



Universidad de San Carlos de
Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química



Universidad de Ciencias Aplicadas y
Ambientales
Facultad de Ciencias Ambientales

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL,
BOGOTÁ, COLOMBIA Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE**

Kelinton Ottoniel Sic Cajbón

Asesorado por el Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque,

Ing. Luis Eduardo Beltrán García y

Dra. Ángela María Jaramillo Londoño

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y
AMBIENTALES



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL,
BOGOTÁ, COLOMBIA Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

KELINTON OTTONIEL SIC CAJBÓN

ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE,
ING. LUIS EDUARDO BELTRÁN GARCÍA Y
DRA. ÁNGELA MARÍA JARAMILLO LONDOÑO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Daunno Walther Chew Dávila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL,
BOGOTÁ, COLOMBIA Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha abril de 2014.



Kelinton Ottoniel Sic Cajbón



Bogotá D.C., agosto 26 de 2014.

Ingeniero Químico

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director de Escuela

Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ciudad

Respetado Ing. Monzón:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el informe final del Trabajo de Investigación como opción de grado, titulado **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA, Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE"**, a cargo del estudiante de Ingeniería Ambiental Kelinton Ottoniel Sic Cajbón, identificado con número de carné 200819146 realizado entre el período comprendido de marzo a agosto de 2014.

Atentamente,

Luis Eduardo Beltrán García

Ingeniero en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

Docente



Bogotá D.C., agosto 27 de 2014.

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala

Respetado Ing. Monzón.

Por este medio me dirijo a usted para informarle que fue aprobado el informe final del Trabajo de Investigación como opción de grado, titulado **“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA, Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE”**, a cargo del estudiante de Ingeniería Ambiental Kelinton Ottoniel Sic Cajbón, identificado con número de carné 200819146 realizado entre el período comprendido de marzo a agosto de 2014.

Atentamente,



Marco Tulio Espinosa López

Decano Facultad de Ciencias Ambientales

Guatemala, Guatemala, 01 de septiembre de 2014.

Ingeniero Químico

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director de Escuela

Escuela de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

Ciudad

Estimado Ing. Monzón:

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he asesorado y aprobado el informe final del Trabajo de Graduación, titulado **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL DE GUAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA, Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE"** elaborado por el estudiante de Ingeniería Ambiental Kelinton Ottoniel Sic Cajbón, quien se identifica con número de carné 200819146.

Sin otro particular y deseándole éxitos en sus actividades diarias, me suscribo, atentamente,

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Ingeniero Agrónomo

Catedrático USAC

Colegiado Activo No. 2504



Guatemala, 17 de septiembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.039.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **057-2012** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Intercambio Académico y Movilidad Estudiantil-

Solicitado por el estudiante universitario: **Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**.
Identificado con número de carné: **2008-19146**.
Previo a optar al título de **INGENIERO AMBIENTAL**.

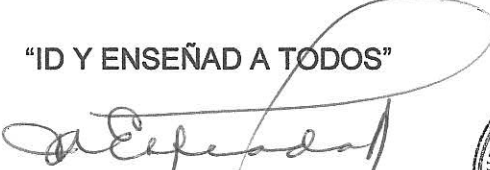
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA, Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por: el Ingeniero Agrónomo **Juan Carlos Fuentes Montepeque** e Ingeniero en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental **Luis Eduardo Beltrán García**.

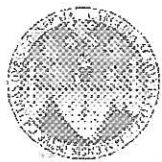
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.185.2014

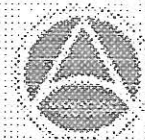
El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la **-Modalidad Intercambio Académico y Movilidad Estudiantil-** del estudiante, **KELINTON OTTONIEL SIC CAJBÓN** titulado: **"CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA, Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2014

Cc: Archivo
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL HUMEDAL GAYMARAL, BOGOTÁ, COLOMBIA Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO SOSTENIBLE**, presentado por el estudiante universitario **Kelinton Ottoniel Sic Cajbón**, como parte de la política de Internacionalización y el Programa de Intercambio de Movilidad Académica de la Facultad de Ingeniería, con la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales de Bogotá Colombia, por tanto autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Parra Acinos
Decano



Guatemala, 24 septiembre de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una influencia significativa en mi vida y mi fortaleza en todo momento.
Mis padres	Patrocinia Cajbón Ismalej y Sebastián Sic Ixpancoc, por ser un ejemplo de superación y ser mi inspiración para lograr todas las metas que me he propuesto, así como, por su gran apoyo, amor y enseñanzas de vida.
Mis hermanos y hermanas	Mirza Verónica, Derlin Octavio, Erick Orlando y Yamelin Diana Sic Cajbón, por todo su cariño y apoyo en todos los aspectos de mi vida.
Mis abuelas	Nicolasa Ismalej (q.e.p.d.) y Victoria Ixpancoc (q.e.p.d.), por ser ejemplos de perseverancia, superación, optimismo y ser parte fundamental para mi vida.
Mis sobrinos	Patricia, Francisco, Otoniel, Mario, Mariela, Sebastián, David, Daniel, Boris, Yohana, Douglas y Andrés por ser un motor de alegría en nuestra familia.
Mis familiares	Tíos, tías, primos, primas y todos los familiares que ejercieron influencias positivas en mi vida.

Mis amigos

Cristian Rosales, Walfred Ordoñez, Kelly Cortez, Estela Gonzales, Claudia Ramírez, Leonardo Márquez, Wilson Bailón, Ana Santizo y más por todas las experiencias compartidas a lo largo de mi vida y su apoyo incondicional en todo momento.

**Mis hermanos
de intercambio**

Tony Damaceno, Cielo Gómez, Leonardo Madruga, Luis Manenti, Joanna Munhoz, Yael Hernández, Alexandra Jarro, Odalys Jarro, Nadine Langeslag y muchos más por compartir conmigo una gran experiencia de intercambio y brindarme su amistad sincera en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Patrocinia Cajbón Ismalej y Sebastian Sic Ixpancoc, por ser ejemplos de superación, perseverancia y por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por formarme académicamente y ser mi segundo hogar al darme todas las herramientas necesarias para tener un desarrollo profesional.

Escuela de Ingeniería Química

Por abrir sus puertas y recibirme para formarme académicamente en la carrera que elegí, especial agradecimiento a Ing. Víctor Monzón.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales de Colombia

Por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación en sus instalaciones y por permitirme vivir esta experiencia de intercambio en un país desconocido.

Oficina de Orientación Estudiantil de la Facultad de Ingeniería

Licda. Sandra Velásquez, por su apoyo en esta etapa de mi vida y por su confianza al gestionar la oportunidad de hacer mi trabajo de grado en el extranjero.

Todos mis catedráticos	Por darme sus enseñanzas sin egoísmo y brindarme su amistad y apoyo en el transcurso de mi vida universitaria.
Centros de formación	Instituto Normal Mixto del Norte “Emilio Rosales Ponce”, Instituto Nacional de Educación Básica (INEB) central, Escuela Oficial para Varones No. 2 “Salvador de Oliva”, por formarme académicamente.
Familia Ordoñez Padilla	Por todo el apoyo incondicional que me proporcionaron en momentos difíciles, don William Ordoñez, doña Betzy Padilla, Mario, William, Gerson y Samuel Ordoñez: ¡MIL GRACIAS por todo!
Familia Montenegro Morales	Por todo su apoyo y amistad que me han brindado desde que nos conocemos, Don Leonel Montenegro, Doña Patricia Morales y Cindy Montenegro, ¡MIL GRACIAS por todo!
Asesores	Ing. Luis Beltrán, Ing. Juan Montepeque, Dra. Ángela Jaramillo, por su guía y confianza en la elaboración de este trabajo de graduación.
Estudiantes de Ciencias Ambientales de UDCA	Por su ayuda incondicional en la elaboración de este proyecto.
Amigos de intercambio	Por toda la amistad proporcionada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Humedal.....	5
2.1.1. Tipos de humedales	6
2.1.2. Importancia de los humedales	7
2.2. Humedales en Bogotá, Colombia.....	8
2.2.1. Descripción de humedales de Bogotá, Colombia.....	8
2.3. Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia.....	9
2.3.1. Ubicación	10
2.3.2. Reseña histórica	10
2.3.3. Clima	10

2.3.4.	Flora	11
2.3.5.	Fauna	11
2.3.6.	Caracterización biofísica del Humedal Guaymaral.....	13
2.3.7.	Estudios previos	19
2.4.	Calidad del agua.....	20
2.4.1.	Olor y sabor.....	22
2.4.2.	Color.....	23
2.4.3.	Turbidez	24
2.4.4.	Sólidos.....	24
2.4.5.	pH.....	25
2.4.6.	Conductividad eléctrica	26
2.4.7.	Dureza total	26
2.4.8.	Cloruros.....	27
2.4.9.	Sulfatos	27
2.4.10.	Nitratos	28
2.4.11.	Nitritos	28
2.4.12.	Oxígeno disuelto	28
2.4.13.	Fosfatos.....	29
2.5.	Índices de calidad del agua (ICA)	29
2.6.	Gestión ambiental.....	31
3.	METODOLOGÍA.....	35
3.1.	Variables.....	35

3.1.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES	35
3.1.2.	VARIABLES DEPENDIENTES	35
3.2.	DELIMITACIÓN DEL CAMPO DE ESTUDIO.....	36
3.2.1.	PUNTOS DE MUESTREO EN EL HUMEDAL	38
3.3.	RECURSOS HUMANOS DISPONIBLES	40
3.4.	RECURSOS MATERIALES DISPONIBLES.....	41
3.5.	TÉCNICA CUALITATIVA.....	41
3.5.1.	MUESTREO.....	42
3.5.2.	DISEÑO GENERAL.....	43
3.6.	RECOLECCIÓN Y ORDENAMIENTO DE INFORMACIÓN	44
3.7.	TABULACIÓN, ORDENAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	44
4.	RESULTADOS ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA	45
4.1.	COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y PARÁMETRO BACTERIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL HUMEDAL GUAYMARAL	45
4.1.1.	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA PROVENIENTE DEL HUMEDAL GUAYMARAL	45
4.1.2.	RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL.....	51
4.1.3.	RESULTADO ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA DEL HUMEDAL GUAYMARAL.....	60

4.2.	Índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS para las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia, en cinco puntos distribuidos en la entrada y salida del mismo.....	62
5.	DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA DEL TRABAJO EN CAMPO.....	65
5.1.	Recorridos Humedal Guaymaral.....	65
5.2.	Perturbaciones detectadas	70
6.	CARACTERIZACIÓN DE PERTURBACIONES EN EL HUMEDAL GUAYMARAL	87
6.1.	Caracterización.....	87
6.1.1.	Punto 1. restaurante Margarita.....	88
6.1.2.	Punto 2. Autopista Norte calle 222 – Canal Torca	89
6.1.3.	Punto 3. unión punto uno y dos.....	89
6.1.4.	Punto 4. orilla autopista norte.....	90
6.1.5.	Punto 5. centro comercial BIMA	90
6.1.6.	Variación de las tendencias.....	91
7.	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL	93
7.1.	Alternativas de manejo sostenible para las condiciones actuales de las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia.....	93
7.1.1.	Recuperación, compensación y protección	95
7.1.2.	Educación, comunicación y participación	96

7.1.3.	Manejo y uso sostenible	96
7.1.4.	Investigación participativa y aplicada.....	97
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES.....		101
BIBLIOGRAFÍA.....		103
ANEXO		107
APÉNDICE.....		121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Humedales Guaymaral – Torca, Colombia	12
2.	Límites Humedal Guaymaral – Torca	14
3.	Hidrografía Humedal Guaymaral – Torca	15
4.	Cobertura vegetal Humedal Guaymaral – Torca.....	16
5.	Zonificación de suelos Humedal Guaymaral.....	17
6.	Categorías de suelos Humedal Guaymaral	18
7.	Aspectos del índice de calidad del agua	29
8.	Enfoque gestión ambiental.....	32
9.	Puntos de muestreo en Humedal Guaymaral	39
10.	Recolección de muestras.....	42
11.	Diseño general de investigación	43
12.	Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros físicos	47
13.	Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros químicos (I)	53
14.	Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros químicos (II)	54
15.	Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetro bacteriológico.....	61
16.	Puntos de muestreo en Humedal Guaymaral (ICA).....	63
17.	Procedimiento para recorridos Humedal Guaymaral	66
18.	Predios privados dentro del Humedal Guaymaral.....	68
19.	Recorrido Humedal Guaymaral.....	69
20.	Ubicación de perturbaciones detectadas	72

21.	Ubicación ganadería detectada	75
22.	Ubicación vertimientos detectados	76
23.	Continuación ubicación vertimientos	77
24.	Ubicación acumulación de desechos sólidos	78
25.	Ubicación perturbaciones varias.....	79
26.	Unión de agua residual con agua cerros orientales.....	80
27.	Fuentes puntuales de contaminación (vertimientos)	81
28.	Acumulación de desechos sólidos.....	82
29.	Ganadería detectada en límites del humedal	83
30.	Proliferación de retamo liso y espinoso	83
31.	Proliferación de Buchon de agua en varios sitios del humedal.....	84

TABLAS

I.	Clasificación de humedales	6
II.	Características de los humedales.....	7
III.	Humedales de Bogotá, Colombia	9
IV.	Valores de variables fisicoquímicas de los humedales Torca y Guaymaral, julio de 2006.....	19
V.	Análisis de muestras de agua.....	21
VI.	Parámetros que determinan la calidad de agua	22
VII.	Aromas característicos en calidad del agua	23
VIII.	Colores característicos en calidad del agua	24
IX.	Formas de sólidos en calidad del agua	25
X.	Dureza del agua	26
XI.	Intervalo de variación del ICA.....	30
XII.	Índices de contaminación	31
XIII.	Planos de gestión ambiental.....	33
XIV.	VARIABLES INDEPENDIENTES DEL ESTUDIO	35

XV.	Variables dependientes del estudio	36
XVI.	Puntos de muestreo en el Humedal Guayamaral	38
XVII.	Cronograma de recolección de muestras	44
XVIII.	Resultados análisis físicos del agua	45
XIX.	Modelos matemáticos de parámetros físicos	48
XX.	Resultados análisis químicos del agua	51
XXI.	Modelos matemáticos parámetros químicos.....	55
XXII.	Resultado análisis bacteriológico del agua	60
XXIII.	Modelos matemáticos análisis bacteriológico	60
XXIV.	Índices de contaminación promedio.....	62
XXV.	Fechas recorridos Humedal Guayamaral.....	67
XXVI.	Perturbaciones detectadas en el Humedal Guayamaral.....	70
XXVII.	Ubicación de perturbaciones detectadas en el Humedal Guayamaral	71
XXVIII.	Ubicación de vertimientos de aguas residuales, extracción de agua y descarga desconocida en el Humedal Guayamaral	73
XXIX.	Ubicación de ganadería detectada en el Humedal Guayamaral	74
XXX.	Ubicación de acumulación de desechos sólidos detectados en el Humedal Guayamaral	74
XXXI.	Ubicación de perturbaciones varias detectadas en el Humedal Guayamaral	74
XXXII.	Programas de Plan de Acción.....	94
XXXIII.	Alternativas de manejo ambiental sostenible	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grados Celsius
g	Gramos
Ha	Hectáreas
mL	Mililitros
O₂	Oxígeno molecular
Ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
t	Tiempo

GLOSARIO

Área inundable o cuerpo de agua	Corresponde a aquellas áreas que están por debajo del nivel máximo de inundación e incluye el espejo de agua actual más el área con una lámina de agua permanente con profundidades variables.
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
Colmatación	La colmatación es la acumulación de sedimentos en los fondos de cuerpos hídricos, en este caso los humedales.
Eutrofización	La eutrofización es un proceso natural o de origen antrópico que implica un enriquecimiento de las concentraciones de nutrientes en las aguas.
Franja litoral	Áreas destinadas a albergar hábitats acuáticos y semiacuáticos básicos, son franjas con pendientes inferiores al 5 %, durante crecientes se inunda en los sectores de borde profundos del humedal y en la zonas terrestres que sobresalen, mantienen niveles freáticos altos con vegetación adaptada a esas condiciones.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

ICA	Índice de calidad del agua.
ICOMO	Índice de calidad por materia orgánica.
ICOSUS	Índice de calidad por sólidos suspendidos.
ICOMI	Índice de contaminación por mineralización.
ICOTRO	Índice de contaminación trófico.
IEU	Instituto de Estudios Urbanos.
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
NMP	Número más probable.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
RFRN	Reserva Forestal Regional del Norte de Bogotá D.C. Thomas Van Der Hammen.
Ronda hidráulica	Corresponde a las zonas destinadas a la recuperación que se encuentra por encima del nivel de inundación, es decir, por encima del borde del litoral. En estas zonas se debe establecer una vegetación arbórea y arbustiva compuesta por flora nativa.
RS	Residuos sólidos.

