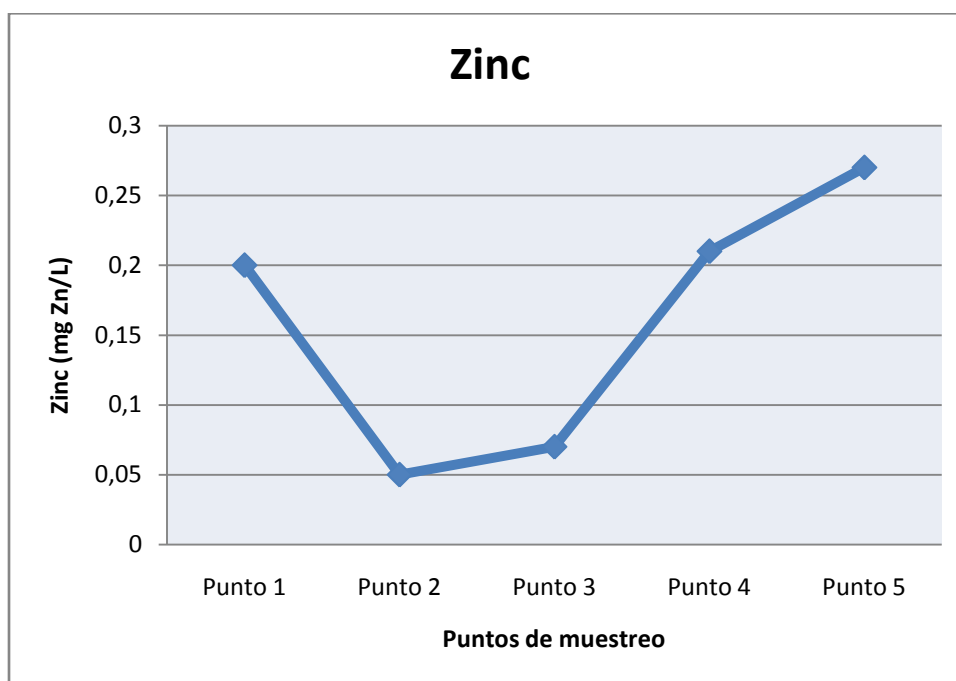
Las concentraciones de Zinc en el primer punto son altas con respecto a las puntos 2 y 3, a pesar de que en esta zona no hay presencia de actividades económicas, pero según lo indagado con la persona encargada es usual

utilizar fertilizantes para las zonas de pastos en esta propiedad, por tal motivo las concentraciones de Zinc pueden aumentar por este factor.

A pesar, de que en los puntos dos y tres hay presencia de cultivos de hortalizas la concentración del Zinc no es predominante en el agua debido a que tiene una propiedad similar a la del cromo (bioacumulación en suelos y sedimentos).

Por último, se identifica que la concentración de Zinc aumenta durante el cauce de éste como se observa en la gráfica 8, presentando el máximo pico en el punto cuatro, a diferencia del Cromo el tratamiento en las PTAR's no son eficientes para disminuir la concentración del metal.

Gráfica 8. Resultados de Zinc en agua



Fuente: Los Autores. 2011

6.2.1 Comparación con la normatividad legal vigente

Según la tabla 19 en el Decreto 1594 de 1984, se observa un incumplimiento a los estándares máximos permisibles por el Cromo en los puntos de muestreo 2 y 4; esto, debido a que en las entradas de las plantas de tratamiento se observa la influencia directa e indirecta de las actividades económicas de los municipios de estudio y por tal motivo su aumento en la concentración del metal. Aunque se resalta que a pesar de que las concentraciones aumentan en las entradas de las PTAR's se observa una disminución de concentración a la salida de la PTAR's, cumpliendo así los niveles máximos permisibles por la normatividad nacional.

En la tabla 20, el Acuerdo 043 de 2006 establecido por la CAR que indica los niveles máximos permisibles para el año 2020, se destaca que la DBO incumple en la zona del municipio de Tenjo, posiblemente por la presencia de materia orgánica en la zona de influencia generando así un déficit de oxígeno disponible³³, además en el punto 4 y 5 convergen cultivos aledaños de hortalizas y floricultura generando el aumento en los índices de DBO.

³³ ANDREO Marisa. Demanda Biológica de Oxígeno. Conicet. 2008. [en línea] <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DBO.htm>

Tabla 19. Comparación con la normatividad legal vigente decreto 1594/84

	NORMA	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁX. PERMISIBLE	CUMPLIMIENTO
PUNTO 1	Decreto 1594 /84 Uso agrícola	pH	Unid. de pH	7.25	4.5 – 9.0	Cumple
		Cromo	mg/L	0.005	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.2	2.0	Cumple
PUNTO 2		pH	Unid. de pH	7.94	4.5 – 9.0	Cumple
		Cromo	mg/L	0.11	0.1	No Cumple
		Zinc	mg/L	0.05	2.0	Cumple
PUNTO 3		pH	Unid. de pH	7.54	4.5 – 9.0	Cumple
		Cromo	mg/L	0.09	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.07	2.0	Cumple
PUNTO 4		pH	Unid. de pH	6.49	4.5 – 9.0	Cumple
		Cromo	mg/L	0.14	0.1	No Cumple
		Zinc	mg/L	0.21	2.0	Cumple
PUNTO 5		pH	Unid. de pH	7.02	4.5 – 9.0	Cumple
		Cromo	mg/L	0.1	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.27	2.0	Cumple
PUNTO 1	Decreto 1594 /84 Uso Pecuario	Cromo	mg/L	0.005	1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.2	25	Cumple
PUNTO 2		Cromo	mg/L	0.11	1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.05	25	Cumple
PUNTO 3		Cromo	mg/L	0.09	1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.07	25	Cumple
PUNTO 4		Cromo	mg/L	0.14	1	No Cumple
		Zinc	mg/L	0.21	25	Cumple
PUNTO 5		Cromo	mg/L	0.1	1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.27	25	Cumple

Fuente: Los Autores. 2011

Tabla 20. Comparación con la normatividad legal vigente Acuerdo 043/06

	NORMA	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁX. PERMISIBLE	CUMPLIMIENTO
PUNTO 1	Acuerdo 043 de 2006 Uso agrícola y pecuario	pH	Unid. de pH	7.25	4.5 – 9.0	Cumple
		DBO	mg/L	5	50	Cumple
		Cromo	mg/L	0.005	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.2	2	Cumple
PUNTO 2		pH	Unid. de pH	7.94	4.5 – 9.0	Cumple
		DBO	mg/L	14	50	Cumple
		Cromo	mg/L	0.11	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.05	2	Cumple
PUNTO 3		pH	Unid. de pH	7.54	4.5 – 9.0	Cumple
		DBO	mg/L	40	50	Cumple
		Cromo	mg/L	0.09	0.1	Cumple
		Zinc	mg/L	0.07	2	Cumple
PUNTO 4		pH	Unid. de pH	6.49	4.5 – 9.0	Cumple
		DBO	mg/L	65	50	No Cumple
		Cromo	mg/L	0.14	0.1	No Cumple
		Zinc	mg/L	0.21	2	Cumple
PUNTO 5	pH	Unid. de pH	7.02	4.5 – 9.0	Cumple	
	DBO	mg/L	122	50	No Cumple	
	Cromo	mg/L	0.1	0.1	Cumple	
	Zinc	mg/L	0.27	2	Cumple	

Fuente: Los Autores. 2011

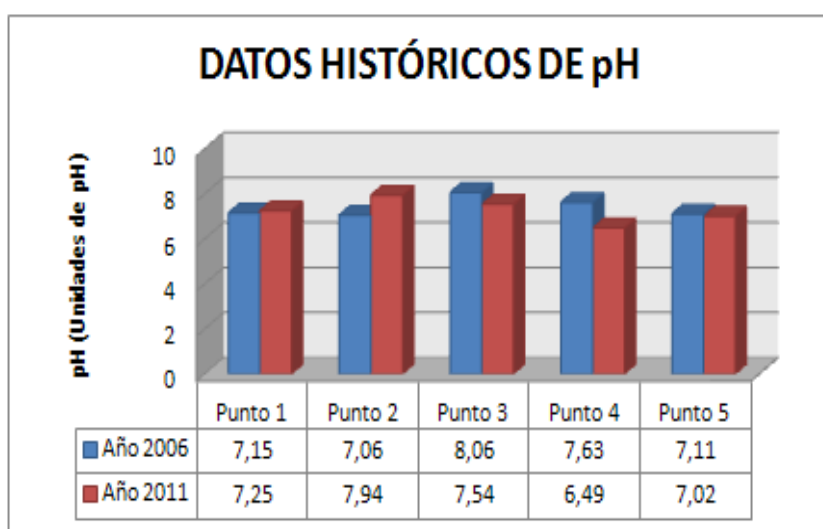
6.2.2 Actualización de datos (Sub – cuenca del rio Chicú)

La CAR – Cundinamarca realizó un estudio titulado “Elaboración de diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, Sub-cuenca del rio Chicú”, elaborado en el año 2006. En este estudio se contemplaron diferentes parámetros en cinco puntos de muestreo, por tal motivo se actualizarán los datos con el muestreo realizado en este proyecto, los cuales se encuentran a continuación:

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

En el anterior estudio se establecieron valores para este parámetro como se observa en la gráfica 9.

Gráfica 9. Datos históricos de pH



Fuente: Los Autores. 2011

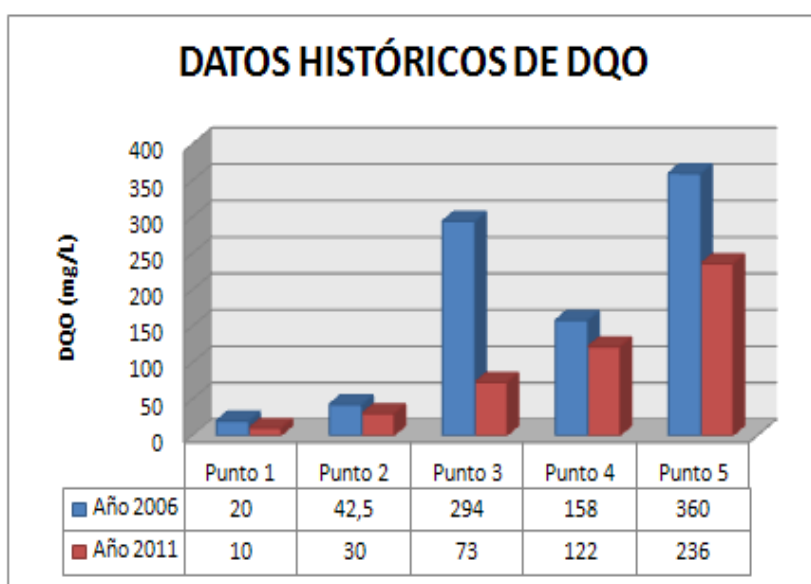
Se puede observar en la anterior gráfica que los valores de pH no se han alterado en los últimos años, lo cual permite comprobar en primera medida que cumple con los valores máximos permisibles garantizando la vida animal y vegetal presente en la sub – cuenca. En segunda medida, determina poca disponibilidad de los metales pesados, debido a que no se presentan valores ácidos. Por último, se debe tener en cuenta el punto 4, debido a que puede llegar a presentar acidez facilitando así la disponibilidad de metales pesados como el Cromo y Zinc³⁴.