TDS	Sigla inglesa de Total Dissolved Solids.
UC	Unidades de color.
UDCA	Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
Vertimiento	Se le denomina vertimiento a la disposición o descarga de desechos en cualquier cantidad o sustancias que tienen un efecto negativo en el cuerpo receptor.
ZMPA	Zona de manejo y preservación ambiental, zonas que corresponden a la franja de terreno de propiedad pública o privada contigua a la ronda hidráulica, destinada principalmente a propiciar la adecuada transición de la ciudad construida a la estructura ecológica, la restauración ecológica y la construcción de la infraestructura para el uso público ligado a la defensa y control del sistema hídrico.
Zona de protección y preservación ambiental estricta	Estas áreas son fuente de alimento para las poblaciones de aves presentes y tienen condiciones apropiadas para albergar diferentes tipos de plantas y animales. Por ser áreas de especial valor el tratamiento a seguir es de preservar su estructura actual.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal caracterizar las variables fisicoquímicas de las aguas del Humedal Guaymaral, ubicado en la zona norte de Bogotá, Colombia, para determinar su calidad y fuentes de contaminación, con ello poder plantear alternativas de manejo ambiental de cinco puntos distribuidos y analizados en el ingreso y salida del humedal.

El trabajo se realizó con el apoyo de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), este consistió en muestrear cinco puntos distribuidos en el Humedal Guaymaral, para luego realizar 13 análisis de laboratorio para las muestras recolectadas en campo, los muestreos realizados se hicieron por un periodo de seis semanas y se trató de hacer los mismos en una franja horaria similar del día (10:00 - 13:00 horas), también se contó con la ayuda de la Facultad de Ingeniería Geográfica y Ambiental de la misma universidad para la georreferenciación de los puntos analizados y sitios de interés.

El comportamiento de las variables evaluadas se modeló por medio de polinomios de potencia dos, a los cuales se les determinó el coeficiente de correlación para cada caso analizado (parámetro, punto y semana de muestreo). Dichos comportamientos fueron evaluados por trayecto, es decir, se analizó la variación de cada parámetro en el trascurso de la aguas por el humedal durante un mismo periodo de tiempo, con ayuda de las gráficas de cada variable se logró determinar los cambios repentinos en cada parámetro, los cuales se analizaron para definir sus causas y consecuencias.

Los resultados de laboratorio sirvieron para determinar diferentes índices de calidad del agua (ICOMI, ICOMO e ICOSUS), esto con el fin de establecer las condiciones en las que se encuentran las aguas drenadas al humedal, según los datos calculados las aguas del Humedal Guaymaral poseen una clasificación de mala calidad, en función de lo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, esta clasificación indica que el cuerpo hídrico posee alta carga de contaminantes.

Por medio de recorridos presenciales al humedal y con el acompañamiento de representantes del Jardín Botánico de Bogotá, se hizo una identificación de perturbaciones directas que hay sobre la zona de estudio, dentro de estas se observaron vertimientos de aguas residuales, acumulación de desechos sólidos, ganadería, fragmentación de la zona, interrupción de flujos de aguas que podrían alimentar la zona de inundación del Humedal Guaymaral, ausencia de un espejo de agua, también se detectaron vertimientos intermitentes de material desconocido.

Se realizó una caracterización de las perturbaciones encontradas al relacionarlos con los resultados de laboratorio. Luego se realizan propuestas de manejo ambiental que pretenden mitigar los efectos adversos que se observan actualmente en el Humedal Guaymaral.

OBJETIVOS

General

Determinar la calidad de las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia, ubicado en la zona norte de Bogotá, a través de la caracterización de sus variables fisicoquímicas y cálculo de índices de contaminación en cinco puntos de muestreo, así como, desarrollar alternativas de manejo sostenible.

Específicos

1. Evaluar el comportamiento de las variables físicas y químicas de las aguas del Humedal Guaymaral, ubicado en la zona norte de Bogotá, Colombia, a través de un trayecto establecido por cinco puntos distribuidos en entrada y salida del humedal.
2. Determinar los índices de contaminación ICOMI, ICOMO e ICOSUS para las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia, en cinco puntos distribuidos en la entrada y salida del mismo.
3. Definir las causas y efectos de los resultados de índices de calidad para las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia.
4. Plantear alternativas de manejo sostenible para las condiciones actuales de las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son “Extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salubres o saladas, incluidas las de extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros” según la Convención de Ramsar. Estos son de alta importancia por ser considerados como los sistemas biológicos más productivos y diversos, cuando se ubican en zonas urbanas prestan servicios ecosistémicos, por ejemplo el control de inundaciones, recarga de acuíferos, regulación de ciclos biogeoquímicos y soporte de una variedad de especies únicas de fauna, los humedales también poseen fines recreativos y educacionales, así como, zonas de estudios para investigación científica (Barrera, 2003).

Los humedales se encuentran en riesgo debido a perturbaciones que afectan de forma directa o indirecta su calidad para servir de hábitat para muchas especies endémicas. El acueducto de Bogotá, actualmente reconoce trece humedales distribuidos en la región del Distrito Capital. La protección, conservación y recuperación de estos ecosistemas ha tomado auge los últimos años, debido a la importancia que estos poseen para dar servicios y bienes a las poblaciones aledañas al mismo.

Para determinar las condiciones actuales de un humedal se recurre a investigaciones de laboratorio que ayudan a definir por medio de parámetros fisicoquímicos las condiciones actuales de un cuerpo hídrico, para facilitar la interpretación de los parámetros se usan los índices de calidad de agua, para que la información sea clara para todos los interesados en estos temas.

Para que un humedal se conserve se usan alternativas o propuestas de manejo ambiental, las cuales buscan la mitigación de las actividades adversas hacia un humedal específico. Existen diversas instituciones encargadas de velar por el bienestar de un humedal, dentro de estas se encuentra el Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y el Jardín Botánico, estas trabajan en conjunto con universidades u organizaciones preocupadas por un bien común, como lo es un humedal.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

Actualmente Colombia forma parte de la Convención de Ramsar¹ y cuenta con cinco humedales de importancia internacional, los cuales ocupan un área de 458 525 Ha, según la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional, publicado el 13 de mayo de 2014 (*The List of Wetlands of International Importance*), siendo los siguientes:

- Complejo de Humedales Laguna de Orún (25/06/08)
- Delta del Río Baudó (05/06/04)
- Laguna de Cocha (08/01/01)
- Sistema Delta Estuario del río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta (18/06/98)
- Sistema Lacustre de Chingaza (25/06/08)

La Convención de Ramsar cuenta con 168 países miembros, con un total de 2 181 sitios y una superficie total de 208 545 658 Ha. Como parte de la convención los países se trabajan bajo tres pilares: 1) garantizar la conservación y el uso racional de los humedales que ha designado como Humedales de Importancia Internacional, 2) incluir en la planificación ambiental nacional el uso racional de todos los humedales en la mayor medida posible, y 3) entablar consultas con otras partes acerca de la aplicación de la convención.²

¹ Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.

² Partes Contratantes, o Estaos Miembros, de la Convección de Ramsar. Fecha 13 de marzo del 2014. http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-about-parties/main/ramsar/1-36-123_4000_2__

En Bogotá la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), corporación que tiene por objetivo la ejecución de políticas, planes, programas y proyectos sobre el medio ambiente y recursos naturales, ha realizado estudios sobre la Reserva Forestal Productora del norte de Bogotá D.C. “Thomas Van Der Hammen”, estos estudios se realizaron en conjunto con la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Estudios Urbanos (IEU) de la Universidad Nacional de Colombia, dichos estudios se realizaron entre 2009 y 2010.

El proyecto Borde Norte de Bogotá se dividió en dos fases, la primera comprendió temáticas interrelacionadas con aspectos de biodiversidad; cobertura vegetal; historia social, económica y política; también se consideró el sistema hídrico. Todo lo anterior con conexión entre el río Bogotá y los cerros orientales, denominado Reserva Forestal Regional del Norte (RFRN).

La fase dos evalúa las interrelaciones culturales, históricas, sociales, económicas y políticas con el territorio y los habitantes de la región. Evaluando los vínculos que existen entre ellos, lo cual considera la obtención del sustento hasta relaciones religiosas.

La CAR mediante el Acuerdo CAR No. 11 de 2011 declara Reserva Forestal Productora del Norte de Bogotá D.C. Thomas Van Der Hammen, y adelanta la formulación del Plan de Manejo Ambiental de la misma reserva.

1.2. Justificación

Los humedales en el mundo poseen importancia debido a que se encuentran dentro de los ecosistemas más productivos de la tierra, desempeñando funciones en los ciclos hidrológicos y químicos, también contribuyen dando sustento a la alta diversidad biológica que habita en esas regiones.

Es importante mencionar que los humedales son áreas donde el agua es una variable primordial para el control del medio ambiente, vida vegetal y animal (biodiversidad)³. Figurando como fuentes de agua y productoras primarias necesarias para la supervivencia de gran diversidad de especies vegetales y animales. También son suministradores de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, control de inundaciones, entre otras funciones importantes.

Para promover la conservación y uso sostenible de los recursos naturales se acuerda en 1971 un tratado internacional sobre los humedales⁴, este documento enfatiza la interrelación que existe entre humanos y humedales.

El Humedal Guaymaral y Torca forma parte de la Reserva Forestal Regional del Norte, por ello la importancia de realizar una caracterización de sus variables fisicoquímicas para determinar el estado actual del mismo y establecer alternativas que contribuyan a su conservación y mejoramiento ambiental.

³ Valores Líquidos de Ramsar. 40 años de la convención sobre los Humedales. 1971 – 2001.

⁴ Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Humedal

Según la Convención de Ramsar⁵ un humedal se puede definir como “Extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salubres o saladas, incluidas las de extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda seis metros”. El artículo dos de la Convención de Ramsar también indica que un humedal también comprende “zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”.

En general, un humedal es una zona plana en la cual el nivel del agua está cerca o por encima del nivel de la superficie del terreno de forma permanente o temporal. Los humedales pueden ser clasificados por variables como el clima, el régimen hidrológico superficial, el régimen hidrológico subterráneo, el relieve de la depresión, el tipo de roca, los suelos adyacentes, historia geológica, afinidad geográfica y diversidad taxonómica de la flora y fauna, entre otros. Una de las características principales de un humedal es la presencia de agua durante periodos prolongados que alteran los suelos, microorganismos, flora y fauna.

⁵Convención Internacional sobre los humedales de importancia mundial, Ciudad de Irán, Ramsar, 1971.

2.1.1. Tipos de humedales

Según la Convención de Ramsar los humedales se clasifican 42 tipos, los cuales se han integrado en 3 grupos, según la siguiente tabla:

Tabla I. Clasificación de humedales

Grupo	Clasificación
Marinos y costeros	Aguas marinas someras permanentes
	Lechos marinos submareales
	Arrecifes de coral
	Costas marinas rocosas
	Playas de arena o de guijarros
	Estuarios
	Bajos intermareales de lodo, arena o con suelos salinos
	Pantanos y esteros
	Humedales intermareales arbolados
	Lagunas costeras salobres/saladas
	Lagunas costeras de agua dulce
Humedales continentales	Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos
	Deltas interiores
	Ríos/arroyos permanentes
	Ríos/arroyos estacionales/intermitentes/irregulares
	Lagos permanentes de agua dulce
	Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce
	Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos
	Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes/salinos/salobres/alcalinos
	Pantanos/esteros/charcas permanentes salinas/salobres/alcalinos
	Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos
	Pantanos/esteros/charcas permanentes de agua dulce
	Pantanos/esteros/charcas estacionales/intermitentes de agua dulce sobre suelos inorgánicos
	Turberas no arboladas
	Humedales alpinos/de montaña
	Humedales de la tundra
	Pantanos con vegetación arbustiva
	Humedales boscosos de agua dulce
	Turberas arboladas
	Manantiales de agua dulce, oasis
	Humedales geotérmicos
Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos	
Humedales artificiales	Estanques de acuicultura
	Estanques artificiales
	Tierras de regadío
	Tierras agrícolas inundadas estacionalmente
	Zonas de explotación de sal
	Áreas de almacenamiento de agua
	Excavaciones
	Áreas de tratamiento de aguas servidas
	Canales de transportación y de drenajes, zanjas
Sistemas kársticos y otros sistemas hídricos subterráneos	

Fuente: Convención de Ramsar.

2.1.2. Importancia de los humedales

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más productivos que existen. Las características que poseen se logran agrupar en componentes, funciones y propiedades, los cuales son:

Tabla II. Características de los humedales

Grupo	Clasificación
Componentes	Rasgos bióticos y no bióticos (agua, suelo, flora y fauna)
	Pescado: la mayoría de peces comestibles se reproducen únicamente en praderas inundadas.
	Derivados de los árboles: madera, leña, medicamentos, entre otros.
	Fauna y flora silvestre: estos factores se explotan de diversas maneras, tales como el turismo, también se usan para estudios científicos o documentales.
	Tierras agrícolas fértiles: la inundación periódica promueve la fertilidad de los suelos y mantiene la de las tierras ribereñas.
	Abastecimiento de agua: los humedales son fuentes de agua para uso doméstico, agrícola e industrial.
	Trasporte de agua: muchas comunidades se han desarrollado en humedales y emplean sus vías navegables como medio de transporte.
	Turba: la turba se considera fuente de combustible, también su uso comprende el abono de jardines en países industrializados.
Interacciones/funciones	Inclusión de ciclo de nutrientes
	Intercambio de aguas superficiales y subterráneas y entre superficie y la atmósfera
	Reguladores del Ciclo Hídrico: retienen sedimentos y nutrientes, contribuyen en la descarga y recarga de acuíferos, funcionan como reservorios de agua.
	Mejoramiento de Calidad de Aire: son sumideros de CO ₂ , son retenedores de polvo, regulan la temperatura, generadores de microclimas y productores de oxígeno.
	Espacios de conservación biofísica de la región: refugio de biodiversidad endémica (única de la región), hábitat esencial de diversas especies de aves residentes y migratoria.
	Control de crecidas o inundaciones: las praderas inundables almacenan grandes cantidades de agua durante crecidas, reduciendo el caudal máximo de los ríos y por ende reduce el peligro de inundaciones.
	Protección contra tormentas: son los humedales costeros, manglares, ayudan a disipar la fuerza del viento y las olas y reducen los daños que provocan.
	Recarga de acuíferos: propiedad que adquieren los humedales al tener suelos impermeables.
	Retención de sedimentos y agentes contaminantes: los sedimentos son agentes contaminantes de cuencas fluviales, pero los humedales cumplen la función de lagunas de sedimentación.
	Retención de nutrientes: esta función interviene cuando las plantas retienen nutrientes o éstos se acumulan en el subsuelo y es especialmente importante en el caso de los nitratos y fosfatos.
	Evaporación: considerada como pérdida.
	Preservación: algunos humedales, ciénagas ácidas anegadas, conservan restos arqueológicos y humanos.
	Hábitat de vida silvestre.
Ciclo biogeoquímico de materiales que son importantes en escalas locales a globales.	
Propiedades	Diversidad de especies
	Diversidad biológica: poseen alta biodiversidad, haciendo más estable el ecosistema.

Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de humedales proporcionan sustento de forma directa a poblaciones de seres humanos aportando bienes y servicios al ambiente que los rodea y a ellos mismos. Dentro de los beneficios que proporcionan al ser humano se encuentra el cultivo de los suelos, captura de peces para consumo, tala de árboles para la obtención de madera de construcción y leña, también se obtiene el almacenamiento temporal de agua, lo cual reduce el caudal máximo de los ríos y retrasa el momento en que el caudal alcanza ese nivel, favoreciendo a los asentamientos de poblados que se ubican aguas abajo.

Los manglares también reducen la energía de las olas protegiendo a las comunidades costeras, otro beneficio es el reciclaje del nitrógeno, mejorando la calidad del agua corriente abajo, este tipo de beneficio se considera indirecto. Mundialmente, 75 % de las emisiones naturales de metano se originan en los humedales. Los ríos, estuarios y sus humedales asociados pueden contabilizar 20 % de las emisiones antrópicas de otro gas importante de efecto invernadero, el N₂O (Seitzinger y Kroeze, 1998).

2.2. Humedales en Bogotá, Colombia

Los humedales que se ubican en el Distrito Central y Sabana de Bogotá pertenecen a la cuenca del río Bogotá, forman parte del sistema geográfico del Altiplano de Cundinamarca.

2.2.1. Descripción de humedales de Bogotá, Colombia

Bogotá cuenta con trece humedales que forman parte del más importante centro de reproducción de aves al norte de los Andes: la Sabana de Bogotá, estos son:

Tabla III. **Humedales de Bogotá, Colombia**

Nombre	Descripción General	Extensión
La Conejera	Pertenece a la localidad de Suba y posee una extensión aproximada de 60 Ha.	60 Ha
Juan Amarillo	También conocido como Tibabuyes, localizado en Suba, es el más extenso de la Sabana de Bogotá.	234 Ha
Guaymaral – Torca	La parte nombrada Torca pertenece a Usaquén y la parte Guaymaral a Suba.	22 Ha – Torca 49 Ha – Guaymaral
Jaboque	Ubicado en el occidente de Bogotá D.C.	1 668 Ha
Techo	Pertenece a la localidad ocho, Kennedy, junto al Humedal del Burro y la Vaca.	11 Ha
El Burro	Pertenece a la localidad de Kennedy, suroccidente de Bogotá. Posee forma alargada y en sentido noroccidental.	31 Ha
La Vaca	Situado en el oriente de la avenida Ciudad de Cali y la Carrera 88.	80 Ha
Córdoba	Pertenece a la localidad once, Suba. Ubicada en el extremo noroccidental de Bogotá.	40 Ha
Santa María del Lago	Se ubica en la localidad diez de Bogotá, Negativa.	4 Ha
La Tibanica	Se localiza al suroccidente de Bogotá, conformado por dos áreas localizadas en Bosa y el municipio de Soacha.	10 Ha
Capellanía	Ubicado en la localidad nueve, Fontibón, en el suroccidente de Bogotá.	6 Ha
El Meandro del Say	Conocido como Madre Vieja del río Bogotá, ubicado en la localidad de Fontibón y el sector occidental del municipio de Mosquera.	26 Ha

Fuente: elaboración propia.

2.3. Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia

El Humedal Guaymaral forma parte de la subcuenca del río Torca. “Años anteriores se conocía como el conjunto Humedal Torca – Guaymaral con una extensión de 71 hectáreas en las localidades de Suba y Usaquén, sin embargo, luego de la construcción de la Autopista Norte el humedal se fraccionó en tres partes” (Moreno, Vanesa et al. 2005, p. 21).

- Humedal de Torca en Usaquén, con área de 22 ha
- Humedal Guaymaral en Suba, con área de 49 ha
- Franja en el separador de la Autopista Norte

2.3.1. Ubicación

“El humedal limita al oriente con la Compañía Nacional de Reforestación, con la automotriz Mazda y con el barrio Lucerna; al sur con el parque cementerio de Jardines de Paz; al occidente con el centro comercial Bima y al norte con los predios de la escuela de fútbol Alejandro Brand” (Moreno, Vanesa et al. 2005, p. 21).

2.3.2. Reseña histórica

“Por acuerdo 19 de 1994 se declaran reservas ambientales naturales los humedales de Bogotá, Distrito Capital, y se dictan otras disposiciones que garantizan su cumplimiento. A través de este se nombró al Humedal Torca como perteneciente a la localidad uno, Usaquén, y el Humedal Guaymaral a la localidad once, Suba” (Moreno, Vanesa et al. 2005, p. 21). En la década de los años cincuenta el crecimiento de la ciudad de Bogotá dio origen a la necesidad de nuevas vías de transporte, dando inicio a la construcción de la Autopista Norte, construida en 1952, dando como resultado la separación del Humedal Guaymaral y Torca.

2.3.3. Clima

El conjunto Humedal Torca – Guaymaral se caracteriza por tener las siguientes condiciones ambientales (Moreno, Vanesa et al. 2005):

- Temperatura promedio: 12,6 °C
- Precipitación: 1 000 mm
- Humedad relativa: 64,3 %
- Velocidad del viento: 2 m/s
- Dirección del viento: noroeste

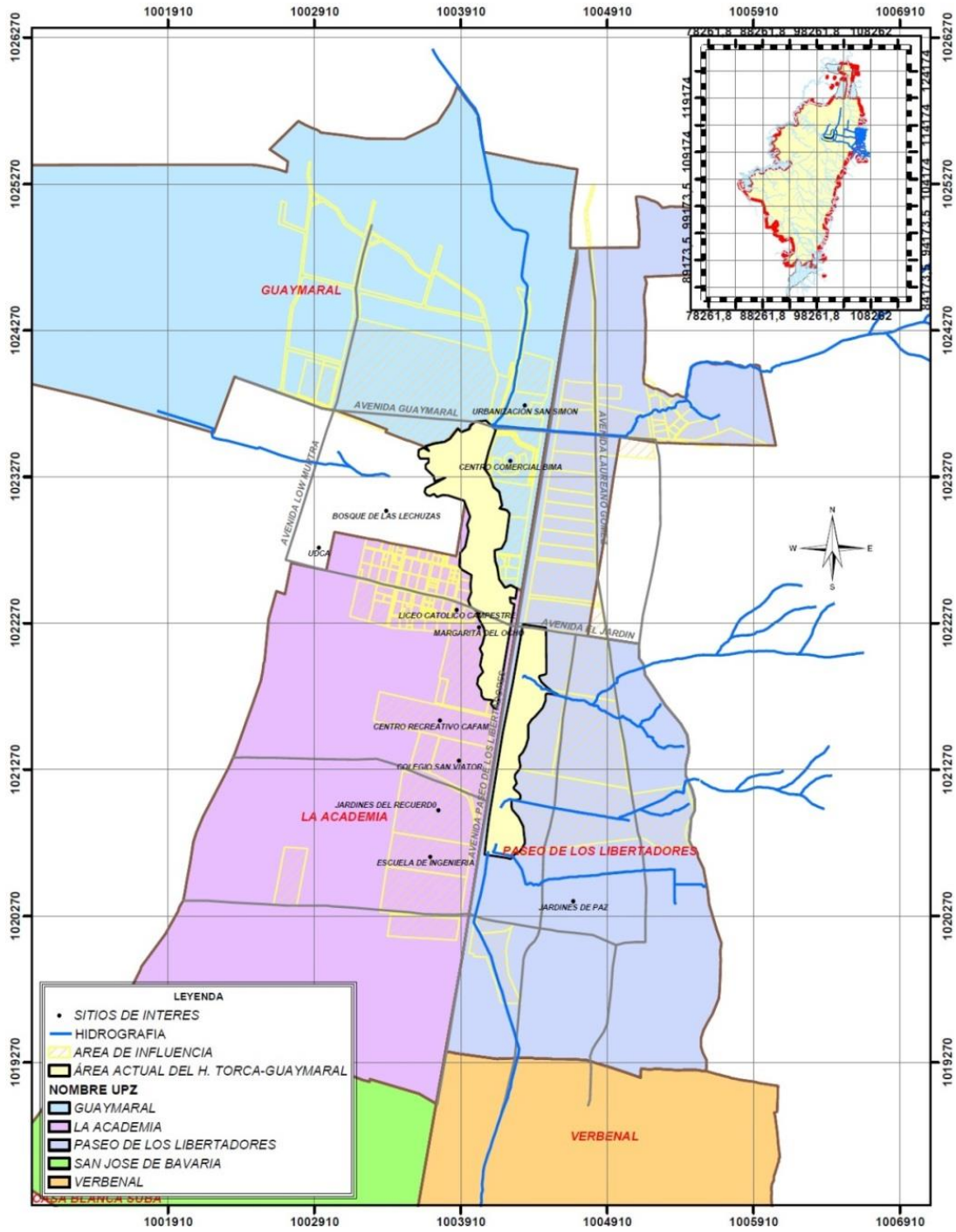
2.3.4. Flora

En la parte correspondiente al separador se encuentra una gran diversidad de especies vegetales, entre ellas sauces, saucos, higuerrillos, trompetos, sangregao y alisos (Moreno, Vanesa et al. 2005). En el cuerpo de agua se encuentra vegetación característica del humedal como sombrillita de agua, *Hydrocotyle ranunculoides*, y lenteja de agua, *Lemna minor*. En las áreas firmes se encuentran poblaciones numerosas de enea, *Typha latifolia* y junco bogotano, *Juncus Bogotensis* (Moreno, Vanesa et al. 2005).

2.3.5. Fauna

En el humedal es característico encontrar, en las platas de mora, que los curies construyen allí sus madrigueras. Se observan especies de aves como monjitas, *Angelaius icterocephalus* y cucaracheros, *trogodytes aedon*. A ellos se suman gran cantidad de insectos que sirven de alimento, tanto a reptiles como a las aves. Esos insectos son voladores como las libélulas o rastros y nadadores (Moreno, Vanesa et al. 2005).

Figura 1. Humedales Guaymaral - Torca, Colombia



Fuente: Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2007.

2.3.6. Caracterización biofísica del Humedal Guaymaral

De acuerdo a la clasificación general de los humedales de RAMSAR (DAMA, 2002; MMA, 2001), los humedales Torca y Guaymaral corresponde a un humedal de planicie, estos son ecosistemas que se desarrollan en paisajes fluviolacustres del plano inundable del río Bogotá y su comportamiento está ligado con los pulsos anuales y multianuales; son ecosistemas anfibios en los cuales la fase terrestre y la fase acuática no tienen límites precisos y varían “estacionalmente”. Los humedales Torca y Guaymaral son humedales interiores de sistemas fluviales y palustres intermitentes o permanentes con vegetación emergente.

El Humedal Guaymaral, cuenta con dos entradas de agua, una de las cuales tiene su origen en el canal ubicado en el separador central de la Autopista Norte, recoge las aguas de lluvia de un sector de la Autopista y las conduce a Guaymaral y la quebrada El Guaco que drena en sentido oeste-este se encuentra localizada al noroccidente del Humedal Guaymaral (IDEA, 2007)

El Humedal Guaymaral escurre en sentido sur-norte, recogiendo principalmente las aguas pluviales del sector y del Humedal Torca, para luego entregar al canal Guaymaral y finalmente tributar al río Bogotá. El punto de entrega del humedal se encuentra localizado sobre el puente La Balsa, el cual comunica con el Aeropuerto Guaymaral (IDEA, 2007).

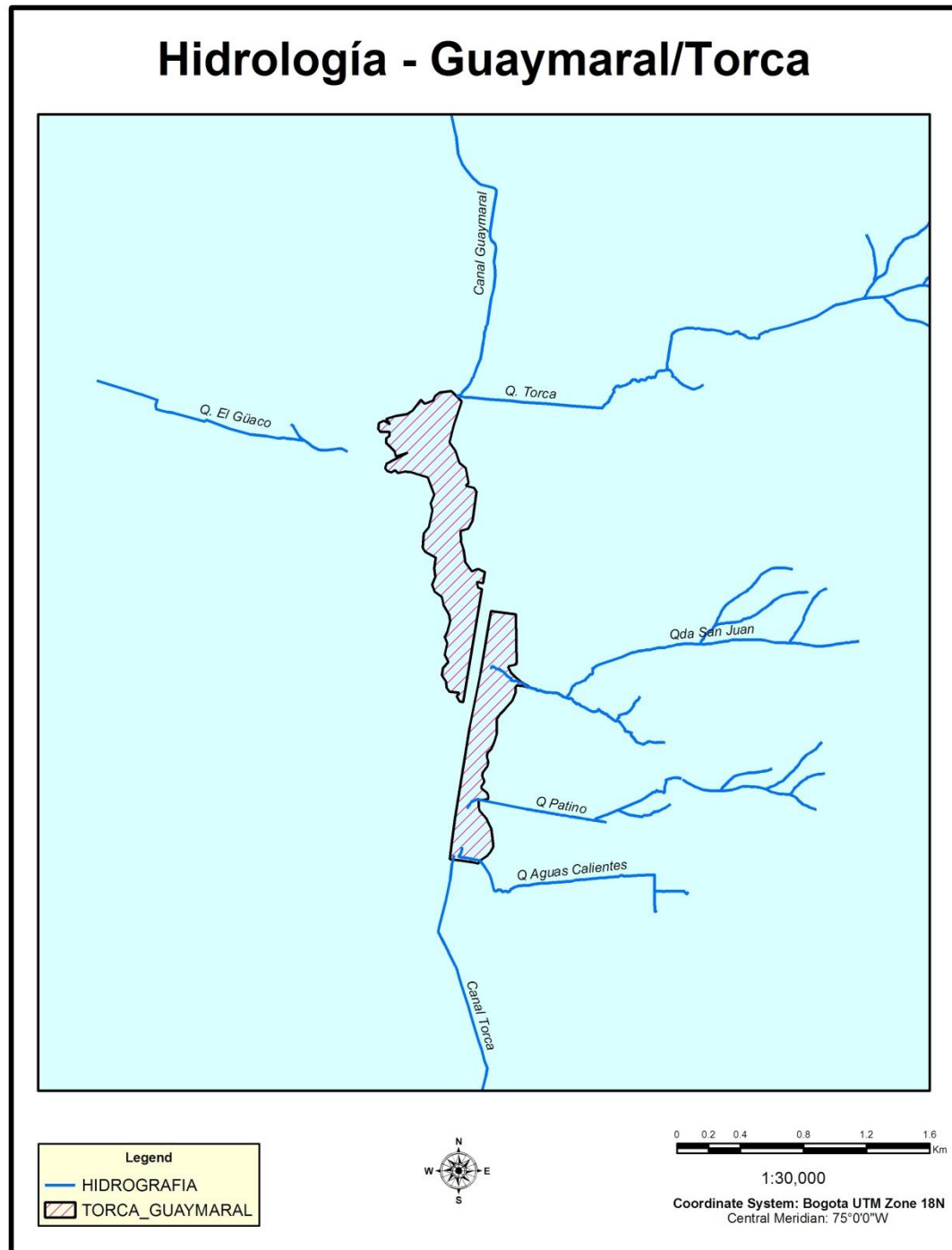
La caracterización biofísica del Humedal Guaymaral se resume en las siguientes figuras.

Figura 2. Límites Humedal Guaymaral – Torca



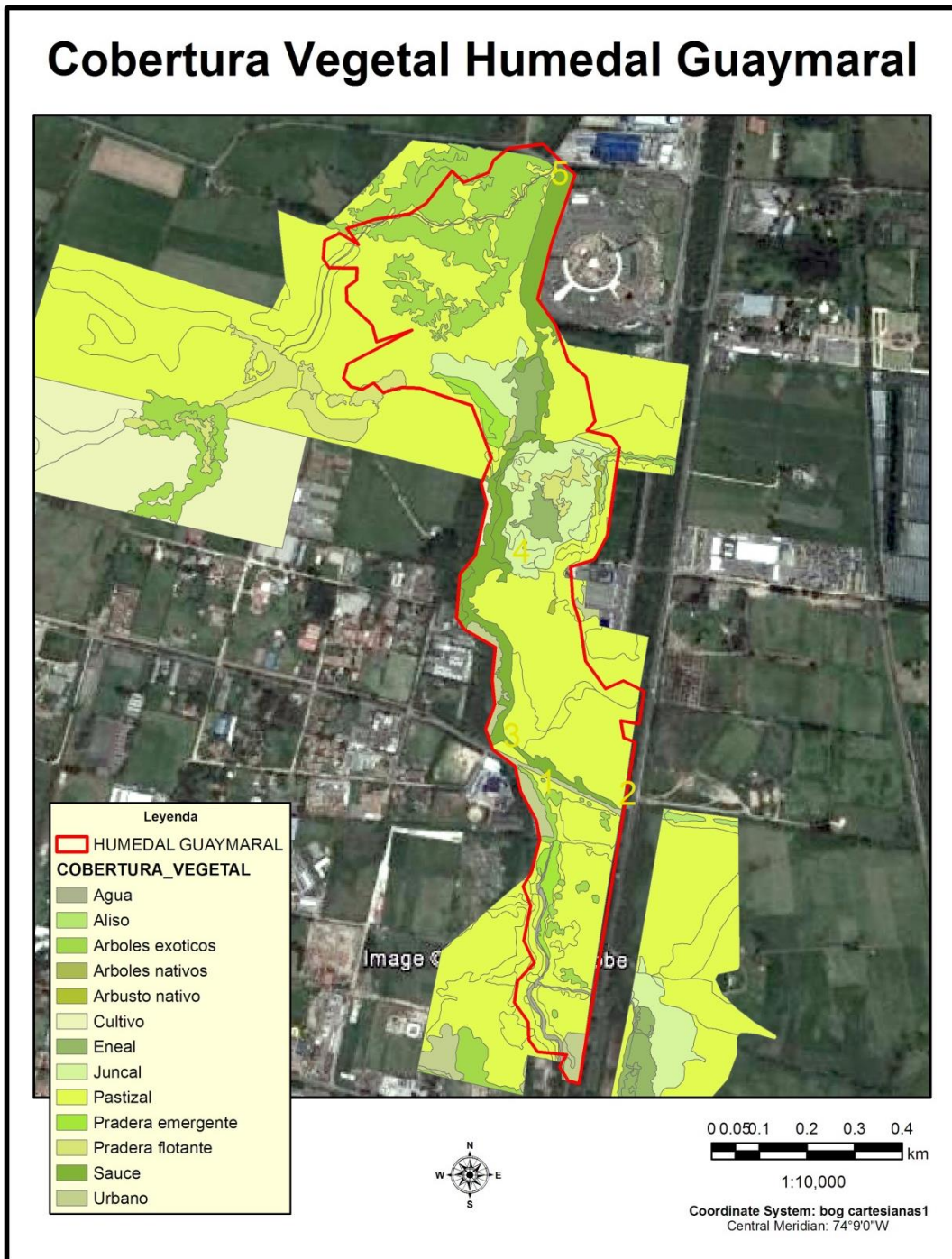
Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapes IDEA 2007.