³⁴ CHICÓN Lorenzo. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Universidad de Málaga. Ingeniería Ambiental. 2006. [en línea] <http://www.usuarios.multimanía.es/ambiental/lodos.html>

- **Demanda química de Oxígeno (DQO)**

Los valores históricos de la DQO, se encuentran relacionados en la gráfica 10.

Gráfica 10. Datos históricos de DQO



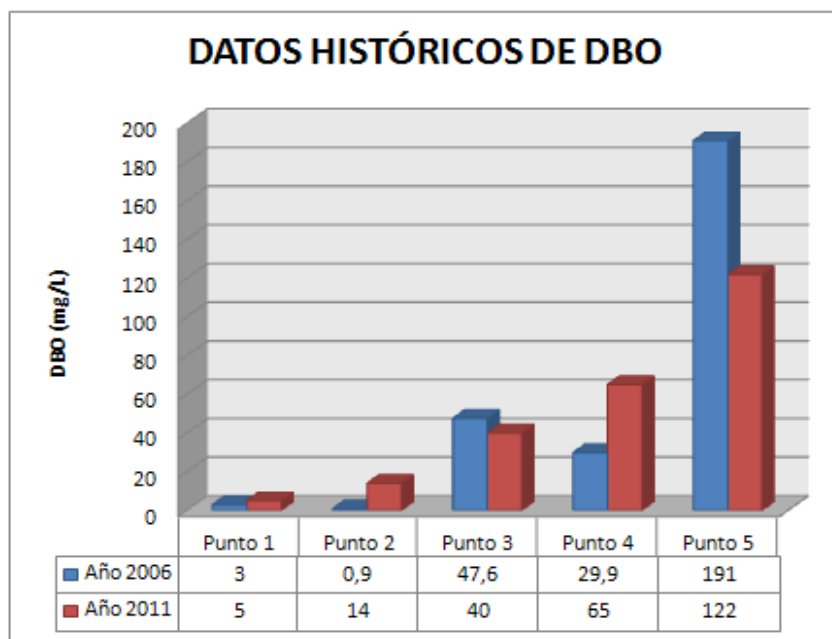
Fuente: Los Autores. 2011

Se observa que los valores de DQO disminuyen significativamente comparado con el año 2006, esto se debe a que el muestreo se efectuó en un periodo entre invierno y verano, mientras que el muestreo ejecutado por la CAR se desarrolló en un periodo de lluvias continuas, con lo cual el arrastre de materia orgánica es mayor.

- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)**

En la gráfica 11, se encuentran relacionados los valores históricos de DBO.

Gráfica 11. Datos históricos de DBO



Fuente: Los Autores. 2011

Es notorio que la materia orgánica biodegradable ha aumentado en los puntos 1, 2 y 4, los cuales son identificados por la entrada a las PTAR's de los municipios de Tabio y Tenjo, se resalta que en el año 2006 la eficiencia de remoción de las PTAR's no era la más óptima teniendo en cuenta que el muestreo se realizó en época de lluvias, lo cual es más notorio en el punto 5. Finalmente, se demuestra que el crecimiento poblacional ha afectado en el aumento de la materia orgánica, generando así problemas de oxígeno disponible en la sub – cuenca.

6.3 Identificación de la calidad del suelo

Para determinar la calidad del suelo de la sub – cuenca del río Chicú, se contarán con los parámetros que se encuentran en la tabla 10. Como a nivel nacional no se cuenta con normatividad legal vigente para el recurso suelo, se procede a tomar las guías de calidad del suelo para el ambiente de Canadá y el real decreto de España, esto con el fin de realizar una comparación de los metales (Cromo y Zinc) encontrados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle:

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Los resultados obtenidos para el potencial de Hidrógeno se relacionan en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados de pH en suelo

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	
Puntos de muestreo	Valor (Unidades de pH)
Punto 1	6.53
Punto 2	7.25
Punto 3	6.18
Punto 4	6.57
Punto 5	7.1

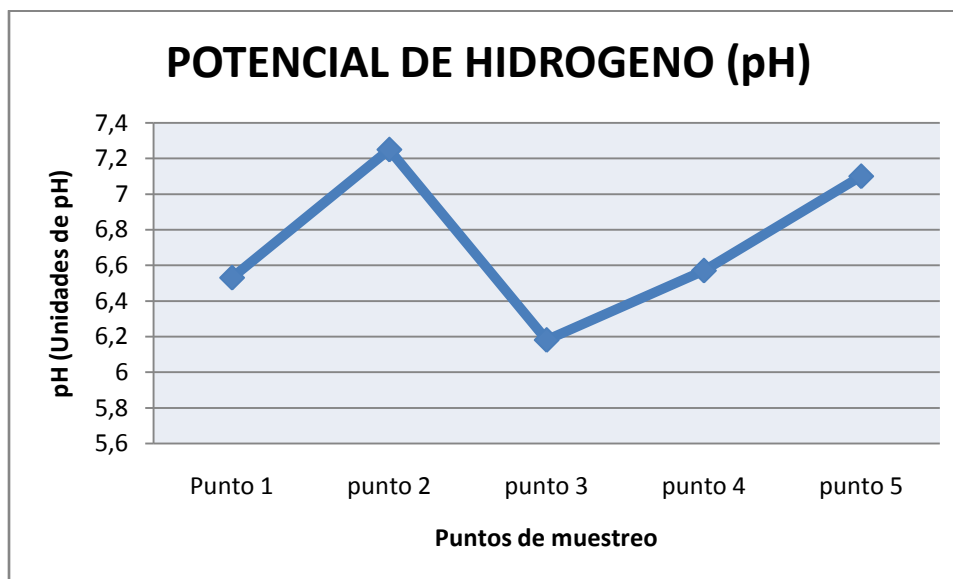
Fuente: Los Autores. 2011

El pH en el suelo es una medida de la concentración de Hidrógeno expresada en términos logarítmico, según lo que se observa en la gráfica 12 los valores de pH en el suelo se encuentra en un valor adecuado para la agricultura del

sitio, aun así el punto 3 maneja un pH que puede llegar hacer ácido, generando problemas debido a que modifica el grado de solubilidad de los minerales pudiendo así provocar efectos tóxicos a las plantas, ya que estos minerales son absorbidos por las raíces³⁵.

A pesar de la cercanía que se tiene entre el punto 2 y 3, se observa una modificación en la textura del suelo provocando así una variación de pH, debido a que en el punto 1 presenta una textura Arcillosa y en el punto 2 una textura Franco Arcillosa, generando así un mayor efecto por solubilidad de minerales.

Gráfica 12. Resultados potencial de Hidrógeno en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

³⁵ DORRONSORO C. Tema 15 Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada, España. 2010. [en línea] <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

Los resultados para la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, se observan en la tabla 22.

Tabla 22. Resultados de CIC en suelo

Capacidad de intercambio catiónico	
Puntos de muestreo	Valor (meq/gr)
Punto 1	14.45
Punto 2	11.79
Punto 3	13.91
Punto 4	20.81
Punto 5	14.81

Fuente: Los Autores. 2011

La capacidad de intercambio catiónico es una medida importante de la fertilidad en la productividad potencial de los suelos, para esto se deben tener en cuenta las partículas de arcilla y la materia orgánica presente en el suelo³⁶.

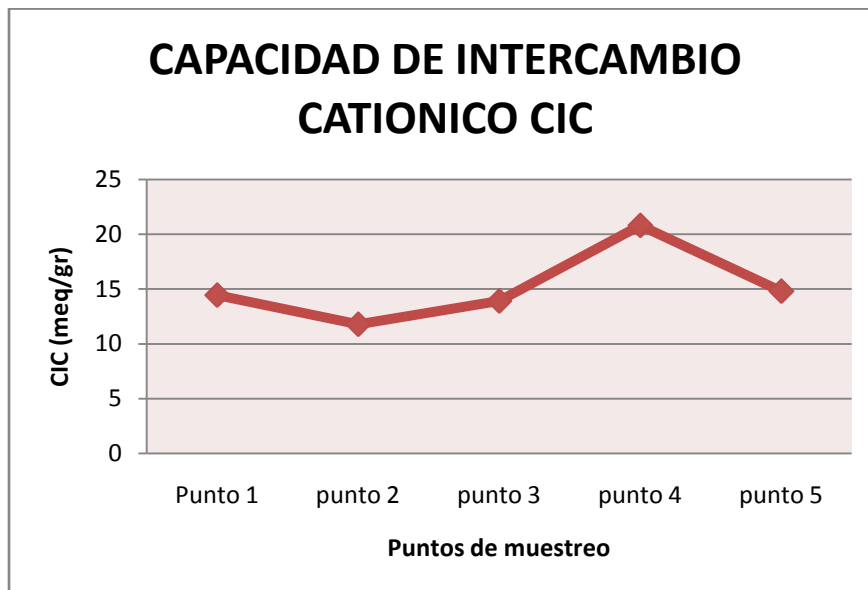
En la gráfica 13, se observa una alta capacidad de intercambio catiónico posiblemente por la materia orgánica presente en el sitio de estudio y debido a que la textura del suelo es en su total arcillosa.

Del mismo modo, se debe tener en cuenta que cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales, por tal motivo, se observa que a través del cauce aumenta el CIC y por ende, la capacidad de fijación y bioacumulación en este medio³⁷.

³⁶ CALDERÓN Felipe y PAVLOVA Margarita. Metodología para análisis químico de suelos. Junio de 1999. [en línea] http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos.htm

³⁷ DORRONSORO C. Tema 15 Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada, España. 2010. [en línea] <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>

Grafica 13. Resultados CIC en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

- **Materia orgánica (MO)**

Los resultados obtenidos para la materia orgánica en el suelo, se encuentran en la Tabla 23.

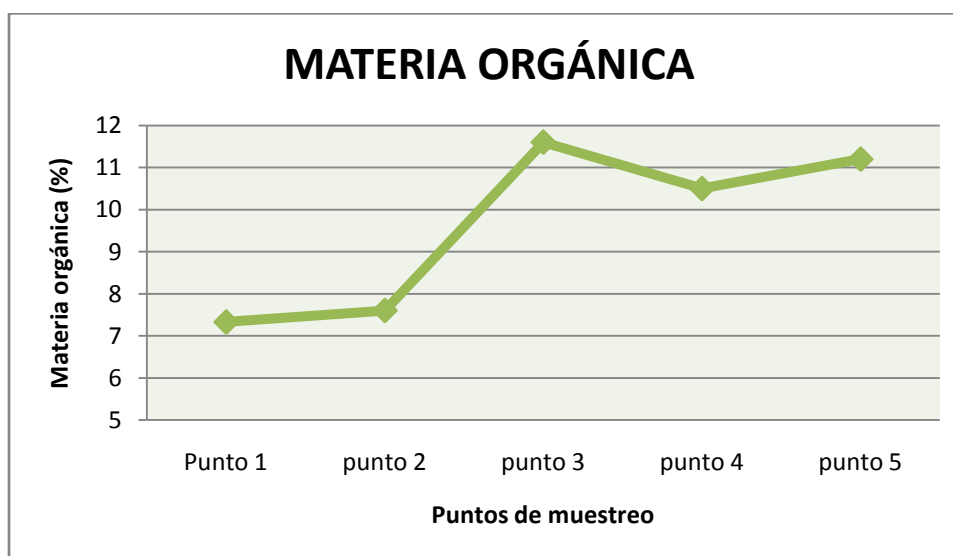
Tabla 23. Resultados de MO en suelo

MATERIA ORGÁNICA	
Puntos de muestreo	Valor (%)
Punto 1	7.33
Punto 2	7.6
Punto 3	11.6
Punto 4	10.5
Punto 5	11.2

Fuente: Los Autores. 2011

La materia orgánica es esencial para la fertilidad y la buena producción agrícola, debido a que su descomposición genera el humus necesario para el mantenimiento de la vida vegetal³⁸. En la gráfica 14 se observa que a través del cauce de la sub – cuenca aumenta este valor, esto ocasionado por la influencia de los cultivos aledaños a la sub – cuenca, así mismo, se debe al aumento del porcentaje de humedad de los puntos muestreados. Se puede identificar que el aumento de materia orgánica a través del cauce genera una acumulación de metales pesados, debido a que forman complejos orgánicos solubles que pueden polimerizarse sobre los complejos moleculares del humus, presentando posibles niveles de toxicidad ya que los elementos pueden ser transferidos a la vegetación³⁹.

Gráfica 14. Resultados de MO en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

³⁸ ECOLOGÍA DEL PERÚ. Enciclopedia: “Ecología del Perú”. Materia orgánica. [en línea] <http://peruecologico.com.co.pe/libro.htm>

³⁹ HIGUERAS, P. Mineralogía y procesos de contaminación de suelos. Universidad de Castilla.2008. [en línea] http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema03/Tema_03_Suelos_3_4.htm

- **Salinidad**

Los resultados obtenidos para la salinidad en el suelo se encuentran en la Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de Salinidad en suelo

SALINIDAD	
Puntos de muestreo	Valor (mg/L)
Punto 1	0.723
Punto 2	1.473
Punto 3	0.923
Punto 4	1.765
Punto 5	2.136

Fuente: Los Autores. 2011

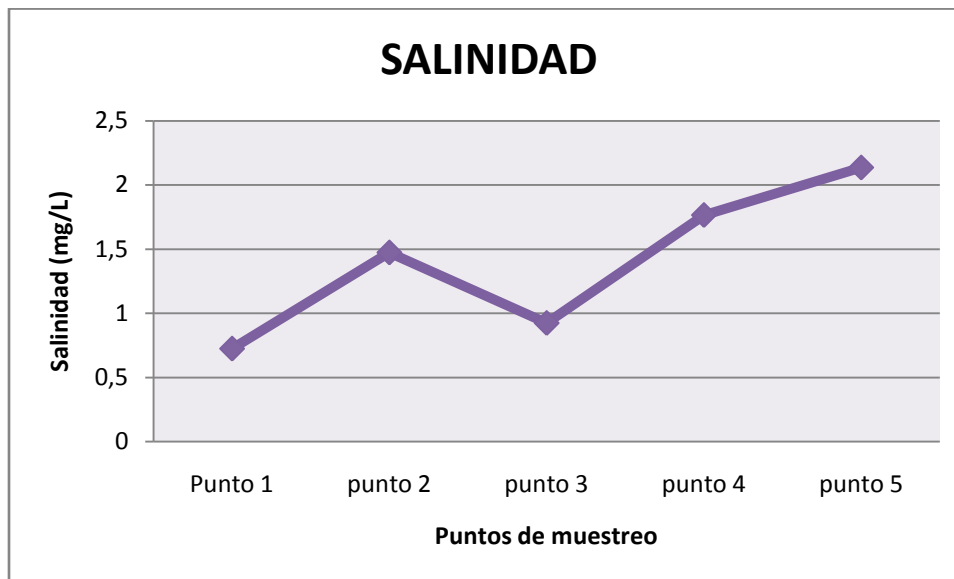
La salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales presentes en el suelo, a pesar de la utilización de fertilizantes para los cultivos no genera un aumento de estas sales en el medio⁴⁰, ya que los datos obtenidos demuestran una salinidad baja ver gráfica 15.

Este factor se ve determinado por la climatología del sitio, ya que en la región de la sabana las lluvias son constantes ocasionando que las sales sean lavadas en profundidad y no afecten las zonas de las raíces de las plantas.

Lo anterior es demostrable debido, a que la zona de influencia de la sub – cuenca muestra una vegetación en óptimas condiciones ya que no se observan alteraciones físicas en las plantas.

⁴⁰ IBAÑEZ Juan José. Tipos de suelos salinos. MIOD. 2008. [en línea] <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/81822>

Gráfica 15. Resultados de salinidad en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

- **Conductividad eléctrica del extracto de saturación**

Los resultados obtenidos para la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, se observan en la Tabla 25.

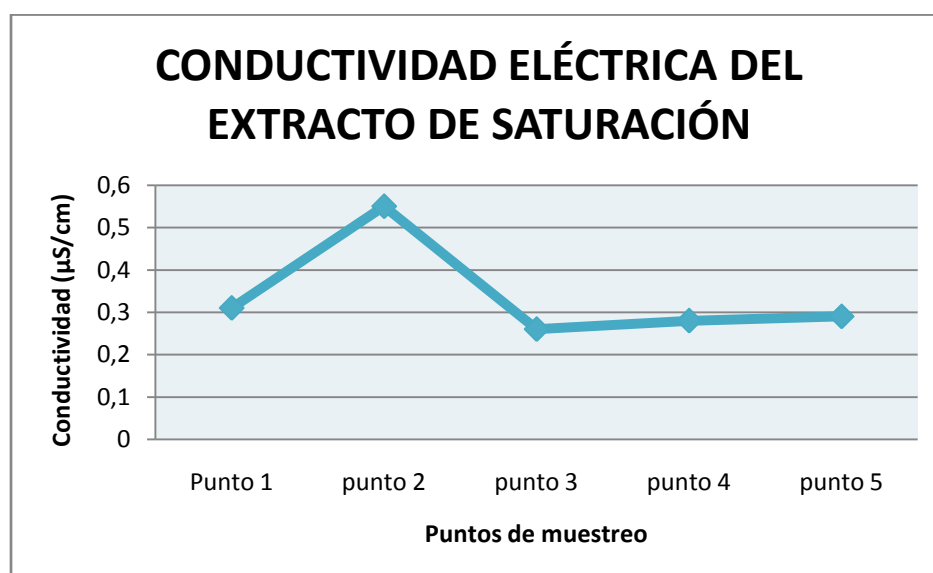
Tabla 25. Resultados conductividad eléctrica en suelo

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN	
Puntos de muestreo	Valor ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Punto 1	0.31
Punto 2	0.55
Punto 3	0.26
Punto 4	0.28
Punto 5	0.29

Fuente: Los Autores. 2011

La conductividad está relacionada con la cantidad de sales que tiene el suelo, por tal motivo y con relación a la anterior gráfica de salinidad, la conductividad va en relación con las concentraciones de salinidad. Esta, al ser baja, genera una disminución en la conductividad eléctrica del extracto de saturación, esto es posible por causa de fuertes lluvias presentadas en la época de invierno en las zonas de estudio, ya que, las sales fueron lavadas continuamente en los puntos de muestreo.

Gráfica 16. Resultados de conductividad eléctrica en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

- **HUMEDAD**

Los resultados obtenidos para la humedad en el suelo, se encuentran en la tabla 26.

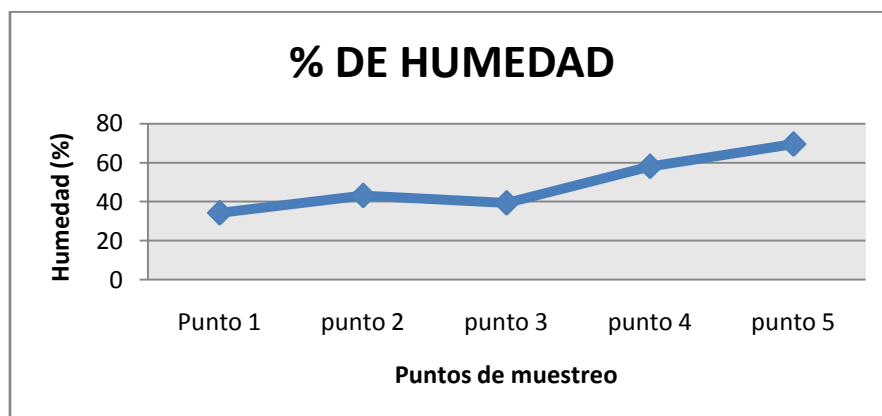
Tabla 26. Resultados de Humedad en suelo

HUMEDAD	
Puntos de muestreo	Valor (%)
Punto 1	34,3
Punto 2	43,2
Punto 3	39,4
Punto 4	58,1
Punto 5	69,5

Fuente: Los Autores. 2011

El contenido de humedad de los suelos es la cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído⁴¹, en la zona de estudio el agua se ve afectada tanto por las condiciones climáticas (lluvias constantes) y por agua de riego proveniente de los cultivos aledaños . Se observa en la gráfica 17 que en el cauce aumenta el porcentaje de humedad posiblemente por el riego de los cultivos aledaños. Así mismo, la capacidad de campo presente en los suelos puede afectar las condiciones fisicoquímicas del suelo, debido a que allí se puede acumular elevadas concentraciones de metales pesados.

Gráfica 17. Resultados de Humedad en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

⁴¹ HEREDIA Miguel Ángel. El contenido de humedad de los suelos. ARQHIS SITE. [en línea] <http://www.arqhys.com/construccion/suelos-humedad.html>

- **Cromo Total**

Los resultados obtenidos para el cromo total en el suelo, se encuentran relacionados en la Tabla 27.