Figura 3. Hidrografía Humedal Guaymaral – Torca



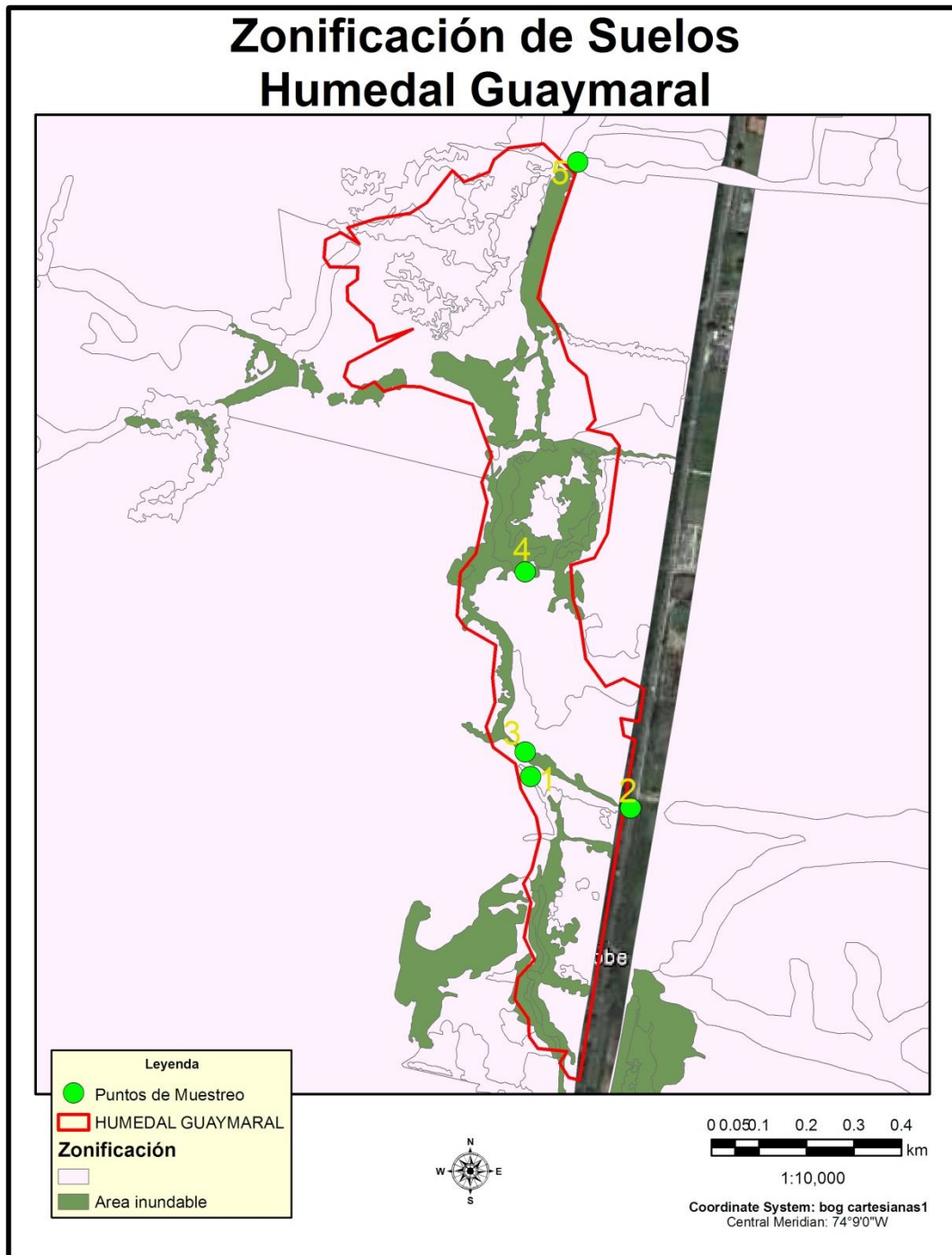
Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapes IDEA 2007.

Figura 4. Cobertura vegetal Humedal Guaymaral – Torca



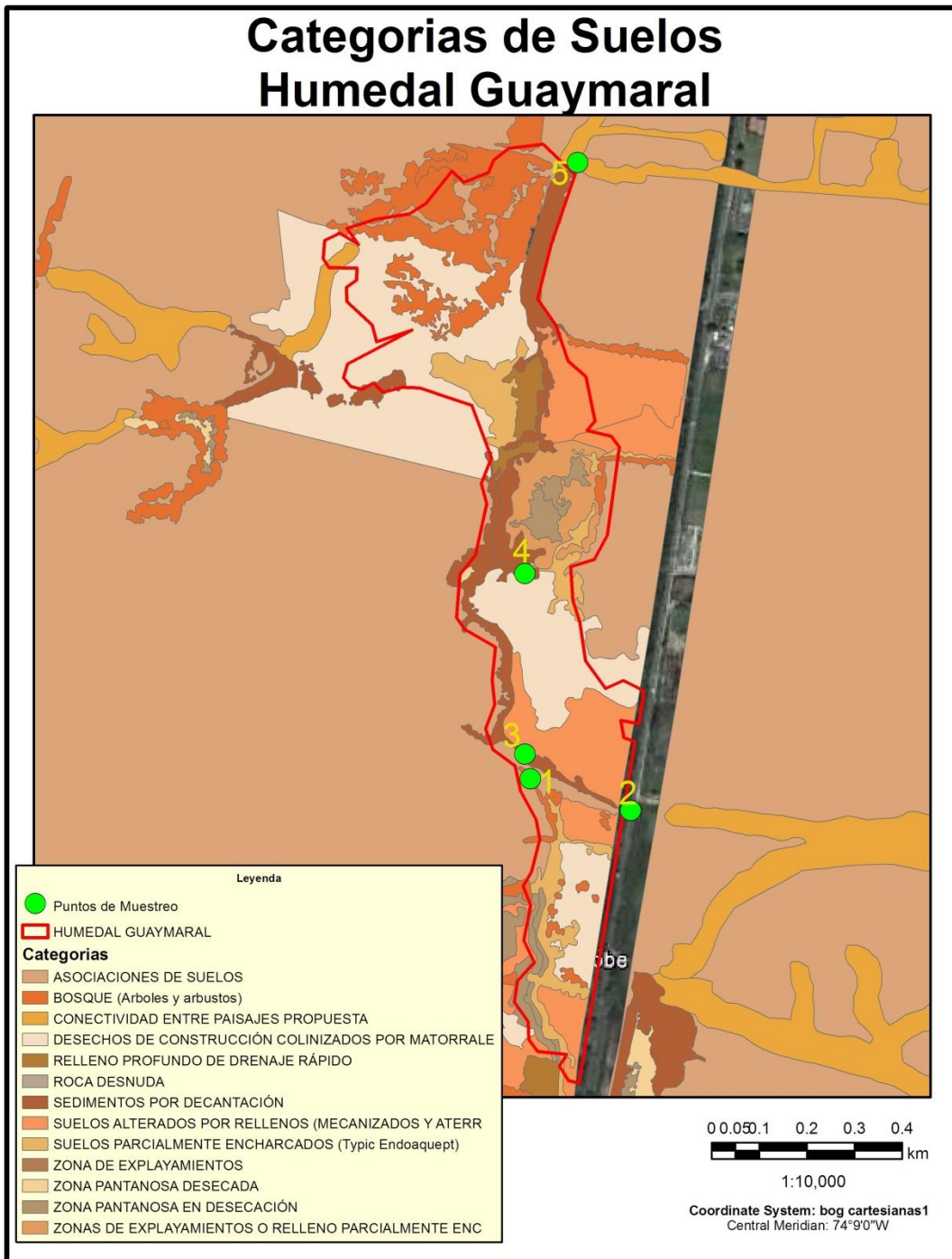
Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapex IDEA 2007.

Figura 5. Zonificación de suelos Humedal Guaymaral



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y ShapEs IDEA 2007.

Figura 6. Categorías de suelos Humedal Guaymaral



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y ShapEs IDEA 2007.

2.3.7. Estudios previos

Dentro de los estudios previos realizados al Humedal Guaymaral se encuentra la ejecución del proyecto de formulación y/o actualización del Plan de Manejo de los Humedales Torca y Guaymaral, en este se realizó un muestreo de aguas para la medición de diferentes parámetros fisicoquímicos del agua para la caracterización de las aguas del humedal en el 2006, el proyecto realizado por el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia. Los resultados de este estudio se resumen en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Valores de variables fisicoquímicas de los humedales Torca y Guaymaral, julio de 2006**

Grupo	Variable	Humedal					
		Guaymaral			Torca		
		1	2	3	1	2	3
Bacterias	Nitrógeno Totales	12033000	23300	11450000	6488	83900	41060
	E-coli	2723000	6300	2590000	52	10	100
Colmatación	Sólidos Suspendidos	98	27	66	91	444	142
	Sólidos Totales	382	317	362	447	696	234
	Turbiedad	60	39	55	45	180	45
	Sólidos Sedimentables	0	0,7	0	0	9	0
	Eutrofización	Amonio	26	1,6	19,2	0,9	0,9
	Fósforo Soluble	4,74	0,26	2,54	0,55	0,84	0,53
	Fósforo Total	5,18	0,85	3,86	1,94	1,61	1,28
	Nitratos	0,13	0,16	0,18	0,1	0,92	0,17
	Nitritos	0,008	0,005	0,002	0,024	0,007	0,004
Metales	Aluminio total	0,408	0,45	1,455	2,248	0,815	2,21
	Cadmio	0,0009	0,0006	0,0008	0,0008	0,0004	0,0016
	Cromo total	0,003	0,002	0,002	0,004	0,006	0,009
	Cobre	0,016	0,01	0,012	0,012	0,007	0,061
	Níquel	0,006	0,001	0,012	0,004	0,004	0,008
	Plomo	0,012	0,01	0,008	0,014	0,009	0,09
	Zinc	0,076	0,089	0,103	0,118	0,069	0,194

Continuación de la tabla IV.

Grupo	Variable	Humedal					
		Guaymaral			Torca		
		1	2	3	1	2	3
Mineralización	Alcalinidad	175	139	141	32	72	50
	Sólidos Disueltos	284	290	296	356	252	92
	Sulfatos	31	46	25	121	1	0
	Conductividad	142	145	148	178	126	46
Saprobiedad	COT	52,1	13,2	40,5	25,8	52,9	32,2
	DBO 5 Total	75	20	81	40	215	69
	DQO	189	37	171	70	268	111
	Nitrógeno Kjeldahl Total	27,5	3,7	25,2	3,3	10,7	6,2
	Oxígeno Disuelto	0	2,5	0	8	0	1,1
	Sulfuros	3,1	0,4	1,8	0	0	0
Tóxicos	CN	0,001	0,001	0,001	0,001		0,001
	Fenoles Totales	0,11	0	0,11	0,12	0,05	0
	Grasas y aceites	0	0	0	0	0	0
	SAAM	2,573	0,503	3,324	0,366	0,218	0,233
	Temperatura	18	17	18,5	19	18,5	17
	PH	6,2	6,3	6,2	7,5	6,4	6,6

Fuente: Caracterización diagnóstica, Plan de Manejo Ambiental Humedal Torca-Guaymaral, marzo de 2007. p. 102.

2.4. Calidad del agua

La contaminación del agua se puede entender como la adición o introducción de una sustancia ajena al medio ambiente a niveles que llevan a la pérdida del uso o benéfico de un recurso, así como, la degradación de la salud de los seres humanos, la vida silvestre o los ecosistemas involucrados (Mihelcic y Zimmerman, 2012). Los contaminantes son descargados a sistemas hídricos desde varias fuentes, las cuales pueden ser puntuales y no puntuales.

Para realizar un análisis de calidad del agua se hacen operaciones de muestreo, las cuales consisten en extraer del cuerpo hídrico una cantidad de muestra representativa para realizar todos los análisis que se necesiten para determinar su calidad, se debe considerar que esta muestra debe poder transportarse con facilidad y en un intervalo de tiempo corto. Desde un punto de vista genérico, los diversos parámetros que se miden en una muestra de agua se pueden clasificar como: (Cardenas, 2005)

Tabla V. **Análisis de muestras de agua**

Análisis	Parámetros	Ejemplos
Componentes mayoritarios	Orientados a la identificación y cuantificación de los constituyentes más frecuentes en una muestra de agua.	Calcio, magnesio, sodio y bicarbonatos. Medidos en mg/L.
Componentes minoritarios	Buscan identificar y cuantificar componentes cuyas concentraciones en el agua son menores a los mayoritarios.	Nitratos, fosfatos, hierro y manganeso. Medidos en mg/L.
Componentes traza o específicos	Buscan identificar y cuantificar compuestos a escalas mucho menores que los componentes minoritarios. Debido a la complejidad y costo de estas mediciones solo se realizan cuando es de interés particular de los analistas.	Metales pesados, pesticidas o compuestos organoclorados, entre otros. Medidos en mg/L

Fuente: Cárdenas León, Jorge Alonso. *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. p. 41.

Muchas de las sustancias que se encuentran en el agua tienen su origen de actividades humanas, estas ocasionan eventos de contaminación que representan un riesgo a la salud de los consumidores del agua. “Para definir si el agua se encuentra pura o contaminada, así como, determinar el nivel de contaminación que posea es necesaria la medición de parámetros, los cuales se clasifican en organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos” (Sierra, 2011, p. 55).

Tabla VI. **Parámetros que determinan la calidad de agua**

Clasificación	Parámetro
Organoléptico	Olor, color
Físico	Temperatura
	Turbidez
	Sólidos suspendidos totales
	Conductividad
Químico	pH
	Oxígeno disuelto
	Nitratos
	Nitritos
	Amonio
	Dureza
	Alcalinidad
	DQO
	DBO ₅
	Grasas y aceites
	Metales y otros.
Microbiológico	Coliformes totales

Fuente: Sierra Ramírez, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 55 – 88.

La definición de los análisis que se realizaron en el estudio de calidad de agua se eligió por las condiciones del laboratorio o entidad encargada del estudio. A continuación se define la mayoría de análisis, sin embargo, no todos fueron realizados en el presente trabajo por motivos ajenos a la investigación.

2.4.1. Olor y sabor

“El olor y sabor son resultado de la presencia de plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, desechos industriales y descomposición de materia orgánica” (Sierra, 2011, p. 57). Aunque la propiedad del olor propiedad tiene una amplia gama de posibilidades se puede generalizar los olores con la siguiente tabla.

Tabla VII. **Aromas característicos en calidad del agua**

Tipo de olor	Tipo de agua
Sin olor	Típico de aguas dulces y frescas
Olor metálico	Típico de aguas subterráneas
Olor a sulfuro	Típico de agua residual doméstica, materia orgánica y sistemas anaeróbicos
Olor a vegetal	Típico de aguas poco profundas, de humedales y estuarios.
Olor pídrico	Típico de lixiviados de residuos sólidos y aguas procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.
Olor a pescado	Típico de aguas oceánicas y de cultivos piscícolas

Fuente: Cárdenas León, Jorge Alonso. *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. p. 57.

2.4.2. Color

El color en el agua se puede asociar con sustancia en solución o a sustancias en suspensión. Las sustancias de origen natural que dan color al agua son: material vegetal en descomposición, limos y arcillas en suspensión y algunos minerales disueltos, hierro y manganeso (Cardenas, 2005). En aguas afectadas antrópicamente el color depende del tipo de actividad industrial asociada.

El color se expresa en unidades de color (UC). Dicha unidad se obtiene agregando 1 mg de cloroplatinato de potasio en 1 L de agua destilada, su resultado se obtiene a través de uso de colorímetros (Sierra, 2011).

Tabla VIII. **Colores característicos en calidad del agua**

Tipo de color	Tipo de agua
Incoloro	Típico de aguas dulces y frescas
Grisáceo	Típico de aguas residuales domésticas
Amarillo sin turbidez	Típico de aguas subterráneas, de estuarios y de pantanos
Amarillo turbio	Típico de aguas corrientosas y/o cargadas de limos y arcillas
Amarillo verdoso	Típico de humedales y aguas ricas en fitoplancton
Cafés u oscuras	Típico de aguas con altos contenidos de materia orgánica, lixiviados, de residuos sólidos, PTAR

Fuente: Cárdenas León, Jorge Alonso. *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. p. 58.

2.4.3. Turbidez

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la pérdida de su transparencia, lo cual se origina por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente. La turbidez en el agua puede ser causada por partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o a la presencia e microorganismos (Tebbytt, 1990). La turbidez se mide con turbidímetros basados en principios nefelométricos, dando resultados en unidades de NTU (Sierra, 2011). La Nefelometría es un procedimiento analítico que se basa en la dispersión de la radiación que atraviesan las partículas de materia.

2.4.4. Sólidos

Los sólidos que se encuentran en el agua se pueden clasificar como sólidos volátiles, sólidos sedimentables, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos totales (Cárdenas, 2005). Los sólidos que se detectan con mayor frecuencia en un estudio de análisis de aguas son:

Tabla IX. **Formas de sólidos en calidad del agua**

Aspecto	Descripción
Sólidos totales	Se define como todo el material que queda después de evaporar el agua a 105 °C.
Sólidos sedimentables	Estos están formados por partículas más densas que el agua, estas se mantienen dispersas dentro del agua debido a la fuerza de arrastre acusado por el movimiento o turbulencia de la corriente.
Sólidos suspendidos	Formados por partícula que se mantienen dispersas en el agua en virtud de su naturaleza coloidal. Estos no sedimentan por gravedad cuando el agua está en reposo debido a que las partículas coloidales poseen carga eléctrica semejante.
Sólidos disueltos	Los sólidos disueltos en aguas naturales (TDS) están constituidos por las sales minerales que el agua disuelve cuando contacta los minerales de la corteza terrestre. En aguas residuales los TDS se asocian a materia orgánica en solución.

Fuente: Sierra Ramírez, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 59.

2.4.5. pH

El pH es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso, también expresa la capacidad amortiguadora de la solución analizada. La escala de medición de pH es simplemente una escala de carácter ácido o básico de un sistema acuso (Sierra, 2011), por convención está definido como:

$$pH = -\log[H^+]$$

[Ecuación 1]

La forma de medición de pH es a través de un potenciómetro, instrumento analítico que consta de un electrodo selectivo para el ion hidrógeno, captura la señal de concentración como una señal eléctrica y la traduce a valores numéricos a una escala de 0 a 14.

2.4.6. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica. “Esta es indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos” (Sierra, 2011, p. 60). En el sistema internacional la unidad de conductividad eléctrica es el micro Siemens por centímetro [$\mu\text{S}/\text{cm}$], equivalente a $10\ 000\ \text{Ohm} \times \text{m}$ (Cardenas, 2005)

2.4.7. Dureza total

“La dureza es una propiedad que refleja la presencia de metales alcalinotérreos en el agua principalmente los iones Ca^{++} y Mg^{++} ” (Tebbut, 1990, p. 23). La dureza del agua resulta de la disolución y lavado de los minerales que componen el suelo y las rocas (Cárdenas, 2005). Con respecto a los resultados de dureza, las aguas se pueden clasificar como:

Tabla X. Dureza del agua

Clasificación	Dureza [$\text{mg CaCO}_3/\text{L}$]
Blandas	0 – 75
Moderadamente duras	75 – 150
Duras	150 – 300
Muy duras	> 300

Fuente: Sierra Ramírez, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 65.

2.4.8. Cloruros

El ion cloruro se encuentra en aguas naturales y residuales, su variación de concentración va de mg/L hasta g/L. El ion ingresa a las aguas de forma natural mediante lavado del suelo que realizan las lluvias, en concentraciones bajas (Cardenas, 2005). Debido al origen, el ion se considera indicador de contaminación antrópica en los estudios de evaluación ambiental. Según "la ley colombiana "la concentración máxima permisible para agua de consumo humano es de 250 mg/L" (Cardenas, 2005, p. 112). El contenido de cloruro en el agua afecta el desarrollo y crecimiento de vegetación, también altas concentraciones contribuyen a la corrosión de tuberías de conducción y demás estructuras que tienen fines industriales.

2.4.9. Sulfatos

El sulfato (SO_4^-) se distribuye en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van de pocos a miles de mg/L. Las aguas residuales del drenado de minas de hierro pueden aportar grandes cantidades de sulfato debido a la oxidación de la pirita (Cárdenas, 2005). Para propósitos de consumo se acepta una concentración máxima de 250 mg/L, concentraciones mayores a esta provocan efectos laxantes y pueden ocasionar irritación gastrointestinal.

2.4.10. Nitratos

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de aguas naturales. La determinación de nitratos en el agua de consumo humano es importante porque cuando estos se encuentran en concentraciones mayores a 10 mg/L como N (45 mg/L como NO_3), pueden causar metahemoglobinemia (Sierra, 2011). Los nitratos y fosfatos constituyen parte de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos o fotosintéticos, por ello su presencia en el agua puede ocasionar eutrofización. Las concentraciones de nitrato en efluentes de aguas residuales pueden variar entre 0 y 20 mg/L (Sierra, 2011).

2.4.11. Nitritos

Los nitritos son indicador de contaminación, es una etapa intermedia de oxidación que normalmente no se presenta en grandes cantidades (Tebbutt, 1990).

2.4.12. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto proviene de la mezcla del agua con el aire ocasionada por el viento y principalmente del oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno depende de la presión atmosférica, temperatura media del cuerpo de agua y su contenido en sales disueltas. La solubilidad del O_2 es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas (Cárdenas, 2005). Por lo general, se acepta una concentración de 5 mg/L para cumplir con el fin anterior y datos menores a 3 mg/L son perjudiciales para la fauna del cuerpo hídrico.

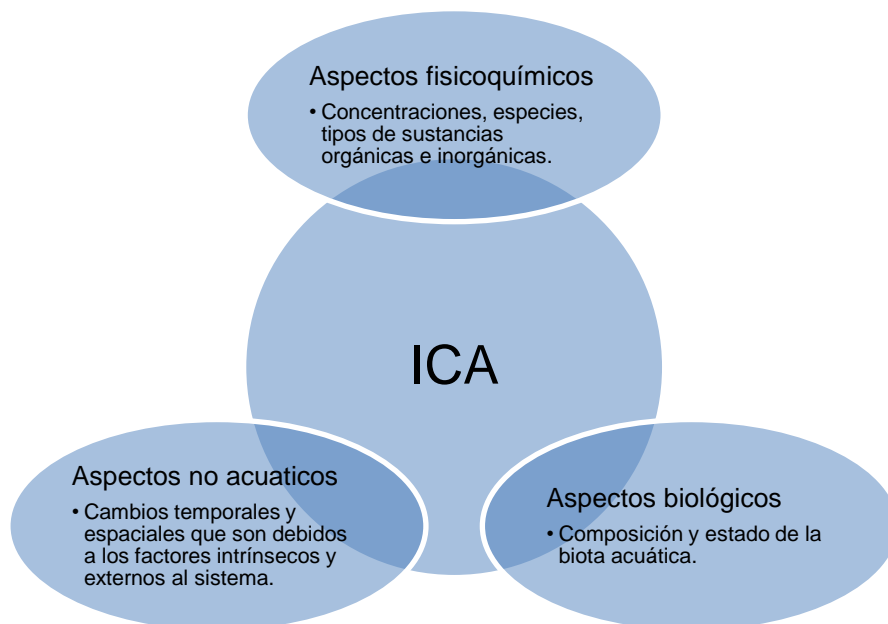
2.4.13. Fosfatos

El fósforo inorgánico en el agua proviene de fuentes como: procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes, de procesos de lavado con detergentes industriales y domésticos, de aguas residuales agrícolas (Sierra, 2011). El fósforo orgánico deriva de la descomposición de la materia orgánica, abundante en aguas residuales domésticas, agroindustriales y algunas industrias alimentarias.

2.5. Índices de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua se define como la expresión matemática que se calcula considerando los siguientes tres aspectos (Sierra, 2011):

Figura 7. Aspectos del índice de calidad del agua



Fuente: Sierra Ramírez, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. p. 149.

Según Sierra “Un índice de calidad de agua es la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o climático con las características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin ignorar la estética de la zona” (2011, p. 150). Cuando se trabaja con índices de calidad del agua se tienen dos alternativas, las cuales se basan en decidir si se utilizarán modelos elaborados por un ente ajeno al investigador o desarrollar los propios índices, para esta investigación se tomó de base estudios previos al actual estudio.

El índice de calidad de agua ICA reduce varios datos de campo y de laboratorio a un simple valor numérico de cero a uno y se clasifica según la calidad del agua en orden ascendente en una de las cinco categorías siguientes: muy malo, malo, regular, aceptable y bueno (IDEAM⁶, 2009).

Tabla XI. **Intervalo de variación del ICA**

Rango	Color	Conclusión	Descripción
0,00 – 0,25	Rojo	Muy malo	Recurso hídrico muerto. Se sobrepasa de la autodepuración del recurso.
0,26 – 0,50	Naranja	Malo	Recurso hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.
0,51 – 0,70	Amarillo	Regular	Recurso hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.
0,71 – 0,90	Verde	Aceptable	Recurso hídrico levemente contaminado. Agua buena calidad
0,91 – 1,00	Azul	Bueno	Recurso hídrico en estado natural. Agua de muy buena calidad.

Fuente: IDEAM. Laboratorio de calidad ambiental. 2009.

Los diferentes índices de contaminación son resultado de las correlaciones que existen entre los diferentes parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, los que se utilizaron en este estudio son los siguientes:

⁶IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Tabla XII. **Índices de contaminación**

Índice	Descripción	Variabes
ICOMI	Índice de contaminación por mineralización	Conductividad, dureza y alcalinidad.
ICOMO	Índice de calidad por materia orgánica	Nitrógeno amoniacal, nitrito, fósforo, oxígeno, DBO, DQO y coliformes totales.
ICOSUS	Índice de calidad por sólidos suspendidos	Concentración de sólidos suspendidos.

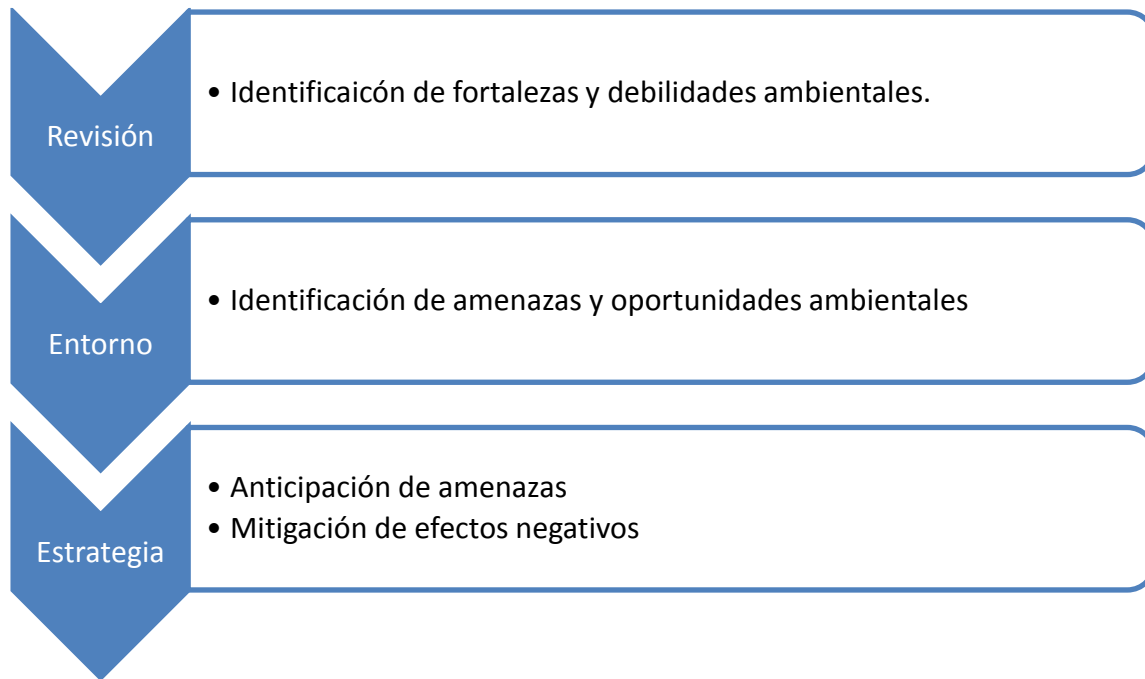
Fuente: Universidad del Cauca. *Estudios en recursos hidrobiológicos continentales*. p. 4.

2.6. **Gestión ambiental**

La gestión ambiental es aquella que busca lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente. Lo anterior hace que la gestión ambiental sea un pilar de la gestión sostenible, siendo los otros: resultados a largo plazo con respecto ambiental y responsabilidad social.

Un Sistema de Gestión Ambiental es empleado para desarrollar e implementar una política ambiental y gestionar los aspectos ambientales. La gestión ambiental tiene cierto paralelismo con la gestión de la calidad (Hunt, Jonhson, 1999). Según Hunt y Johnson la Gestión Ambiental con enfoque correcto sigue el siguiente diagrama:

Figura 8. **Enfoque gestión ambiental**



Fuente: HUNT, Johnson. *Ingeniería de diseño medioambiental. DFE*. p. 100.

La gestión ambiental incluye dentro de ella la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La EIA es un proceso que precisa de la consideración del ambiente y de la participación pública en el proceso de toma de decisiones del desarrollo de proyectos (Kiely, 1999). Las etapas que incluye una evaluación de impacto ambiental son: selección, definición del alcance, preparación de la declaración de impacto ambiental y la revisión.

Dentro de la gestión ambiental también se maneja el término manejo de medio ambiente, este consiste en la formulación de estrategias en las que los recursos de un ecosistema pueden ser utilizados de una manera ecológicamente eficiente y sostenible.

La gestión ambiental posee elementos determinantes que ha surgido de la capacidad colectiva de la sociedad para incidir en la transformación del medio ambiente y de los recursos naturales, lo cual está determinado por factores y procesos institucionales que se desarrollan en cuatro planos:

Tabla XIII. **Planos de gestión ambiental**

Aspecto	Descripción
Aspectos culturales	Evolución del conocimiento científico y su relación con otros tipos de conocimientos y saberes.
Aspectos normativos	Desarrollo de la legislación nacional y local.
Aspectos político-administrativos	Relaciones de poder entre instituciones y las estructuras del gobierno.
Aspectos internacionales	Desarrollo de un orden jurídico global, instituciones multilaterales y mecanismos internacionales de cooperación y financiamiento.

Fuente: SEMARNAT. *La gestión ambiental en México*. p. 63.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

La determinación de la calidad de las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia, ubicado en la zona norte de Bogotá, a través de la caracterización de sus variables fisicoquímicas y cálculo de índices de contaminación, así como, la definición de causas y alternativas de manejo sostenible tuvo como base las siguientes variables:

3.1.1. Variables independientes

Las variables independientes del estudio son las siguientes:

Tabla XIV. **Variables independientes del estudio**

Descripción	Símbolo	Dimensional
Humedad relativa del ambiente	%H	[]
Temperatura del agua	T_w	[°C]
Temperatura del ambiente	T_a	[°C]

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Las variables dependientes del estudio para la determinación de la calidad de las aguas del Humedal Guaymaral a través de la caracterización de sus variables son las siguientes:

Tabla XV. **Variables dependientes del estudio**

Clasificación	Parámetro	Símbolo	Dimensional
Físico	Turbidez	Turbidez	[NTU]
	Sólidos suspendidos totales	Sólidos	[mg/L]
	Conductividad	CE	[μ S/cm]
Químico	pH	pH	[]
	Oxígeno disuelto	O ₂	[mg/L]
	Nitratos/Nitritos	NO _x	[mg/L]
	Amonio	NH ₄	[mg/L]
	Fosfatos	PO ₄	[mg/L]
	Dureza	Dureza	[CaCO ₃ mg/L]
	Alcalinidad	Alc	[mg/L]
	Silicatos	Silicatos	[mg/L]
Microbiológico	Coliformes totales	Col _T	[NMP/100mL]

Fuente: elaboración propia.