Tabla 27. Resultados de Cromo total en suelo

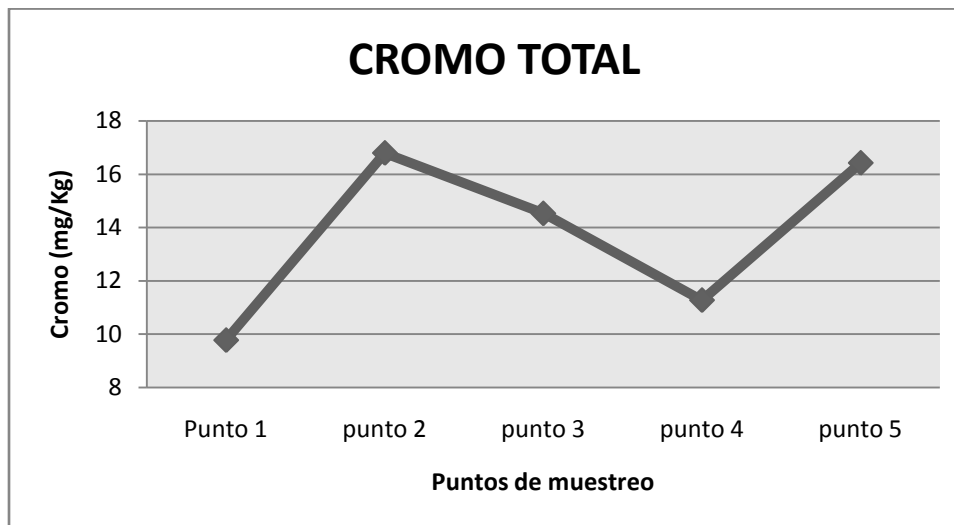
CROMO TOTAL	
Puntos de muestreo	Valor (mg/kg)
Punto 1	9.78
Punto 2	16.79
Punto 3	14.53
Punto 4	11.27
Punto 5	16.42

Fuente: Los Autores. 2011

A pesar de que las concentraciones determinados del Cromo en el agua no son tan representativas, se observa en el suelo presencia de este metal, posiblemente por bioacumulación en este medio. En la gráfica 18 en el punto 1 se observa la mayor disminución debido a que allí no hay presencia de actividades que puedan generar altos contenidos de cromo, pero el punto 2 presenta el pico más alto, debido a la presencia de cultivos e industrias aledañas al punto de muestreo como se observa en la Imagen 6, donde emplean preservantes de madera el cuál puede contener metales pesados como el Cromo.

A partir de allí la concentración disminuye hasta la entrada de la PTAR de Tenjo, pero presenta un aumento debido a que en el punto 5 se interceptan cultivos de hortalizas los cuales utilizan agroquímicos que aumentan la concentración de Cromo en el suelo.

Gráfica 18. Resultados de Cromo total en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

- **Zinc**

Los resultados obtenidos de Zinc en el suelo, se encuentran en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de Zinc en suelo

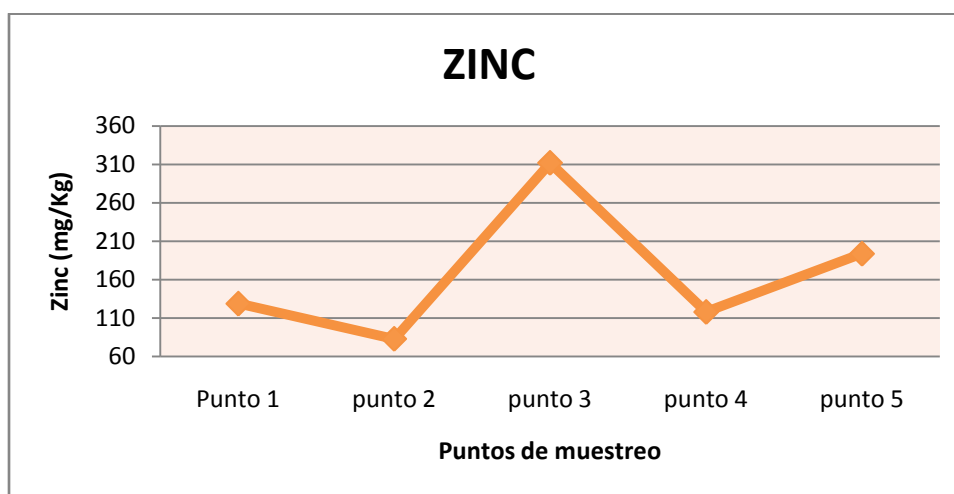
ZINC	
Puntos de muestreo	Valor (mg/kg)
Punto 1	129.03
Punto 2	83.01
Punto 3	311.79
Punto 4	118.12
Punto 5	193.85

Fuente: Los Autores. 2011

Al igual que el Cromo las concentraciones de Zinc en el suelo aumentan en relación al agua, lo cual es presentando por bioacumulación en este medio. En las gráficas 19 y 14, se observa una relación entre el Zinc y la materia orgánica, por tal motivo, se puede correlacionar que en la materia orgánica se presenta un almacenamiento de este metal generando así concentraciones

significativas en el suelo. En el punto 3 se observa el pico más alto de este metal afectado por la bioacumulación del metal en el suelo.

Gráfica 19. Resultados de Zinc en suelo



Fuente: Los Autores. 2011

6.3.1 Comparación con la normatividad legal vigente

Debido a que en Colombia no se cuenta con normatividad para la medición de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y niveles permisibles de metales pesados, se optó para el presente proyecto comparar los datos obtenidos en el suelo con las normatividades de calidad de suelo en Canadá (Ver Anexo 4) y en España, debido a que en estos países evalúan la problemática de la contaminación del suelo como un problema ambiental. A continuación se presentan las comparaciones relacionadas en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29. Comparación con la normatividad legal vigente de Canadá en suelo

	NORMA	PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁX. PERMISIBLE	CUMPLIM.
PUNTO 1	CANADIAN SOIL QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN HEALTH	pH	Unid. de pH	6.53	6 – 8	Cumple
		Conductividad	µs/cm	0.31	2	Cumple
		Cromo	mg/kg	9.78	64	Cumple
		Zinc	mg/kg	129.03	200	Cumple
PUNTO 2		pH	Unid. de pH	7.25	6 – 8	Cumple
		Conductividad	µs/cm	0.55	2	Cumple
		Cromo	mg/kg	16.79	64	Cumple
		Zinc	mg/kg	83.01	200	Cumple
PUNTO 3		pH	Unid. de pH	6.18	6 – 8	Cumple
		Conductividad	µs/cm	0.26	2	Cumple
		Cromo	mg/kg	14.53	64	Cumple
		Zinc	mg/kg	311.79	200	No Cumple
PUNTO 4		pH	Unid. de pH	6.47	6 – 8	Cumple
		Conductividad	µs/cm	0.28	2	Cumple
		Cromo	mg/kg	11.27	64	Cumple
		Zinc	mg/kg	118.12	200	Cumple
PUNTO 5	pH	Unid. de pH	7.1	6 – 8	Cumple	
	Conductividad	µs/cm	0.29	2	Cumple	
	Cromo	mg/kg	16.42	64	Cumple	
	Zinc	mg/kg	193.85	200	Cumple	

Fuente: Los Autores. 2011

Tabla 30. Comparación con la normatividad legal vigente de España

	NORMA	PARAMETRO	UNID.	RESULTADO	VALOR MÁX. PERMISIBLE	CUMPLIM.
PUNTO 1	REAL DECRET O 1310 DE 1990	Cromo	mg/Kg	9.78	100	Cumple
		Zinc	mg/Kg	129.03	150	Cumple
PUNTO 2		Cromo	mg/Kg	16.79	100	Cumple
		Zinc	mg/Kg	83.01	150	Cumple
PUNTO 3		Cromo	mg/Kg	14.53	100	Cumple
		Zinc	mg/Kg	311.79	150	No Cumple
PUNTO 4		Cromo	mg/Kg	11.27	100	Cumple
		Zinc	mg/Kg	118.12	150	Cumple
PUNTO 5		Cromo	mg/Kg	16.42	100	Cumple
		Zinc	mg/Kg	193.85	150	No Cumple

Fuente: Los Autores. 2011

Hay que tener en cuenta que países como Canadá y España manejan niveles de restricción para metales que puedan afectar la estabilidad del suelo para la agricultura y el uso pecuario, a pesar de que los niveles de Cromo cumplen con los requerimientos permisibles de las normas, es notorio que el Zinc incumple tanto para las normas de Canadá y España, generado por la utilización de fertilizantes que afectan la composición del suelo.

Por otro lado, se evidencia que los valores de pH y conductividad se encuentran dentro de los límites permisibles identificando así óptimas condiciones fisicoquímicas del suelo.

6.4 Identificación de la calidad del sedimento

Para determinar la calidad del sedimento de la sub – cuenca del río Chicú, se contará con los parámetros que se encuentran en la tabla 10.

Como a nivel nacional no se cuenta con normatividad legal vigente para el sedimento, se procede a tomar las guías de calidad de sedimento para el ambiente de Canadá, esto con el fin de realizar una comparación de los metales (Cromo y Zinc) encontrados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle:

- **Humedad**

Los resultados obtenidos de humedad en el sedimento, se encuentran relacionados en la Tabla 31.

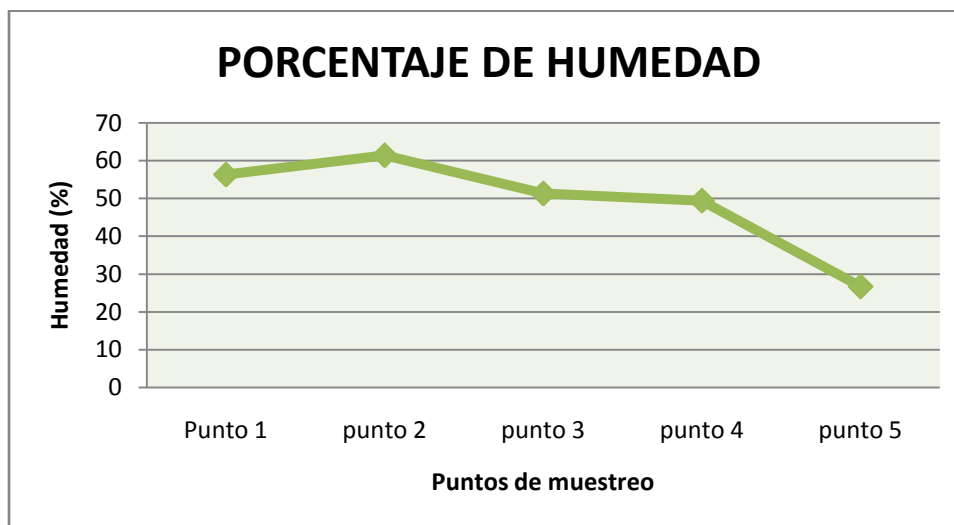
Tabla 31. Resultados de humedad en sedimento

HUMEDAD	
Puntos de muestreo	Valor (%)
Punto 1	56.3
Punto 2	61.4
Punto 3	51.3
Punto 4	49.4
Punto 5	26.7

Fuente: Los Autores. 2011

A pesar de que el sedimento contiene humedad, es notorio que hay una pérdida de este parámetro a través del cauce como se observa en la gráfica 20, debido a que parte del caudal de la sub – cuenca es distribuido para los cultivos aledaños, ocasionando disminución de la humedad en el sedimento.

Gráfica 20. Resultados de humedad en sedimento



Fuente: Los Autores. 2011

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Los resultados obtenidos del potencial de Hidrógeno para el sedimento se presentan en la Tabla 32.