Las variables anteriores se denominan dependientes por ser resultados de análisis de laboratorio o mediciones *In situ* por parte de analistas.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se realiza con las siguientes delimitaciones:

- Campo de estudio: Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia
- Proceso: caracterización y planteamiento de alternativas de manejo ambiental.
- Unidad de estudio: calidad del agua

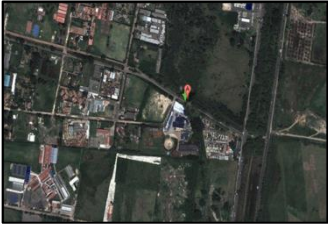
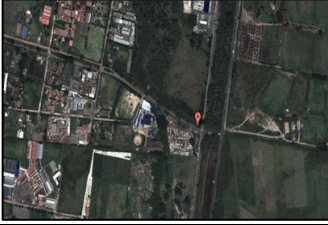

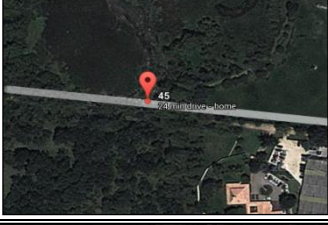

- **Ubicación:** la investigación se desarrolló al hacer un estudio de la calidad del agua del Humedal Guaymaral con el fin de caracterizar las variables fisicoquímicas del agua y proponer alternativas de manejo sostenible. El humedal se ubica al norte de Bogotá, a la altura de la calle 220 con Autopista Norte, pertenece a las localidades uno de Usaquén (Torca) y once de Suba (Guaymaral). La parte del Humedal Guaymaral colinda con el norte y el occidente con el parque industrial Bima, por el sur con el centro recreacional Cafam⁷ y por el oriente con la Autopista Norte o Avenida Paseo de los Libertadores (ver figura 1, marco teórico).

⁷Cafam: Caja de compensación de Colombia.

3.2.1. Puntos de muestreo en el humedal

Los puntos de muestreo se describen a continuación:

Tabla XVI. Puntos de muestreo en el Humedal Guayamaral

Punto	Descripción	Ubicación	Imagen de referencia
1	Drenaje Restaurante Margarita, Caudal de ingreso.	(4° 47' 52.35" N) (74° 02' 27.04" O)	
2	Autopista Norte calle 222 – Canal Torca, Caudal de ingreso.	(4° 47' 50.96"N) (74° 02' 21.75" O)	
3	Mezcla del canal Torca y drenaje restaurante Margarita	(4° 47' 53.83"N) (74° 02' 27.60" O)	
4	punto opcional, Orilla Autopista Norte	(4° 48' 06.60"N) (74° 02' 24.35" O)	
5	Parte trasera del centro comercial Bima, caudal de salida.	(4° 48' 34.83" N) (74° 02' 24.16" O)	

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Puntos de muestreo en Humedal Guaymaral



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapex IDEA 2007.

3.3. Recursos humanos disponibles

Los recursos humanos con que se contó son:

- Tesista: Kelinton Ottoniel Sic Cajbón
Estudiante Ingeniería Ambiental
- Director: Ing. Luis Eduardo Beltrán García
Ingeniero en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental
Universidad Central, Bogotá, Colombia
Número de profesional 25305141043CND
- Asesor: Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Ingeniero Agrónomo
Universidad de San Carlos de Guatemala
Maestro en Hidrología
Universidad de Costa Rica
Maestro en Recursos Hidráulicos, Opción Hidrología.
Universidad de San Carlos de Guatemala
Número de colegiado 2 504
- Asesor: Dra. Ángela María Jaramillo Londoño
Bióloga Marina
Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá
Doctorado en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Bogotá, Colombia
Universidad Politécnica de Valencia, España
Número de Profesional 24581958
- Grupo de trabajo: Estudiantes de Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales
UDCA, Bogotá, Colombia

3.4. Recursos materiales disponibles

El presente trabajo se basó en la caracterización de las variables físicas y químicas de las aguas del Humedal Guaymaral, ubicado en la zona norte de Bogotá, Colombia. El mismo sirvió para determinar las causas que afectan de manera directa o indirecta su calidad, con el fin de plantear alternativas de manejo ambiental en los puntos de estudio, para cumplir con este objetivo se realizaron análisis de laboratorio utilizando instrumentos de medición directa e indirecta, siendo algunos los siguientes:

- Espectrofotómetro
- Potenciómetro
- Termómetro
- Otros

3.5. Técnica cualitativa

El estudio inició con la localización de los puntos de muestreo distribuidos en el Humedal Guaymaral, los puntos fueron seleccionados por ser ingreso y salida de agua del humedal, también se toma de referencia estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) en conjunto con otras instituciones, tales como Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA.), la Academia Colombia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Estudios Urbanos (IEU) de la Universidad Nacional de Colombia, estos estudios se realizaron entre 2009 y 2010. Algunos estudios son: Proyecto Borde Norte de Bogotá - Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca– CAR, en su fase I y fase II.

3.5.1. Muestreo

Se realizó una recolección de muestras para analizar en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Dichas muestras se realizaron en los puntos definidos en la sección 3.2.1, los muestreos se llevaron a cabo en una sola franja horaria (11:00 a 14:00 horas) y el mismo día de la semana.

Figura 10. **Recolección de muestras**



Fuente: puente restaurante Margarita. 2014.

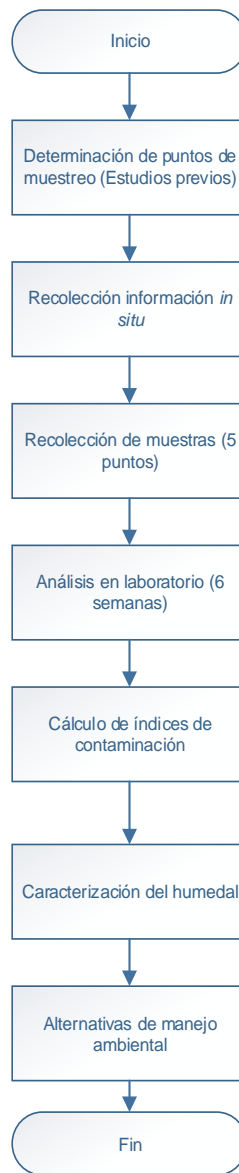
Las diferentes muestras se tomaron con intervalos de una semana por un periodo de seis semanas, las mismas fueron realizadas con el acompañamiento de un grupo de trabajo dirigido por la Dra. Ángela María Jaramillo Londoño.

Para el muestreo se llenaron cuatro recipientes con agua del punto, dichos tenían un contenido promedio de 500 mL.

3.5.2. Diseño general

El diseño de la investigación consiste en:

Figura 11. **Diseño general de investigación**



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de información

Durante las seis semanas se tomaron muestras de los cinco puntos, seleccionados por el record histórico realizado por instituciones como la CAR y universidades del país. Los muestreos se realizaron según las fechas indicadas en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **Cronograma de recolección de muestras**

	Fecha de muestreo	Horario de muestreo	Puntos muestreados	Análisis de laboratorio
Muestreo 1	26 de marzo	11:00 – 14:00	Todos	Todos
Muestreo 2	02 de abril	11:00 – 14:00	Todos	Todos
Muestreo 3	09 de abril	11:00 – 14:00	Todos	Todos
Muestreo 4	23 de abril	11:00 – 14:00	Todos	Todos
Muestreo 5	30 de abril	11:00 – 14:00	Todos	Todos
Muestreo 6	07 de mayo	11:00 – 14:00	Todos	Todos

Fuente: elaboración propia.

Los muestreos se realizaron siguiendo el orden establecido en la tabla XVI.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

Los diferentes análisis que se realizaron fueron registrados en las tablas mostradas en la sección de resultados, dichas tablas se utilizaron para llevar un control de los resultados para los diferentes puntos de estudio que se distribuyeron en el humedal, los métodos de análisis de cada análisis se describen en el anexo 1.

4. RESULTADOS ANÁLISIS CALIDAD DEL AGUA

4.1. Comportamiento de las variables físicas, químicas y parámetro bacteriológico de las aguas del Humedal Guaymaral

La evaluación del comportamiento de los parámetros se hace al dividirlos en físicos, químicos y parámetro bacteriológico, estos se analizan en cinco diferentes puntos distribuidos en la entrada y salida del Humedal Guaymaral.

4.1.1. Resultados análisis físico del agua proveniente del Humedal Guaymaral

Los resultados de los análisis físicos que se realizaron para determinar la calidad del agua proveniente del Humedal Guaymaral se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XVIII. Resultados análisis físicos del agua

Parámetro	Tiempo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Temperatura [°C]	Punto 1	17,3000	16,8000	19,0000	17,7000	17,8000	17,6000
	Punto 2	17,1000	16,6000	16,5000	18,5000	18,0000	18,8000
	Punto 3	16,8000	16,5000	17,2000	17,3000	17,6000	17,8000
	Punto 4	15,6000	15,3000	17,9000	17,1000	16,8000	17,2000
	Punto 5	16,4000	17,4000	17,1000	17,1000	17,0000	17,3000
Turbidez [NTU]	Punto 1	28,0000	39,9000	26,4000	38,8000	45,0000	40,0000
	Punto 2	19,0000	28,5000	18,0000	23,6000	28,0000	26,0000
	Punto 3	25,3000	37,3000	15,3000	23,7000	31,3000	25,8000
	Punto 4	26,5000	18,6000	24,4000	30,2000	36,2000	32,8000
	Punto 5	39,0000	39,6000	31,3000	49,0000	44,3000	45,9000

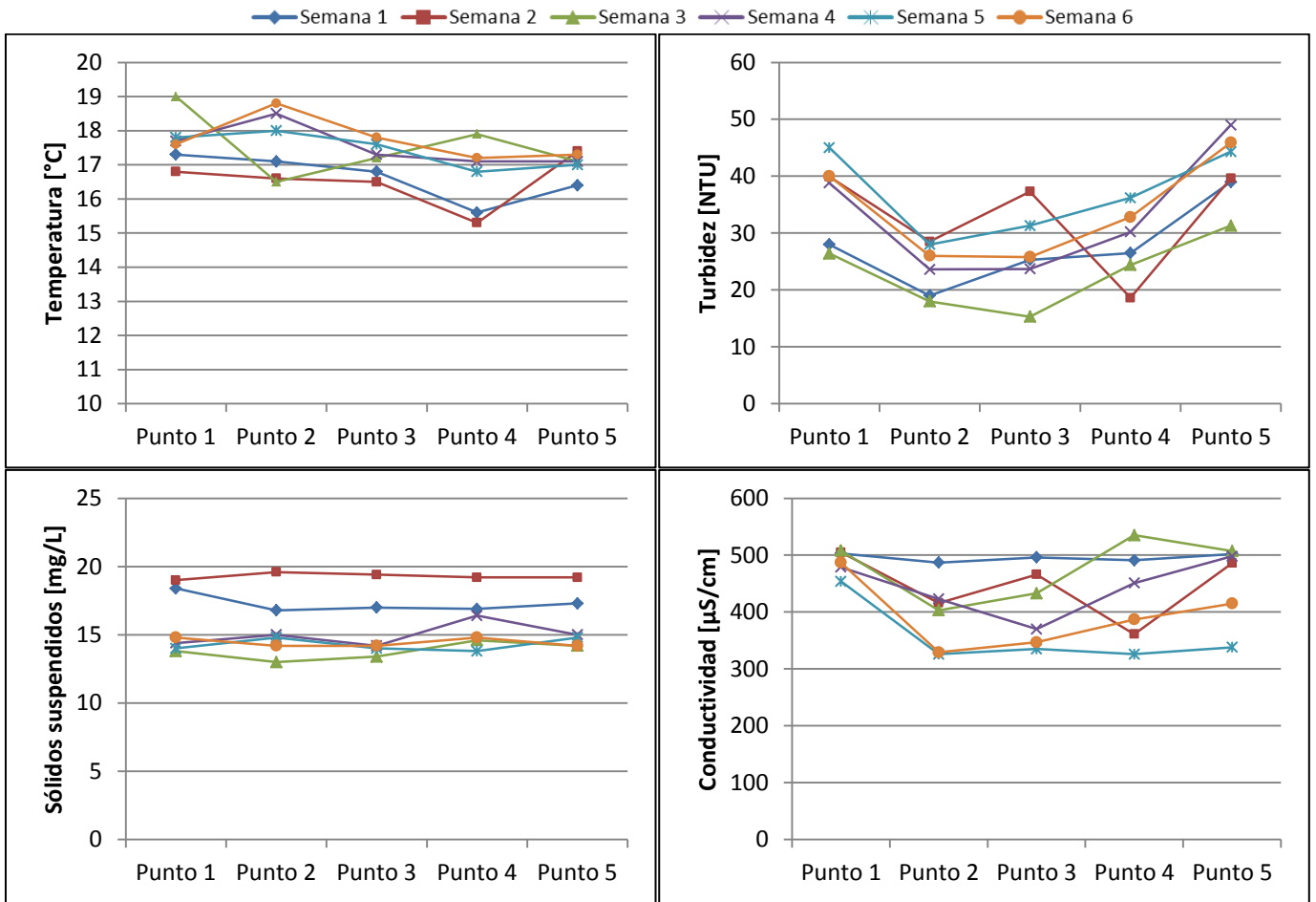
Continuación de la tabla XVIII.

Parámetro	Tiempo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Sólidos suspendidos totales [mg/L]	Punto 1	18,4000	19,0000	13,8000	14,4000	14,0000	14,8000
	Punto 2	16,8000	19,6000	13,0000	15,0000	14,8000	14,2000
	Punto 3	17,0000	19,4000	13,4000	14,2000	14,0000	14,2000
	Punto 4	16,9000	19,2000	14,6000	16,4000	13,8000	14,8000
	Punto 5	17,3000	19,2000	14,2000	15,0000	14,8000	14,2000
Conductividad [μ S/cm]	Punto 1	503,0000	505,0000	508,0000	479,0000	454,0000	487,0000
	Punto 2	487,0000	416,0000	403,0000	423,0000	326,0000	329,0000
	Punto 3	496,0000	466,0000	433,0000	370,0000	335,0000	347,0000
	Punto 4	491,0000	361,0000	535,0000	451,0000	326,0000	387,0000
	Punto 5	502,0000	486,0000	507,0000	498,0000	338,0000	415,0000

Fuente: UDCA. Pruebas Laboratorio Ciencias Ambientales. 2014.

Las gráficas que representan la variación de los parámetros físicos que indican la calidad del agua del Humedal Guaymaral, a través de su recorrido por el humedal se resumen en la figura 12.

Figura 12. **Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros físicos**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2010.

Los modelos matemáticos de los datos presentados en la tabla XVIII se resumen en la siguiente tabla, la cual contiene los coeficientes de correlación de los datos analizados.

Tabla XIX. Modelos matemáticos de parámetros físicos

Parámetro	Semana	Modelo	R2
Temperatura [°C]	1	$y = 0,0786x^2 - 0,8014x + 18,1800$	$R^2 = 0,6487$
	2	$y = 0,2500x^2 - 1,5100x + 18,3000$	$R^2 = 0,3731$
	3	$y = 0,2429x^2 - 1,6971x + 19,9600$	$R^2 = 0,3838$
	4	$y = -0,0429x^2 - 0,0029x + 18,0200$	$R^2 = 0,5041$
	5	$y = -0,0286x^2 - 0,1086x + 18,0800$	$R^2 = 0,7420$
	6	$y = -0,1286x^2 + 0,5514x + 17,5000$	$R^2 = 0,4384$
Turbidez [NTU]	1	$y = 2,7071x^2 - 13,2929x + 37,6600$	$R^2 = 0,9005$
	2	$y = 2,6643x^2 - 17,0357x + 54,5800$	$R^2 = 0,3276$
	3	$y = 3,0286x^2 - 16,5514x + 39,4200$	$R^2 = 0,9279$
	4	$y = 5,3143x^2 - 29,1857x + 62,1600$	$R^2 = 0,9915$
	5	$y = 3,7000x^2 - 21,5200x + 60,8200$	$R^2 = 0,8482$
	6	$y = 4,3857x^2 - 24,4543x + 59,2200$	$R^2 = 0,9795$
Sólidos suspendidos totales [mg/L]	1	$y = 0,2643x^2 - 1,7957x + 19,7600$	$R^2 = 0,8307$
	2	$y = -0,0857x^2 + 0,5143x + 18,6800$	$R^2 = 0,4945$
	3	$y = 0,1143x^2 - 0,4457x + 13,8800$	$R^2 = 0,4743$
	4	$y = -0,0714x^2 + 0,6886x + 13,7200$	$R^2 = 0,2525$
	5	$y = 0,0714x^2 - 0,3686x + 14,6000$	$R^2 = 0,1158$
	6	$y = 0,0429x^2 - 0,3171x + 14,9200$	$R^2 = 0,1429$
Conductividad [µS/cm]	1	$y = 2,8571x^2 - 16,9429x + 515,2000$	$R^2 = 0,6011$
	2	$y = 19,5000x^2 - 126,3000x + 611,2000$	$R^2 = 0,4549$
	3	$y = 16,1429x^2 - 83,8571x + 551,2000$	$R^2 = 0,4224$
	4	$y = 24,2857x^2 - 139,1143x + 594,4000$	$R^2 = 0,8601$
	5	$y = 18,7143x^2 - 135,4857x + 556,4000$	$R^2 = 0,8452$
	6	$y = 28,1429x^2 - 177,4571x + 615,8000$	$R^2 = 0,7598$

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010, 2014.