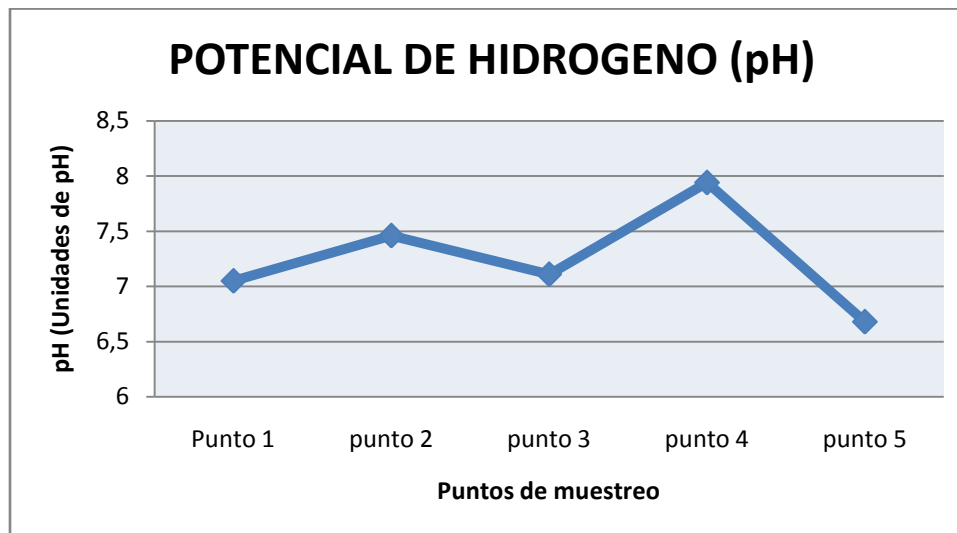
Tabla 32. Resultados de pH en sedimento

POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	
Punto de muestreo	Valor (Unidades de pH)
Punto 1	7.05
Punto 2	7.46
Punto 3	7.11
Punto 4	7.94
Punto 5	6.68

Fuente: Los Autores. 2011

Se observa que el pH en los sedimentos manejan niveles adecuados, debido a que sus niveles están en un pH neutro y por tal motivo, no se ven afectadas las condiciones ambientales tanto del agua como del suelo, aunque se puede considerar que relacionando los valores el punto 5 tanto del pH (Tabla 32) como del porcentaje de humedad (Tabla 31) en este punto puede alcanzar acidez, debido a que allí se presenta una disminución en el porcentaje de humedad, generando así una posible acidificación del medio aumentando la concentración de los metales pesados.

Gráfica 21. Resultados de pH en sedimento



Fuente: Los Autores. 2011

- **Materia orgánica (MO)**

Los resultados obtenidos de materia orgánica en los sedimentos se encuentran en la Tabla 33.

Tabla 33. Resultados de materia orgánica en sedimento

MATERIA ORGÁNICA	
Puntos de muestreo	Valor (%)
Punto 1	4.8
Punto 2	12.3
Punto 3	11.7
Punto 4	10.65
Punto 5	12.5

Fuente: Los Autores. 2011

Al igual que en el suelo los contenidos de materia orgánica van en aumento a través del cauce de la sub-cuenca, por tal motivo facilita la disponibilidad y

acumulación de los metales pesados⁴², afectando así el agua y en mayor medida el suelo.

Del mismo modo, elevados contenidos de materia orgánica favorecen la fijación de metales, ayudando así la inmovilización y acumulación en el sedimento.

Como se observa en la gráfica 22, el punto 1 presenta su valor más bajo de materia orgánica, caso contrario de los puntos 2 y 5, en el cual su porcentaje es más elevado, favoreciendo la bioacumulación de los metales en el sedimento.

Gráfica 22. Resultados de MO en sedimento



Fuente: Los Autores. 2011

⁴² WEVER, Jerzey. Función de la materia orgánica en el suelo. Universidad de Wroclaw, Polonia. 2006. [en línea] <http://karnet.up.wroc.pl/~weber/rola2.htm>

- **Cromo Total**

Los resultados de cromo obtenidos en los sedimentos, se encuentran en la tabla 34.

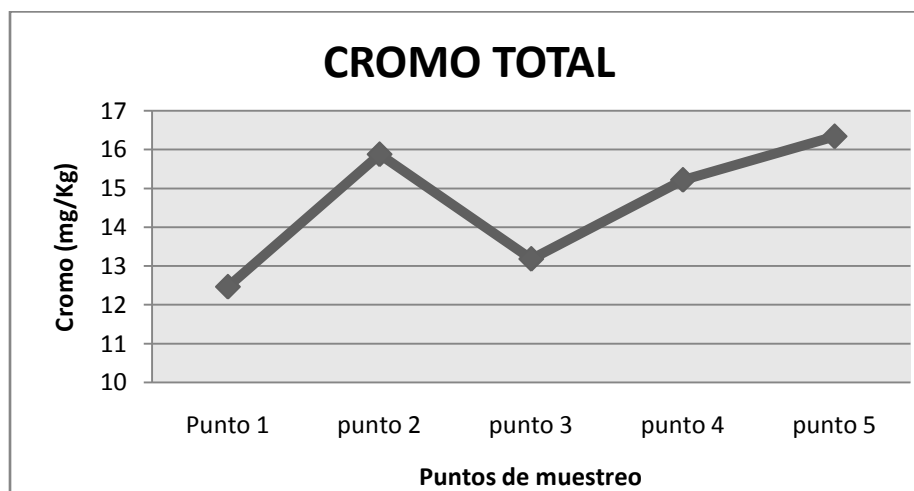
Tabla 34. Resultados de Cromo total en sedimento

CROMO TOTAL	
Puntos de muestreo	Valor (mg/kg)
Punto 1	12.47
Punto 2	15.88
Punto 3	13.18
Punto 4	15.22
Punto 5	16.34

Fuente: Los Autores. 2011

Los datos obtenidos de las concentraciones de Cromo en el sedimento son similares a los obtenidos en el suelo, se resalta que las concentraciones más altas de Cromo se encuentran en los puntos 2 y 5 como se observa en la gráfica 23, donde se presenta un elevado contenido de materia orgánica, (gráfica 21) favoreciendo la bioacumulación de este metal.

Gráfica 23. Resultados de Cromo total en sedimento



Fuente: Los Autores. 2011

- **Zinc**

Las concentraciones de Zinc en el sedimento se encuentran en la tabla 35.

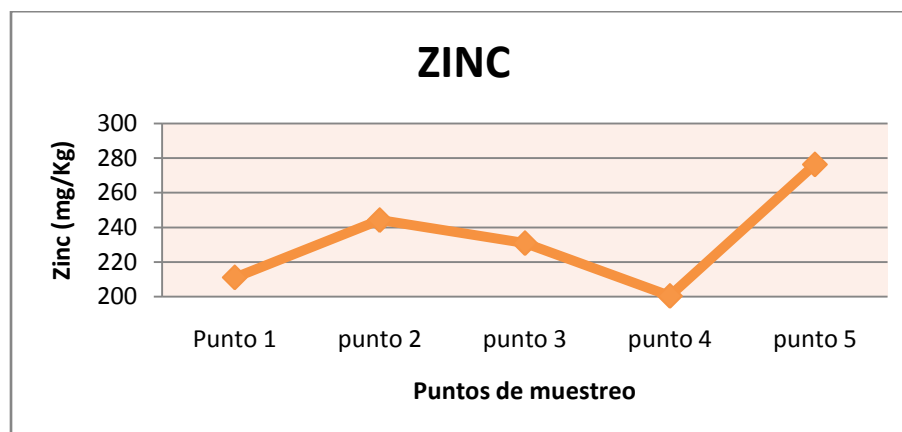
Tabla 35. Resultados de Zinc en sedimento

ZINC	
Puntos de muestreo	Valor (mg/kg)
Punto 1	211.05
Punto 2	244.25
Punto 3	230.92
Punto 4	200.4
Punto 5	276.37

Fuente: Los Autores. 2011

Los datos obtenidos de las concentraciones de Zinc en el sedimento son similares a los obtenidos en el Cromo, se resalta que las concentraciones más altas de Zinc se encuentran en los puntos 2 y 5 como se observa en la gráfica 24, en los cuales ocurre un elevado contenido de materia orgánica que favorece la bioacumulación de este metal⁴³.

Gráfica 24. Resultados de Zinc en sedimento



Fuente: Los Autores. 2011

⁴³ DORRONSORO C. Tema 15 Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada, España. 2010. [en línea] <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>

6.4.1 Comparación con la normatividad legal vigente

Como se observa en la tabla 36, los valores de Zinc en el sedimento son más altos en relación al agua y al suelo y por tal motivo, en comparación con la normatividad legal vigente en Canadá sobrepasan los límites permisibles. Lo anterior es debido a los índices de materia orgánica presente en los puntos de muestreo, ya que es allí donde el contaminante se dispone y se acumula alterando el medio en que se encuentra.

Tabla 36. Comparación con la normatividad legal vigente de Canadá para sedimento

	NORMA	PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO	VALOR MÁX. PERMISIBLE	CUMPLIM
PUNTO 1	CANADIAN SOIL QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF ENVIRONMENTAL AND HUMAN HEALTH	Cromo	mg/Kg	12.47	37.3	Cumple
		Zinc	mg/Kg	211.05	123	No Cumple
PUNTO 2		Cromo	mg/Kg	15.88	37.3	Cumple
		Zinc	mg/Kg	244.25	123	No Cumple
PUNTO 3		Cromo	mg/Kg	13.18	37.3	Cumple
		Zinc	mg/Kg	230.92	123	No Cumple
PUNTO 4		Cromo	mg/Kg	15.22	37.3	Cumple
		Zinc	mg/Kg	200.4	123	No Cumple
PUNTO 5		Cromo	mg/Kg	16.34	37.3	Cumple
		Zinc	mg/Kg	276.37	123	No Cumple

Fuente: Los Autores. 2011

7. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para identificar los Impactos Ambientales generados por los metales pesados Cromo y Zinc, se realizó una lista de verificación, donde su finalidad fue identificar los impactos ambientales antes de empezar a valorarlos. Se identificaron las principales actividades económicas desarrolladas que puedan generar un impacto significativo en los municipios de Tabio y Tenjo (Cundinamarca) y cómo estos afectan de manera directa al ambiente y la comunidad en general.

Del mismo modo, la lista de verificación está contemplada para el recurso agua, suelo y sedimento, debido a que los impactos son diferentes para cada uno de ellos, igualmente estos componentes están determinados por actividades económicas involucradas en la zona de estudio. Por otro lado, las listas de verificación proporcionaron una base sistemática y reproducible para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental que se realizó mediante la aplicación de matrices de impacto ambiental.

También se observó, que en las listas de verificación se contemplan planes de prevención y mitigación en las diferentes actividades económicas de la zona, debido a que lo anterior indica la causa o el grado de afectación que determine la significancia del impacto. Cabe aclarar que estas listas son diseñadas a juicio de los autores como se observa en el (ANEXO 1).

8. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

La evaluación de impacto ambiental determina los impactos significativos que puedan alterar la calidad del ambiente. Para el desarrollo de la evaluación de los impactos ambientales de la sub – cuenca del Rio Chicú, se empleó la matriz de Leopold con el fin de valorizar los impactos ambientales presentes, teniendo en cuenta las listas de verificación debido a que es allí donde se establece la magnitud e importancia según los componentes analizados, además se indica en términos generales el impacto cuantitativo por la contaminación de Cromo y Zinc.

Así mismo, se empleo la matriz DOFA, en la cual se evaluaron las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de dichos impactos ambientales a partir de la comparación de las listas de verificación y los datos obtenidos analíticamente.

Por último se establecieron estas matrices debido a que se identifica la evaluación del impacto ambiental desde la perspectiva tanto cuantitativa como cualitativa, con el fin de garantizar alternativas de prevención y mitigación a problemas identificados en las matrices y las listas de verificación.

8.2 Matriz de Leopold

El diseño de la matriz de Leopold depende de diferentes criterios de evaluación, con el fin de ajustar cuantitativamente el impacto generado tanto por las actividades como para los componentes, la matriz contiene celdas las cuales son divididas, debido a que se mide la magnitud del impacto y la

importancia en relación a las actividades y los componentes. Para la magnitud (parte superior de la celda), se califica con un número del 1 – 10 dependiendo del rango establecido por el diseñador y con un símbolo positivo (+) para factores positivos o un símbolo negativo (-) para efectos negativos. Al igual que la magnitud, la importancia también es medida con un rango de 1 a 10, establecido por el diseñador, como se observa en la Tabla 37.

Como se estableció anteriormente, las actividades a evaluar fueron: primero cultivo de Hortalizas, segundo floricultura, tercero ganadería, cuarto Industrias madereras y por último las PTAR's de los municipios, a partir de las actividades se confrontaron con los parámetros evaluados en agua, suelo y sedimento. Se diseñaron dos matrices, la primera para el municipio de Tabio y la segunda para el municipio de Tenjo. A partir de lo descrito anteriormente se determinaron los rangos de magnitud e importancia, como se observa a continuación:

- **Rangos de magnitud.**

Tabla 37. Rangos de magnitud

RANGO (+ o -)	IMPACTO
1-3	Irrelevante
4-6	Moderado
7-8	Critico
9-10	Severo

Fuente: Los Autores. 2011

- **Rangos de importancia.**

Los rangos de importancia se establecieron de un rango de 1 a 10, como se observa en la Tabla 38, además se crearon grados de impacto para establecer su afectación.

Tabla 38.Rangos de importancia

RANGO	IMPACTO
1	Sin relevancia
2 – 4	Poca relevancia
5 – 7	Medianamente relevante
8 - 10	Alta relevancia

Fuente: Los Autores. 2011

El diseño de las matrices de Leopold se encuentra en el (Anexo 2).

- **Resultados por componente ambiental**

En la tabla 39, se observa que la mayor magnitud es la del suelo debido a que los parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales, tienen relevancia en relación a los demás componentes, además su importancia se destaca debido a que este componente es vital para los cultivos y la ganadería de la zona de la sabana.

También se observa que el sedimento tiene una menor importancia frente a las actividades económicas, pero es notorio que la mayor concentración de metales se encuentra allí, por último el componente agua a pesar de la importancia que tiene este factor para la matriz, su magnitud se determina en

los parámetros fisicoquímicos y por la baja concentración de los metales evaluados.

Tabla 39. Sumatoria de componentes para los municipios de Tabio y Tenjo.

MATRIZ DE LEOPOLD		Evaluación final – Municipio de Tabio	Evaluación final – Municipio de Tenjo
AGUA	MAGNITUD	-148	-176
	IMPORTANCIA	197	201
SUELO	MAGNITUD	-194	-226
	IMPORTANCIA	345	345
SEDIMENTO	MAGNITUD	-138	-144
	IMPORTANCIA	153	153

Fuente: Los Autores. 2011

- **Resultados por Actividades Económicas**

En la tabla 40, se observa que la actividad económica que genera mayor impacto es la floricultura, debido a la utilización de agroquímicos y abonos inorgánicos, igualmente su importancia es relevante debido a que esta zona presenta influencia en la sub – cuenca por los cultivos de hortalizas.

Las PTAR´s se ven afectadas debido a que en los dos municipios se presentan ineficiencias en el tratamiento de remoción y por tal motivo la carga contaminante no se disminuye, además esto es afectado debido a que el punto de muestra es alterado por los vertimientos de los cultivos aledaños a la zona, aumentando así su concentración. La ganadería es la actividad económica puesto que, a pesar de estar presente en la zona no es tan representativa debido a que no genera impactos considerables.

Tabla 40. Sumatoria por actividades económicas para los municipio de Tabio y Tenjo.

		ACTIVIDADES ECONÓMICAS				
		Cultivos Hortalizas	Floricultura	Ganadería	Industrias madereras	PTAR
Tabio	Magnitud	-111	-114	-78	-69	-108
	Importancia	165	153	125	98	154
Tenjo	Magnitud	-123	-129	-90	-81	-123
	Importancia	166	154	126	99	154

Fuente: Los Autores. 2011

8.2 Matriz DOFA

Como se identificaron anteriormente los impactos ambientales mediante las listas de verificación, posteriormente se evaluaron mediante la aplicación de la matriz de Leopold en la calidad del agua, suelo y sedimento en la sub – cuenca del Río Chicú, se procedió a realizar un análisis de dichos impactos aplicando la matriz DOFA, donde se analizaron minuciosamente las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de las zonas de estudio.

Cabe mencionar que se realiza una sola matriz DOFA como se observa en la Tabla 41 para los municipios de Tabio y Tenjo (Cundinamarca), debido a la similitud que presentan estos municipios por sus actividades económicas y la influencia poblacional.

Tabla 42. Matriz DOFA para la sub – cuenca de río Chicú en los municipios de Tabio y Tenjo

MATRIZ DOFA SUB – CUENCA DEL RÍO CHICÚ (MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO)	
DEBILIDADES	
D 1	Poca información acerca de la calidad del agua, suelo y sedimento.
D 2	Los estudios fisicoquímicos efectuados de la sub – cuenca no se realizan con frecuencia.
D 3	Baja eficiencia de remoción de las cargas contaminantes en las PTAR´s de Tabio y Tenjo.
D 4	La autoridad ambiental no hace presencia constante en las actividades económicas generadores de impactos ambientales.
D 5	En el sector agrícola no hay innovación en cuanto al uso de agroquímicos orgánicos.
D 6	La comunidad en general no tiene la suficiente información acerca de la conservación del recurso hídrico.
D 7	Baja participación activa de la comunidad frente al reciclaje.
D 8	Elevadas concentraciones de zinc en sedimentos y en menor medida en suelos.
D 9	Algunas características físicas y químicas de los suelos y sedimentos favorecen la adsorción de metales pesados.
D 10	Colombia no cuenta con una normatividad legal vigente para determinar la calidad del suelo y sedimento.

D 11	Las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATAS) no cuentan con personal capacitado frente a temas ambientales.
OPORTUNIDADES	
O 1	Incentivar en las industrias de los municipios a realizar el sistema de gestión ambiental.
O 2	Realizar estudios periódicos acerca de los parámetros fisicoquímicos del agua.
O 3	Mayor presencia de la autoridad ambiental competente en las zonas críticas.
O 4	Realizar jornadas de limpieza en la ronda de la sub – cuenca.
O 5	Fomentar en la comunidad la preservación del recurso hídrico, mediante charlas educativas.
O 6	Disminuir las concentraciones de Cromo y Zinc mediante la aplicación de medidas de producción más limpia tanto en los cultivos como en las industrias.
O 7	Realizar estudios periódicos de agua, suelo y sedimento mediante la aplicación de convenios con universidades y entidades públicas.
O 8	Optimizar el tratamiento de las plantas de tratamiento agua residual doméstica.
FORTALEZAS	
F 1	Las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATA) están interesadas en realizar estudios de metales pesados de la sub – cuenca.
F 2	Cumplimiento en las concentraciones de Cromo y Zinc en el recurso agua.

F 3	Los municipios cuentan con plantas de tratamiento de agua residual doméstica.
F 4	La CAR – Cundinamarca cuenta con un estudio hidrogeológico de la sub – cuenca.
F 5	El gobierno tiene la disponibilidad para mejorar las condiciones ambientales en la zona de la sabana de Bogotá.
F 6	El ministerio de ambiente al igual que la corporación autónoma regional, posee normatividad legal vigente para determinar la calidad ambiental del agua.
F 7	La población rural y urbana tiene la disposición para proyectos de educación ambiental.
F 8	Las industrias de floricultura están interesadas en desarrollar programas de prevención frente a la utilización de agroquímicos que contienen metales pesados.
AMENAZAS	
A 1	Presencia de actividades económicas cerca a la sub – cuenca del Rio Chicú.
A 2	No hay un inventario de vertimientos de la sub-cuenca.
A 3	Incumplimiento a la distancia de la ronda de la sub – cuenca, pudiendo provocar inundaciones en la zona.
A 4	Presencia de residuos sólidos en la sub – cuenca.
A 5	Elevadas concentraciones de Zinc en el sedimento.
A 6	Problemas de salud animal debido a las concentraciones de metales (Cromo y Zinc) por alteraciones fisicoquímicas de los medios

A 7	Problemas a la salud humana por el consumo de agua contaminada por Cromo y Zinc.
A 8	Crecimiento de las concentraciones de metales pesados en el cauce del río Chicú.

Fuente: Los Autores. 2011

9. ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Dando cumplimiento al objetivo propuesto por este trabajo de investigación, a continuación se plantearon programas con sus respectivos proyectos, objetivos y metas, los cuales permitirán prevenir y mitigar los impactos ambientales determinados por las matrices de Leopold y DOFA. Por lo anterior, se tuvieron en cuenta las listas de verificación (ANEXO 1).

Para el desarrollo de los programas se tuvieron en cuenta las actividades económicas evaluadas en la matriz DOFA, y la influencia poblacional de los municipios de Tabio y Tenjo, con el fin de dar cumplimiento a las metas establecidas por programa.

A continuación se encuentran las alternativas de prevención y mitigación:

PROGRAMA	PROYECTO	DESCRIPCIÓN	OBJETIVOS	ENTIDADES INVOLUCRADAS	METAS
EDUCACIÓN AMBIENTAL	Jornadas de capacitación	Dar a conocer a la comunidad mediante charlas educativas temas ambientales enfocados a la protección y conservación de los recursos hídricos.	Desarrollar campañas de sensibilización acerca de la contaminación hídrica.	Alcaldía municipal, UMATA's, CAR e instituciones educativas.	Aumento de conocimiento en la comunidad acerca de problemáticas ambientales.
	Buenas prácticas en el manejo de residuos	Fomentar a la comunidad medidas de reducción, reciclaje y reutilización en áreas urbanas y zonas industriales.	Diseñar programas de gestión de residuos sólidos enfocados a la contaminación de estos en el recurso agua. Diseñar comparendos ambientales enfocados a la contaminación de las cuencas hidrográficas por residuos.	Alcaldía municipal y UMATA's	Reducción de contaminación a cuerpos hídricos por residuos sólidos.
	Incorporación de educación ambiental en instituciones educativas	Promover campañas educativas enfocadas en la conservación del recurso hídrico.	Realizar talleres pedagógicos enfocados a la conservación del recurso hídrico.	Alcaldía municipal, UMATA's e instituciones educativas.	Incentivar la importancia de la educación ambiental en las instituciones educativas.

MEJORAMIENTO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LOS MUNICIPIOS	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos y concentración de metales.	Respuesta inmediata de la autoridad ambiental en la monitorización de las plantas, con la finalidad de hacer cumplir la normatividad legal vigente.	Realizar monitoreos frecuentes a la entrada y salida de las PTAR's.	Corporación autónoma regional de Cundinamarca	Cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad legal vigente.
	Optimización de la eficiencia de remoción	Rediseñar las plantas de tratamiento debido a que el caudal de diseño no cumple con los requerimientos de la planta.	Optimizar el sistema de tratamiento a través de nuevas tecnologías. Aplicar técnicas de producción más limpia con el fin de disminuir la contaminación en la sub-cuenca.	Corporación autónoma regional de Cundinamarca	Tener una eficiencia igual o mayor de remoción del 80% en carga.
	Eficiencia y prontitud en las reparaciones del sistema	Respuesta inmediata de la autoridad ambiental frente a imprevistos en las PTAR's	Generar eficacia en el servicio técnico de la autoridad ambiental. Capacitar por parte de la autoridad ambiental al operario encargado de las PTAR's.	Corporación autónoma regional de Cundinamarca	Disminuir problemas operacionales en las PTAR's.
	Incentivar en	Proponer	la	Capacitar a los	Disminución de

<p>OPTIMIZACIÓN EN LA CALIDAD DE AGUA, SUELO Y SEDIMENTO PARA ACTIVIDADES AGRÍCOLAS Y DE FLORICULTURA</p>	<p>los agricultores el uso de fertilizantes orgánicos.</p>	<p>utilización de productos orgánicos con el fin de disminuir la contaminación de metales pesados y alteraciones fisicoquímicas en agua, suelo y sedimento.</p>	<p>propietarios de los cultivos sobre nuevos productos, los cuales sean de origen orgánicos.</p>	<p>Alcaldía municipal, UMATA's y entidades externas.</p>	<p>la concentración de los metales en agua, suelo y sedimento.</p>
	<p>Control de monitoreos en los vertimientos y puntos de captación.</p>	<p>Controlar los parámetros fisicoquímicos y de metales pesados por parte de los propietarios de los cultivos.</p>	<p>Realizar inventarios de vertimientos y captación de la sub-cuenca.</p>	<p>Alcaldía municipal, UMATA's y CAR.</p>	<p>Cumplimiento de la normatividad legal vigente.</p>
	<p>Aplicación de programas de producción más limpia.</p>	<p>Fomentar prácticas de producción más limpia, con el fin de ser sostenibles frente a los impactos ambientales.</p>	<p>Aplicar herramientas de producción más limpia, para mejorar las condiciones ambientales de la zona.</p>	<p>Alcaldía municipal e instituciones externas.</p>	<p>Aplicación de tecnologías sostenibles con el ambiente y la producción.</p>
	<p>Monitoreo de contaminación por metales pesados en suelo y sedimento.</p>	<p>Garantizar la calidad ambiental del agua, suelo y sedimento por los vertimientos generados en los cultivos.</p>	<p>Realizar monitoreos frecuentes por parte de la autoridad ambiental.</p>	<p>Alcaldía municipal, UMATA's y CAR.</p>	<p>Reducción de contaminación por contaminación de metales pesados.</p>

10. CONCLUSIONES

- Se determinaron las concentraciones de Cromo y Zinc en agua, suelo y sedimento en los puntos de muestreo representativos para la Sub – cuenca del rio Chicú, establecidos por la CAR Cundinamarca. La calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo presentó modificaciones según el entorno de cada punto, a pesar de que no se encontraron altas concentraciones de metales pesados (Cromo y Zinc) en la mayoría de puntos, sí se observó que va en aumento, debido a que en dos puntos (2 y 4) superan los límites permisibles.
- Los parámetros de DQO y DBO aumentaron a lo largo del cauce, debido a que las actividades económicas que influyen en la sub cuenca generan vertimientos que alteran las condiciones fisicoquímicas del agua, pudiendo así en un lapso de tiempo aumentar las concentraciones de metales pesados en este medio. Se observa que a pesar de que los municipios cuentan con plantas de tratamiento de agua residual doméstica, se identificó que no cumple con la remoción que deberían tener, generando un alto impacto ambiental al momento de la descarga de estas PTAR´s evidenciándose esto en los puntos 3 y 5.
- En la calidad del suelo, se identificó que los parámetros fisicoquímicos determinan la disponibilidad y acumulación de los metales en la sub cuenca, esto, es comprobado con parámetros como la materia orgánica los cuales aumentan al igual que los metales a lo largo del cauce. Así mismo, se evidencio que en los puntos 2 y 5 se presentan

actividades económicas como son hortalizas y pequeñas industrias, que generan un aumento de las concentraciones de Cromo total en relación a los otros puntos; también se observa que las concentraciones de Zinc en relación al Cromo aumentan significativamente, evidenciando bioacumulación en este medio, debido a que la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico ayudan al almacenamiento de este metal.

- En los sedimentos se observan las mayores concentraciones de metales pesados con relación al agua y al suelo, ya que es allí donde se disponen y bioacumulan. Además, se identifica que estas concentraciones se determinaron por el aumento de la materia orgánica y la disminución del porcentaje de humedad.

Por último, se observa que a pesar que en el agua se identifican altas concentraciones de Cromo y Zinc, este recurso no puede ser indicador para evaluar las concentraciones de metales, debido, a que en el suelo y sedimento es donde se presentan la disposición y bioacumulación de estos.

- Se realizaron las comparaciones con las normatividades legales vigentes para agua, suelo y sedimento, con el fin, de identificar la representatividad o significancia de las concentraciones de los metales y los parámetros fisicoquímicos. Con lo anterior, en la calidad del agua, se encontró un incumplimiento para uso agrícola en cuanto a la concentración de Cromo, además de alteraciones de DBO con la Acuerdo 043 establecido por la CAR, demostrando que a través del tiempo las concentraciones van en aumento al igual que las alteraciones fisicoquímicas. Del mismo modo, se actualizaron los datos de la sub – cuenca del rio Chicú en relación con el estudio efectuado

por la CAR, identificando alteraciones en los parámetros de DQO y DBO en el transcurso de 5 años.

- En la calidad del suelo, se identificó que a pesar de los esfuerzos realizados por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial por instaurar normas para establecer valores límites permisibles, es claro que sólo se enfoca en medios como el agua y el aire, pero es evidente y se hace necesario que establezcan valores máximos permisibles para el suelo, sobretodo en cuanto a metales pesados se refiere. Lo anterior, es demostrado con la concentración de los metales y la comparación con la norma canadiense y española, donde se identifican concentraciones que sobrepasan los límites permisibles. Al igual, que el suelo no se tienen establecidos unos estándares máximos permisibles de concentraciones de metales, por tal motivo, se optó por los valores establecidos por la norma de Canadá observando incumplimiento en las concentraciones de Zinc, causados por las actividades económicas aledañas al cauce.
- Se evaluaron los impactos ambientales asociados a las concentraciones de Cromo y Zinc a través de herramientas cuantitativas y cualitativas; en La matriz de Leopold se identificó que el componente de mayor impacto ambiental está determinado en el suelo, debido a que en la zona de estudio, la mayor importancia está concentrada en los cultivos de la región. A pesar de que los sedimentos no manejan una importancia significativa en cuanto a las actividades económicas que se presentan en los municipios, se identificó una magnitud significativa, produciendo un impacto ambiental relevante; del mismo modo, se logró identificar que la actividad

económica que genera una mayor magnitud de impacto es la floricultura seguido del cultivo de hortalizas, ya que allí se presentan las mayores cargas contaminantes que vierten a la sub – cuenca del río Chicú, por agroquímicos y pesticidas. Así mismo, se desarrolló la matriz DOFA, en la cual se identificaron las causas y probables efectos generados por los impactos ambientales evaluados por la matriz de Leopold.

11. RECOMENDACIONES

- Se deben realizar estudios continuos fisicoquímicos a las sub – cuencas que alimentan al río Bogotá, ya que es allí donde se presentan las cargas contaminantes que se acumulan en este cauce por las actividades antropogénicas generadas en las zonas de estudio.
- La Corporación autónoma regional debería realizar estudios permanentes en los cultivos de las zonas aledañas a la sub – cuenca, ya que éstos tienen puntos de captación en diferentes zonas, pudiendo así generar alteraciones y posible contaminación en los cultivos de hortalizas, afectando y poniendo en riesgo la salud humana.
- Las alcaldías municipales deberían realizar programas de educación ambiental enfocados a la conservación del recurso hídrico, debido a que la influencia poblacional altera las condiciones fisicoquímicas de las sub – cuencas.
- Con el proyecto se demostró que a pesar de que en el agua no se presentaban altas concentraciones de metales, si se observan altas concentraciones en sedimento y suelo, por tal motivo la corporación autónoma regional en sus estudios de las sub – cuencas debería tener en cuenta estos medios en sus mediciones, ya que allí es donde se disponen y se acumulan los metales pesados.

- El ministerio de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial debería, formular valores máximos permisibles tanto para las condiciones fisicoquímicas del suelo y sedimento como para las concentraciones de metales pesados.
- Los cultivos deben utilizar herramientas de producción más limpia como estrategia para minimizar el uso de agroquímicos y pesticidas, ya que éste es un factor que aumenta la concentración de metales pesados en medios como agua, suelo y sedimento.
- Las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (UMATA), deberían contar con personal capacitado referente a temas ambientales, para así llevar un mejor control de la contaminación en los municipios.

12. BIBLIOGRAFIA

- ALBA L. y GIRALDO E. Modelación matemática de metales pesados en sedimentos de la cuenca media y baja del río Bogotá. Universidad de los Andes. No. 198. 1995.
- COLOMBO L.D., Mangione S.B. & Figlioglia A. Soil profile distribution of heavy metals in soil affected by the Guadamar toxic flood. Sci. Total Environ. 1998. 2242: 117 – 129.
- ECOLOGÍA DEL PERÚ. Enciclopedia: “Ecología del Perú”. Materia Orgánica. [en línea]. <<http://www.peruecologico.com.pe/libro.htm>>. [Citado en 16 de Junio de 2011]
- FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, URUGUAY. Capacidad de intercambio catiónico. [en línea] <http://www.exactas.unlpam.edu.ar/academica/catedras/edafologia/practicos/cap%20de%20int%20cat.htm>. [Citado en 19 de Junio de 2011]
- FACULTAD DE CIENCIAS. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, URUGUAY. Textura del suelo. Pág. 14. [en línea]. <<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>>. [Citado en 15 de Junio de 2011]
- GUTIÉRREZ, Gina. Metales pesados en sedimentos del lago de Tota. Tesis de Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Bogotá D.C.

Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. 2005. p. 12

- HENAO, José Eugenio. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá, 1998.
- JULCA – OTINIANO, Alberto. La Materia Orgánica, Importancia y Experiencia de su uso en la agricultura. En: Scielo Chile: Abril de 2006. Vól. 24, número 1. ISSN 0718-3429.
- LONDOÑO, Astrid Natalia y PIMIENTA, Johanna Patricia. Estudio hidrogeológico cuantitativo referente al cobro de la tasa por uso en la cuenca del Rio Chicú. Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental. 2002.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Cartilla de Educación en materia ambiental de la cuenca del río Tunjuelo. Bogotá, 2003.
- MORENO GRAU, María Dolores. Toxicología Ambiental: Evaluación del riesgo para la salud humana. Madrid: McGraw-Hill, 2003. p 206-214.
- MORENO, Yamile Andrea y MURILLO, Yeimmy Johanna. Perfil ambiental de la subcuenca del río Chicú de la cuenca media del río Bogotá. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental. 2010.

- PINZÓN L., RODRÍGUEZ J. y GIRALDO E. Interacción de los metales pesados Cr, Cd, Pb, Ni entre el sedimento y la columna de agua en el caso del río Bogotá. Universidad de los Andes. No. 222. 1995.
- RACO. Matriz Leopold: Verd Joseph. Recursos para las CTMA: La matriz de Leopold, un instrumento para analizar noticias de prensa de temática ambiental. [en línea]. <http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/88684/132833>. [Citado en 18 de Junio de 2011]
- RODRÍGUEZ, Diana Carolina y CAHO Carlos Andrés. Prueba piloto para fitorremediación de Cromo y Plomo, en suelo de la subcuenca rio alto Bogotá (municipio - Chocontá)". Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2010.
- ROMERO, Sindy Viviana y GUEVARA, Luisa Fernanda. Evaluación de los impactos ambientales ocasionados por la contaminación de Cadmio y Plomo en suelo, agua y sedimento de los municipios Tabio y Tenjo pertenecientes a la sub cuenca del rio Chicú". Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2011.
- TORRALBA, Tifany Lorena y TARAZONA, Sindy Lorena. Identificación y propuesta de modelación de la adsorción de los metales pesados Cromo y Cadmio en sedimentos de la cuenca alta del río Bogotá municipio de Chocontá. Universidad de la Salle. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2010.

- UNIVERSIDAD DISTRITAL. Conductividad eléctrica. [en línea] http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/capitulos_fluoreciencia/calaguas_cap8.pdf. [Citado en 20 de Junio de 2011]
- WATER TREATMENT SOLUTIONS. Metales Pesados Zinc. [en línea]. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm>. [Citado en 18 de Junio de 2011]
- WATER TREATMENT SOLUTIONS. Metales pesados Cromo: [en línea]. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>. [Citado en 18 de Junio de 2011]
- WATER TREATMENT SOLUTIONS. Medidas de calidad de agua. [en línea] <http://www.lenntech.es/ph-y-alcalinidad.htm#ixzz0qxTUgFNS>. [Citado en 20 de Junio de 2011].

ANEXOS

ANEXO 1

Listas de verificación de los municipios de Tabio y Tenjo

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR CROMO Y ZINC EN LA SUB – CUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIO DE TABIO (CUNDINAMARCA)				
CALIDAD DEL AGUA				
N°	CRITERIO A EVALUAR	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	Presencia de actividades económicas ubicadas cerca a la sub-cuenca del Río Chicú.	X		Algunas del sector agrícola (Hortalizas), floricultor e industrias madereras.
2	Las actividades económicas aledañas a la sub-cuenca se alimentan de su cauce.	X		Cumplen la tasa por uso autorizado por la CAR – Cundinamarca.
3	Se observan vertimientos a la sub-cuenca.	X		Cumplen la tasa por descarga autorizado por la CAR – Cundinamarca.
4	Cuentan con un sistema de gestión ambiental.		X	Nunca han realizado este tipo de estudios y se evidencia falta de conocimiento del tema.
5	Cuentan con estudios fisicoquímicos de la sub-cuenca del Río Chicú.	X		Realizados por la la CAR en el año 2006, aunque no se tiene a nivel local (UMATA).
6	Se han realizado		X	En el EOT está

	estudios sobre presencia de metales pesados en el recurso agua.			contemplado realizar un estudio sobre la presencia de Cr, Zn, Cd, Pb en la sub – cuenca a futuro.
7	Presencia de residuos sólidos en la Sub – cuenca.	X		Se encontraron SHUT de basuras y escombros aledaños a la ribera de la sub-cuenca.
8	La PTAR cumple con los niveles máximos permisibles de vertimientos.		X	Debido a que no cumplen con la eficiencia requerida para la remoción de carga contaminante.
9	Se tiene en cuenta la protección de la ronda de la Sub - cuenca.		X	Se evidencio cultivos aledaños a la rivera de la sub-cuenca sin respetar la distancia de protección.
10	La comunidad tiene conocimiento de la protección de la sub – cuenca.		X	Se observo que no se han aplicado campañas de educación ambiental.

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR CROMO Y ZINC EN LA SUB – CUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIO DE TABIO (CUNDINAMARCA)				
CALIDAD DEL SUELO Y SEDIMENTO				
N°	CRITERIO A EVALUAR	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	Las actividades económicas en Tabio se encuentran dentro del EOT.		X	Algunas del sector agrícola se encuentran en zonas de protección.
2	El sector floricultor utiliza Fertilizantes inorgánicos dentro de su actividad.	X		Aunque no se encontró evidencia de envases de fertilizantes.
3	El sector agrícola utiliza fertilizantes inorgánicos dentro de su actividad.	X		
4	En el sector floricultor y agrícola emplean plaguicidas con composición de metales pesados.	X		
5	Cuentan con estudios fisicoquímicos del suelo y sedimento.		X	
6	Se han realizado estudios sobre presencia de metales		X	

EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO POR CROMO Y ZINC, EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO – CUNDINAMARCA (SUB - CUENCA DEL RIO CHICÚ)

2011

	pesados en el suelo y sedimento.			
7	Han realizado estudios de impacto ambiental en el suelo y sedimento.		X	
8	Emplean producción más limpia dentro de su actividad.	X		Algunos abonos empleados son naturales.
9	Tienen programas de reciclaje.		X	

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR CROMO Y ZINC EN LA SUB – CUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIO DE TENJO (CUNDINAMARCA)				
CALIDAD DEL AGUA				
N°	CRITERIO A EVALUAR	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	Presencia de actividades económicas ubicadas cerca a la sub-cuenca del Río Chicú.	X		Algunas del sector agrícola y floricultor.
2	Las actividades económicas aledañas a la sub-cuenca se alimentan de su cauce.	X		Cumplen la tasa por uso autorizado por la CAR – Cundinamarca.
3	Se observan vertimientos a la sub-cuenca.	X		Cumplen la tasa por vertimiento autorizado por la CAR – Cundinamarca.
4	Cuentan con un sistema de gestión ambiental.		X	Nunca han realizado este tipo de estudios.
5	Cuentan con estudios fisicoquímicos de la sub-cuenca del Río Chicú.	X		Realizados por la CAR, aunque no realizados localmente por la UMATA.

EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO POR CROMO Y ZINC, EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO – CUNDINAMARCA (SUB - CUENCA DEL RIO CHICÚ)

2011

6	Se han realizado estudios sobre presencia de metales pesados en el recurso agua.		X	
7	Presencia de residuos sólidos en la Sub - cuenca.	X		Bolsas de basura y llantas.
8	La PTAR cumple con los niveles máximos permisibles de vertimientos.		X	Debido a que no cumplen con la eficiencia requerida para la remoción de carga contaminante.
9	Se tiene en cuenta la protección de la ronda de la Sub - cuenca.		X	Cultivos aledaños a la ribera de la sub-cuenca.
10	La comunidad tiene conocimiento de la protección de la sub - cuenca.	X		En algunas Instituciones educativas capacitan sobre la protección de la sub-cuenca en el área de Ciencias.

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES POR CROMO Y ZINC EN LA SUB – CUENCA DEL RÍO CHICÚ, MUNICIPIO DE TENJO (CUNDINAMARCA)				
CALIDAD DEL SUELO Y SEDIMENTO				
N°	CRITERIO A EVALUAR	CUMPLE		OBSERVACIONES
		SI	NO	
1	Las actividades económicas en Tenjo se encuentran dentro del EOT.	X		
2	El sector floricultor utiliza Fertilizantes inorgánicos dentro de su actividad.	X		
3	El sector agrícola utiliza fertilizantes inorgánicos dentro de su actividad.	X		
4	En el sector floricultor y agrícola emplean plaguicidas con composición de metales pesados.	X		
5	Cuentan con estudios fisicoquímicos del suelo y sedimento.	X		En algunos casos los propietarios los realizan.
6	Se han realizado estudios sobre presencia de metales		X	

EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO POR CROMO Y ZINC, EN LOS MUNICIPIOS DE TABIO Y TENJO – CUNDINAMARCA (SUB - CUENCA DEL RIO CHICÚ)

2011

	pesados en el suelo y sedimento.			
7	Han realizado estudios de impacto ambiental en el suelo y sedimento.		X	
8	Emplean producción más limpia dentro de su actividad.	X		Algunos abonos utilizados son naturales.
9	Tienen programas de reciclaje.		X	

ANEXO 2

Matrices de Leopold para los municipios de Tabio y Tenjo

ANEXO 3

Registro Fotográfico



Análisis: Sólidos sedimentables, pH, conductividad, sólidos disueltos (multiparámetro)
Fuente: Los Autores.



Análisis: Textura in – situ
Fuente: Los Autores.



Análisis: D.Q.O
Fuente: Los Autores.



Análisis: D.B.O
Fuente: Los Autores.



Análisis: % humedad gravimétrico
Fuente: Los Autores.



Análisis: Conductividad eléctrica del extracto de saturación
Fuente: Los Autores.



Análisis: Materia Orgánica
Fuente: Los Autores.



Análisis: Densidad real
Fuente: Los Autores



Análisis: Densidad aparente
Fuente: Los Autores



Análisis: Capacidad de intercambio catiónico.
Fuente: Los Autores.



Análisis: Salinidad
Fuente: Los Autores.



Análisis: Metales Cr y Zn.
Fuente: Los Autores.

ANEXO 4

Canadian soil and sediment quality guidelines for the Protection of the Environmental And Human Health