El comportamiento de los parámetros físicos a través del recorrido en el Humedal Guaymaral fue monitoreado por un periodo de seis semanas, los resultados se presentan en la figura 12 y corresponden a las variables de temperatura, turbidez, sólidos suspendidos y conductividad. Los puntos analizados se denominan puntos críticos, debido a su ubicación dentro del Humedal Guaymaral.

En la figura 12 la primera gráfica muestra los cambios de temperatura para las diferentes semanas analizadas, se logra observar un cambio de tendencia para la semana 3 debido a que en el punto cuatro la temperatura del agua aumenta, caso contrario para el resto de semanas controladas.

La tendencia principal de este parámetro es que al unirse los dos afluentes, punto 1 y punto 2, se inicie una transferencia de calor de los cuerpos hídricos por medio de convección para llegar a un punto de equilibrio, resultado del diferencial de temperatura que traen dos afluentes. Al seguir el trayecto se nota que en medio del humedal la temperatura sigue descendiendo hasta el punto 4.

Los modelos matemáticos que representan las variaciones de temperatura en el recorrido del humedal se presentan en la tabla XIX, dichos modelos son de grado 2 y poseen coeficiente de relación en un rango de 0,37 a 0,74, es decir, que las variaciones de los parámetros es muy alta entre los puntos de muestreo (rango de temperatura de 15 a 19 °C) y por ende el coeficiente de regresión no es cercano a uno.

En los gráficos que modelan los parámetros de turbidez y conductividad es notorio que el comportamiento por medio del recorrido es similar para todas las semanas de estudio, estas variables se encuentran relacionadas con los sólidos suspendidos debido a que el aumento de la concentración de sólidos indica una mayor turbidez del agua y mayor capacidad de transportar corriente eléctrica. Los modelos matemáticos de la turbidez, representados en la tabla XIX, son de grado dos y con coeficientes mayores a 0,84, es decir, la relación entre turbidez y punto de muestreo poseen una relación positiva alta.

En la semana dos se logran detectar un incremento significativo de conductividad y turbidez el punto 3, dicho fenómeno corresponde a la semana donde los sólidos suspendidos presentaron su mayor concentración, esto da la pauta a establecer la relación proporcional que existe entre estas tres variables, esto también es visible en su coeficiente de relación para su modelo matemáticos siendo de 0,33.

Se observa que la tendencia general la turbidez y conductividad tiende a incrementar cuando se unen los flujos del punto 1 y punto 2, esto se puede deber a que al mezclar estos afluentes se une la carga de sólidos de los dos afluentes y por ende el aumento de los valores obtenidos, dicho comportamiento se observa en los siguientes puntos, posible resultados de los materiales que son vertidos al humedal en su transcurso, así como, la disminución de área para un mismo flujo de agua.

Los mayores valores de los resultados obtenidos de sólidos suspendidos se presentaron en la semana dos, el comportamiento de este parámetro en el resto del periodo de control es similar en todas, aunque sus coeficientes de regresión se encuentran en un rango de 0,11 a 0,49 indicando que sus variaciones son altas entre estos resultados, sin embargo, son las semanas uno y dos las que presenta una mayor concentración y por ende un aumento transporte de corriente eléctrica en el cuerpo hídrico, lo cual se nota en las gráficas presentadas.

4.1.2. Resultados análisis químicos del agua del Humedal Guaymaral

Los resultados de los análisis químicos del agua proveniente del Humedal Guaymaral se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XX. Resultados análisis químicos del agua

Parámetro	Tiempo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
pH	Punto 1	6,8000	6,7500	6,8000	6,8000	6,8100	6,9000
	Punto 2	7,2600	7,2800	7,3700	7,1800	7,1900	7,3000
	Punto 3	7,1200	7,1900	7,1300	7,1100	7,1700	7,2000
	Punto 4	7,2000	8,4000	7,3600	7,2800	7,1500	7,0800
	Punto 5	7,0600	7,4900	7,3400	7,0800	7,0700	7,1500
Oxígeno disuelto [mg/L]	Punto 1	0,7600	0,5400	0,3600	0,3600	0,6600	0,8100
	Punto 2	0,7800	0,7600	0,4100	0,4100	0,6100	0,6500
	Punto 3	0,6800	0,8200	0,2800	0,2800	0,4400	0,7500
	Punto 4	3,4800	12,4900	4,4700	4,4700	0,7500	0,8200
	Punto 5	0,4800	0,4000	0,2600	0,2600	1,8800	1,9000
Nitratos [mg/L]	Punto 1	0,0828	0,0420	0,1331	0,1430	0,0902	0,2107
	Punto 2	0,0729	0,0723	0,1286	0,1148	0,0781	0,7629
	Punto 3	0,0771	0,1174	0,1325	0,1222	0,0845	0,5876
	Punto 4	0,1012	0,1699	0,1775	0,1134	0,0824	0,5762
	Punto 5	0,1411	0,1217	0,1558	0,1146	0,0957	0,6430
Nitritos [mg/L]	Punto 1	0,1614	0,1930	0,3120	0,3065	0,2488	0,3697
	Punto 2	0,2302	0,1279	0,1930	0,2321	0,2563	0,9723
	Punto 3	0,1447	0,1521	0,2377	0,2674	0,3120	0,8217
	Punto 4	0,1409	0,4776	0,3288	0,2265	0,3734	1,7832
	Punto 5	0,2358	0,1800	0,5390	0,4757	0,5501	2,3616
Amonio [mg/L]	Punto 1	0,5028	0,5025	0,5028	0,4439	0,5012	0,4743
	Punto 2	0,5034	0,4765	0,4969	0,4183	0,4782	0,4896
	Punto 3	0,4898	0,4988	0,4993	0,4269	0,4973	0,4895
	Punto 4	0,5209	0,4749	0,4946	0,4390	0,5106	0,4856
	Punto 5	0,5013	0,4916	0,5036	0,3634	0,5048	0,4942
Dureza [CaCO ₃ mg/L]	Punto 1	4,4000	3,6000	2,8000	2,1000	3,6000	10,5000
	Punto 2	5,1000	5,0000	5,8000	7,6000	17,8000	14,5000
	Punto 3	11,1000	8,5000	3,6000	6,8000	13,8000	20,4000
	Punto 4	4,0000	3,9000	5,3000	4,5000	11,5000	25,0000
	Punto 5	1,1000	5,2000	5,8000	5,2000	13,1000	15,1000
Alcalinidad [mg/L]	Punto 1	0,3000	0,7000	1,1000	1,5000	1,9000	1,5000
	Punto 2	0,3000	0,8000	0,7000	0,4000	1,4000	10,8000
	Punto 3	0,1000	1,1000	1,4000	0,8000	1,5000	0,7000
	Punto 4	0,2000	0,8000	1,3000	0,6000	1,4000	1,5000
	Punto 5	0,1000	1,0000	0,9000	0,7000	1,6000	1,0000
Fosfatos [mg/L]	Punto 1	0,1847	0,1262	0,1050	0,3374	0,5857	0,2338
	Punto 2	0,1475	0,0811	0,1502	0,2630	0,3878	0,2059
	Punto 3	0,0784	-0,0132	0,1170	0,5074	0,4290	0,1276
	Punto 4	0,0306	-0,0026	0,0811	0,5830	0,4423	0,1409
	Punto 5	0,1262	-0,0172	0,0559	0,6508	0,6508	0,1262

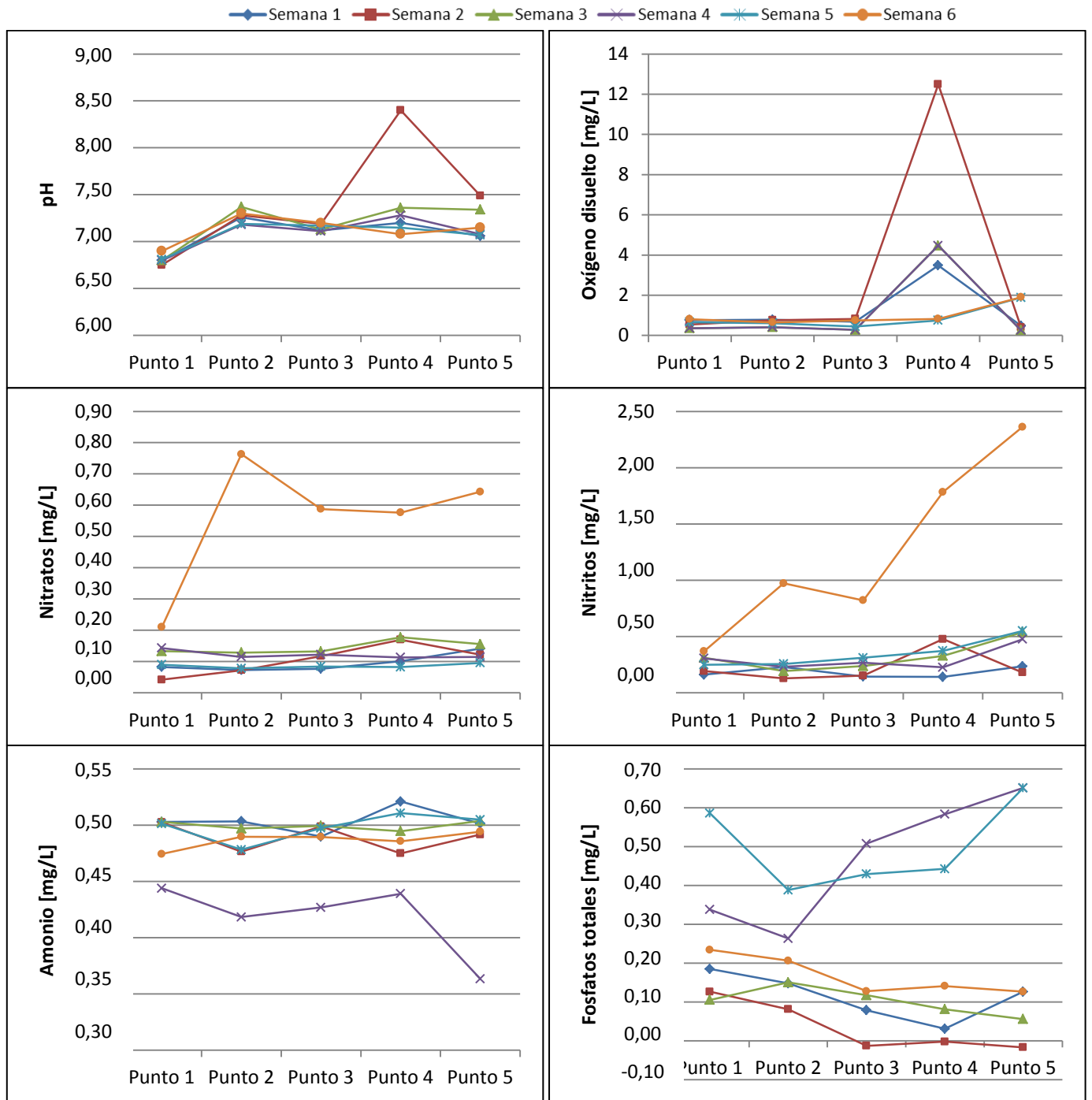
Continuación de la tabla XX.

Parámetro	Tiempo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Silicatos [mg/L]	Punto 1	66,7448	113,0429	80,2097	94,6696	6,7164	78,5515
	Punto 2	42,9324	53,9431	46,3815	33,1819	4,4612	12,0228
	Punto 3	53,0808	76,8269	49,8970	29,3348	8,1756	17,2628
	Punto 4	46,4479	31,6564	34,6412	26,8143	9,1706	12,1554
	Punto 5	55,4687	70,4592	42,4681	34,2830	20,7783	11,9564

Fuente: UDCA. Pruebas Laboratorio Ciencias Ambientales. 2014.

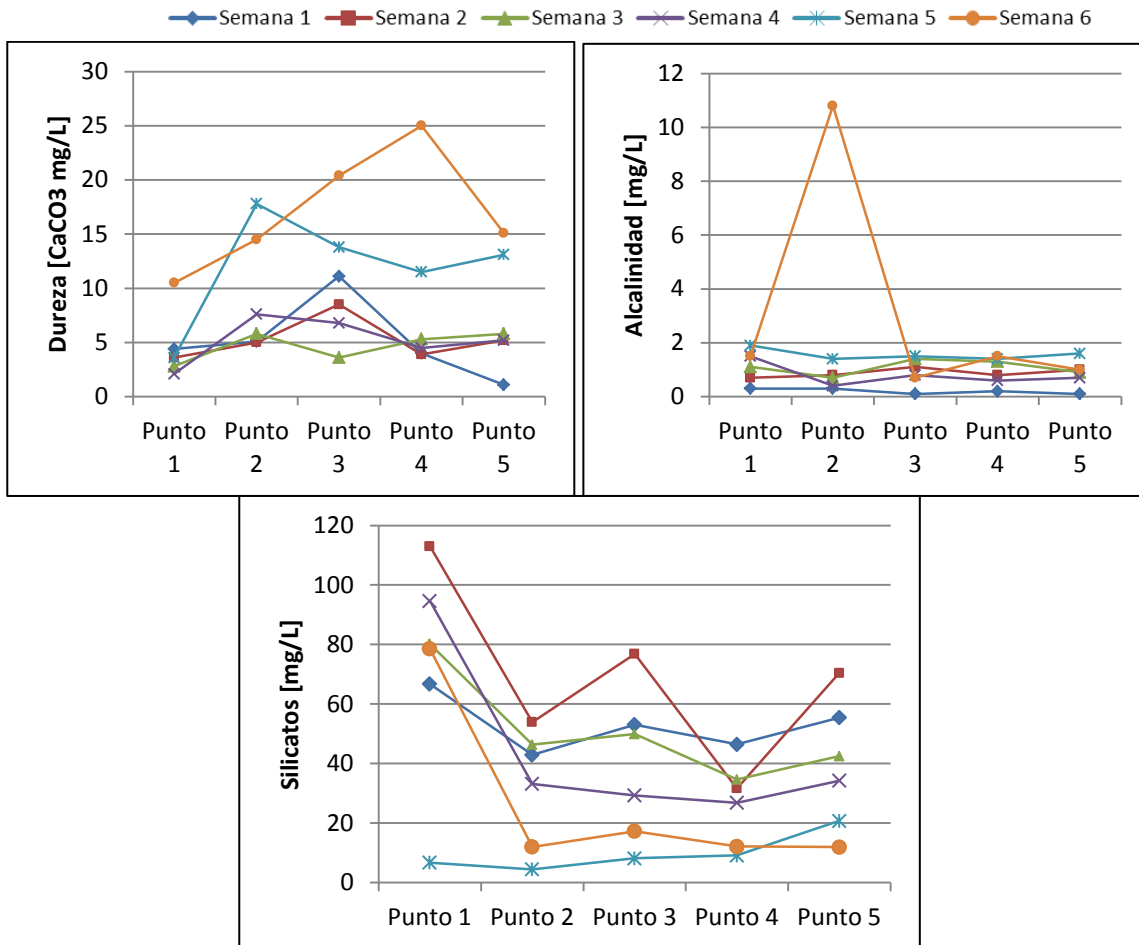
Las gráficas que representan la variación de los parámetros químicos que indican la calidad del agua del Humedal Guaymaral, a través de su recorrido por el humedal, son los siguientes:

Figura 13. Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros químicos (I)



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2010.

Figura 14. **Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetros químicos (II)**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2010.

Los modelos matemáticos de los datos presentados en la tabla XX se resumen en la siguiente tabla, la cual contiene los coeficientes de correlación de los datos analizados.

Tabla XXI. Modelos matemáticos parámetros químicos

Parámetro	Semana	Modelo	R2
pH	1	$y = -0,0700x^2 + 0,4660x + 6,4600$	$R^2 = 0,7074$
	2	$y = -0,1129x^2 + 0,9371x + 5,8520$	$R^2 = 0,5746$
	3	$y = -0,0507x^2 + 0,4113x + 6,5240$	$R^2 = 0,6297$
	4	$y = -0,0657x^2 + 0,4603x + 6,4320$	$R^2 = 0,8076$
	5	$y = -0,0657x^2 + 0,4423x + 6,4740$	$R^2 = 0,8513$
	6	$y = -0,0486x^2 + 0,3194x + 6,7020$	$R^2 = 0,4565$
Oxígeno disuelto [mg/L]	1	$y = -0,2243x^2 + 1,5597x - 0,9760$	$R^2 = 0,1830$
	2	$y = -0,9293x^2 + 6,7207x - 6,9380$	$R^2 = 0,2237$
	3	$y = -0,3000x^2 + 2,1860x - 2,1020$	$R^2 = 0,2001$
	4	$y = -0,3000x^2 + 2,1860x - 2,1020$	$R^2 = 0,2001$
	5	$y = 0,2029x^2 - 0,9591x + 1,5140$	$R^2 = 0,9329$
	6	$y = 0,1750x^2 - 0,8150x + 1,5060$	$R^2 = 0,9233$
Nitratos [mg/L]	1	$y = 0,0085x^2 - 0,0367x + 0,1113$	$R^2 = 0,9994$
	2	$y = -0,0107x^2 + 0,0899x - 0,0473$	$R^2 = 0,8473$
	3	$y = 0,0005x^2 + 0,0066x + 0,1204$	$R^2 = 0,5141$
	4	$y = 0,0031x^2 - 0,0241x + 0,1604$	$R^2 = 0,7543$
	5	$y = 0,0030x^2 - 0,0166x + 0,1027$	$R^2 = 0,8003$
	6	$y = -0,0576x^2 + 0,4135x - 0,0507$	$R^2 = 0,5406$
Nitritos [mg/L]	1	$y = 0,0096x^2 - 0,0514x + 0,2317$	$R^2 = 0,1875$
	2	$y = -0,0117x^2 + 0,1025x + 0,0472$	$R^2 = 0,1518$
	3	$y = 0,0503x^2 - 0,2431x + 0,4977$	$R^2 = 0,9899$
	4	$y = 0,0408x^2 - 0,2114x + 0,4873$	$R^2 = 0,8187$
	5	$y = 0,0246x^2 - 0,0755x + 0,3042$	$R^2 = 0,9872$
	6	$y = 0,0760x^2 + 0,0235x + 0,3552$	$R^2 = 0,9315$
Amonio [mg/L]	1	$y = 0,0003x^2 - 0,0004x + 0,5014$	$R^2 = 0,0464$
	2	$y = 0,0028x^2 - 0,0192x + 0,5155$	$R^2 = 0,2573$
	3	$y = 0,0016x^2 - 0,0097x + 0,5109$	$R^2 = 0,6260$
	4	$y = -0,0069x^2 + 0,0273x + 0,4121$	$R^2 = 0,6309$
	5	$y = 0,0020x^2 - 0,0082x + 0,5008$	$R^2 = 0,3530$
	6	$y = -0,0012x^2 + 0,0109x + 0,4674$	$R^2 = 0,6560$
Dureza [mg CaCO3/L]	1	$y = -1,4500x^2 + 7,9300x - 2,7000$	$R^2 = 0,6586$
	2	$y = -0,5929x^2 + 3,7671x + 0,4600$	$R^2 = 0,3534$
	3	$y = -0,0786x^2 + 1,0214x + 2,4600$	$R^2 = 0,4098$
	4	$y = -0,7929x^2 + 5,0671x - 1,2400$	$R^2 = 0,5302$
	5	$y = -1,6786x^2 + 11,3414x - 3,6000$	$R^2 = 0,5104$
	6	$y = -2,0786x^2 + 14,4414x - 3,3600$	$R^2 = 0,7781$
Alcalinidad [mg/L]	1	$y = 0,0071x^2 - 0,0929x + 0,4000$	$R^2 = 0,6429$
	2	$y = -0,0286x^2 + 0,2314x + 0,5000$	$R^2 = 0,4392$
	3	$y = -0,0571x^2 + 0,3629x + 0,6200$	$R^2 = 0,1516$
	4	$y = 0,1286x^2 - 0,9114x + 2,1200$	$R^2 = 0,6106$
	5	$y = 0,0857x^2 - 0,5743x + 2,3400$	$R^2 = 0,8073$
	6	$y = -0,6214x^2 + 2,6986x + 1,8400$	$R^2 = 0,2147$
Fosfatos [mg/L]	1	$y = 0,0205x^2 - 0,1463x + 0,3270$	$R^2 = 0,7831$
	2	$y = 0,0119x^2 - 0,1082x + 0,2290$	$R^2 = 0,9284$
	3	$y = -0,0102x^2 + 0,0447x + 0,0803$	$R^2 = 0,8344$
	4	$y = 0,0083x^2 + 0,0452x + 0,2420$	$R^2 = 0,8446$
	5	$y = 0,0561x^2 - 0,3179x + 0,8361$	$R^2 = 0,9290$
	6	$y = 0,0084x^2 - 0,0787x + 0,3100$	$R^2 = 0,8959$
Silicatos [mg/L]	1	$y = 3,4918x^2 - 22,8544x + 83,0884$	$R^2 = 0,6099$
	2	$y = 9,1251x^2 - 65,4958x + 165,2974$	$R^2 = 0,6402$
	3	$y = 4,6099x^2 - 36,3818x + 109,1560$	$R^2 = 0,8705$
	4	$y = 9,9457x^2 - 72,3881x + 151,4186$	$R^2 = 0,9126$

Continuación de la tabla XXI.

Parámetro	Semana	Modelo	R2
Silicatos [mg/L]	5	$y = 1,7862x^2 - 7,4337x + 12,5136$	$R^2 = 0,9438$
	6	$y = 8,7366x^2 - 65,7252x + 127,4630$	$R^2 = 0,8298$

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010, 2014.

Los parámetros químicos también fueron monitoreados por un periodo de seis semanas, el comportamiento de estas se resumen en las figuras 13 y 14. En dichas figuras se modela la variación, que presentan en el tiempo, las variables pH, oxígeno disuelto, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos totales, dureza, alcalinidad y silicatos, también los modelos que representa las variables mencionadas se resumen en la tabla XXI con sus respectivos coeficientes de regresión.

La figura 13 muestra los cambios de pH, la tendencia de la gráfica de pH es que el punto uno se encuentra con un pH menor que el punto dos, es decir, son aguas con mayor acidez debido a la concentración de iones hidronio presentes en la muestra analizada. Se nota que cuando las aguas de los puntos uno y dos se unen existe un leve descenso en el valor de pH, esta caída de pH se debe al equilibrio por la neutralización que ejerce el flujo del punto dos con las aguas del punto uno.

En general todos los puntos se ubican en un rango de pH de 6,75 a 7,49, valor normal para aguas residuales domésticas. Para la semana dos en el punto cuatro se nota un incremento de notable de pH este salto indica que el agua se encuentra con una acidez baja, es decir, sus concentraciones de iones hidroxilos son mayores a la concentración de iones hidronios, los coeficientes de regresión de estas variables se encuentran en un rango de 0,45 a 0,85.

En la gráfica que representa la variación de oxígeno disuelto se observa que en los puntos uno, dos, tres y cinco poseen valores menores a 3 mg/L, estos valores son resultado de la materia orgánica en descomposición que hay en esta zona, así como, la baja velocidad del flujo de agua, debido a los valores tan bajos estas aguas no presentan condiciones aptas para que se desarrolle la vida acuática.

El punto cuatro en la gráfica de oxígeno disuelto tiene un comportamiento contrario resto de puntos, presentando un elevado valor de oxígeno disuelto para la semana dos, este valor es resultado de la ubicación del punto, un espejo de agua que se empieza a generar a la orilla del humedal, el cual posee alta vegetación que contribuye a la oxigenación por medio de la fotosíntesis, otro factor que influye sobre este resultado es la disminución de temperatura del cuerpo hídrico para la misma fecha, es decir, estas variables poseen una relación indirectamente proporcional, debido a la variación que se presenta en el punto cuatro los coeficientes de regresión se ubican en un rango de 0,18 a 0,20 para la semana uno y la semana cuatro.

Las gráficas correspondientes a las concentraciones de los parámetros de nitritos y nitratos poseen una comportamiento similar en todo su recorrido para las semanas que van de la primera a la quinta, sin embargo, para la semana seis de monitoreo sus valores superan el promedio que se maneja en la semanas anteriores. Para el caso de los nitritos se obtienen valores mayores a 1 mg/L, caso contrario para las concentraciones de nitratos siendo este último el de mayor peligro para la salud humana, los valores altos de nitritos se pueden originar por la oxidación incompleta del amoníaco o la reducción de nitratos existentes, estos valores también son resultado de la oxidación de materia orgánica de la zona.

El incremento de los valores obtenidos para nitratos puede ser resultado de aumentar el uso de abonos químicos en la zona evaluada, aunque todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango aceptable de 50 mg/L según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los modelos matemáticos para nitritos y nitratos presentan coeficientes de regresión que se ubican en un rango de 0,50 a 0,98, con excepción de las semanas uno y dos de las concentraciones de nitritos (0,18 y 0,15), estos valores presentan la relación que existe entre los datos obtenidos y el recorrido dentro del humedal. El valor bajo del coeficiente se debe al salto de nitritos presentado en el punto cuatro del estudio, dicho incremento se analiza en los siguientes capítulos.

El amonio presenta concentraciones menores a 0,55 mg/L en todo el periodo de monitoreo, aunque para la semana cuatro las concentraciones se ubican por debajo de 0,45 mg/L, este parámetro es usado como indicador de contaminación pero no tienen consecuencias inmediatas en la salud humana. La presencia de amonio es consecuencia de la degradación incompleta de materia orgánica, sus modelos matemáticos poseen coeficientes de regresión menores a 0,60 por lo que su relación es baja en función de los puntos de análisis.

La gráfica que muestra el comportamiento de concentración de fosfatos totales las mayores concentraciones se detectaron para la semana cuatro y cinco, la tendencia de las semanas uno, dos y tres es de disminución a través del recorrido por el humedal, lo contrario sucede para las otras semanas. Los incrementos repentinos de la concentración de fosfatos son resultado de vertimientos directos al cuerpo hídrico, los cuales pueden contener fertilizantes, detergentes, productos de limpieza y residuos orgánicos. Debido a que sus coeficientes de regresión son mayores a 0,80 su relación en el recorrido es alta y no posee variaciones significativas que se alejen del promedio manejado.

La figura 14 presenta los resultados obtenidos para las variables de dureza, alcalinidad y silicatos. Los resultados de dureza clasifican las muestras analizadas como aguas blandas reflejando el grado de mineralización del agua, los aumentos de dureza para la semana cinco y seis son resultado del aumento de concentración de sales de calcio y magnesio principalmente. Los resultados de dureza se ubican por debajo de $25 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$, valores bajos que son efecto de las condiciones que rodean el cuerpo hídrico, es decir, hay gran cantidad de material vegetal en descomposición en la zona, otro factor que también influye es la acidez de la aguas.

La alcalinidad de las aguas también es indicativa del grado de mineralización de las muestras analizadas, sus valores bajos van relacionados con la alcalinidad y conductividad. El salto que se observa para la dureza en la semana dos tiene influencia sobre el coeficiente de regresión, siendo de 0,35 y para el salto de alcalinidad el coeficiente de regresión es de 0,20, estos saltos son analizados en los siguientes capítulos.

Para el caso de los silicatos la tendencia indica que cuando se unen los puntos uno y dos se inicia un proceso de equilibrio, esto proporciona como resultado que el valor de concentración de silicatos se encuentre en un valor intermedio para el punto tres. A través del recorrido por el humedal la concentración de silicatos se mantiene sin incrementos ni descensos significativos.

4.1.3. Resultado análisis bacteriológico del agua del Humedal Guaymaral

Los resultados del análisis bacteriológico del agua proveniente del Humedal Guaymaral se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XXII. Resultado análisis bacteriológico del agua

Parámetro	Tiempo	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Coliformes totales [NMP/100mL]	Punto 1	18,0000	500,0000	120,0000	120,0000	13,0000	110,0000
	Punto 2	128,0000	389,0000	-	100,0000	12,0000	130,0000
	Punto 3	109,0000	482,0000	128,0000	76,0000	6,0000	105,0000
	Punto 4	110,0000	314,0000	-	130,0000	18,0000	130,0000
	Punto 5	124,0000	208,0000	220,0000	110,0000	17,0000	115,0000

Fuente: UDCA. Pruebas Laboratorio Ciencias Ambientales. 2014.

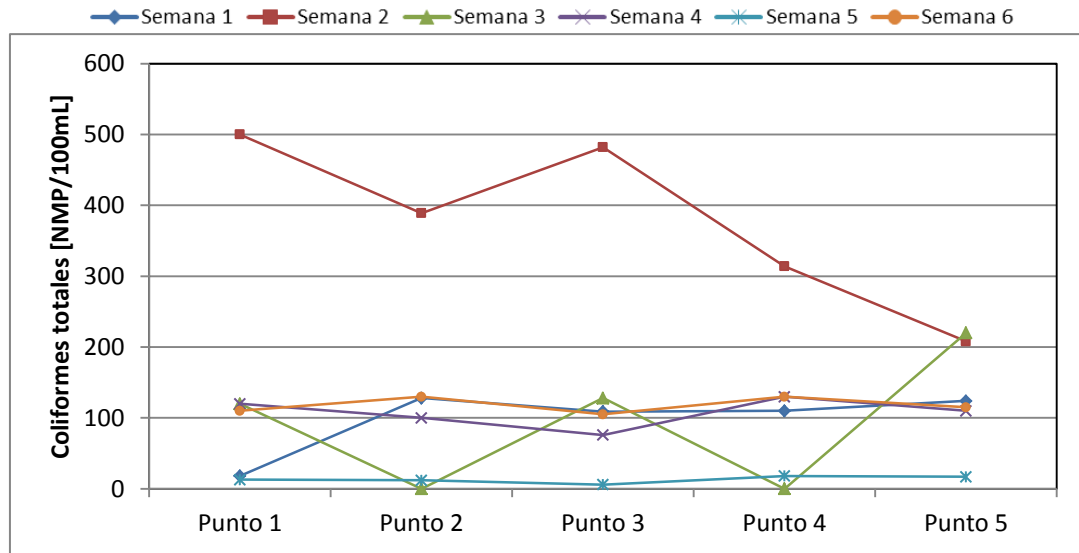
Los modelos matemáticos de los datos presentados en la tabla XXII se resumen en la siguiente tabla, la cual contiene los coeficientes de correlación de los datos analizados.

Tabla XXIII. Modelos matemáticos análisis bacteriológico

Parámetro	Semana	Modelo	R2
Coliformes totales [NMP/100mL]	1	$y = -12,2857x^2 + 93,1143x - 46,4000$	$R^2 = 0,7131$
	2	$y = -17,9286x^2 + 41,6714x + 450,8000$	$R^2 = 0,8149$
	3	$y = 30,2857x^2 - 161,7143x + 245,6000$	$R^2 = 0,4760$
	4	$y = 5,5714x^2 - 32,4286x + 143,2000$	$R^2 = 0,2590$
	5	$y = 1,2857x^2 - 6,3143x + 18,0000$	$R^2 = 0,4707$
	6	$y = -1,4286x^2 + 9,5714x + 105,0000$	$R^2 = 0,0728$

Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Excel 2010, 2014.

Figura 15. **Calidad del agua del Humedal Guaymaral: parámetro bacteriológico**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2010.

La figura 15 presenta el comportamiento de los coliformes totales para la muestras analizadas, los valores se mantienen sin variaciones altas para las semanas uno, tres, cuatro, cinco y seis, lo contrario se observa en la semana dos, donde se nota incrementos significativos para los valores de coliformes totales. Los aumentos de coliformes se deben a que se aumentan los vertimientos de desechos al cuerpo hídrico, son indicador de materia fecal en el cuerpo y por ende aumento de la contaminación antrópica al humedal.

Los modelos matemáticos de los coliformes totales se resumen en la tabla XXIII, dichos modelos son de grado dos y es la semana seis la que presenta el más bajo valor de coeficiente de regresión (0,07), el resto de resultados se ubica en un rango de 0,25 a 0,81.

4.2. Índices de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS para las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia, en cinco puntos distribuidos en la entrada y salida del mismo

Los índices de contaminación para los cinco puntos muestreados en el Humedal Guaymaral son los siguientes.

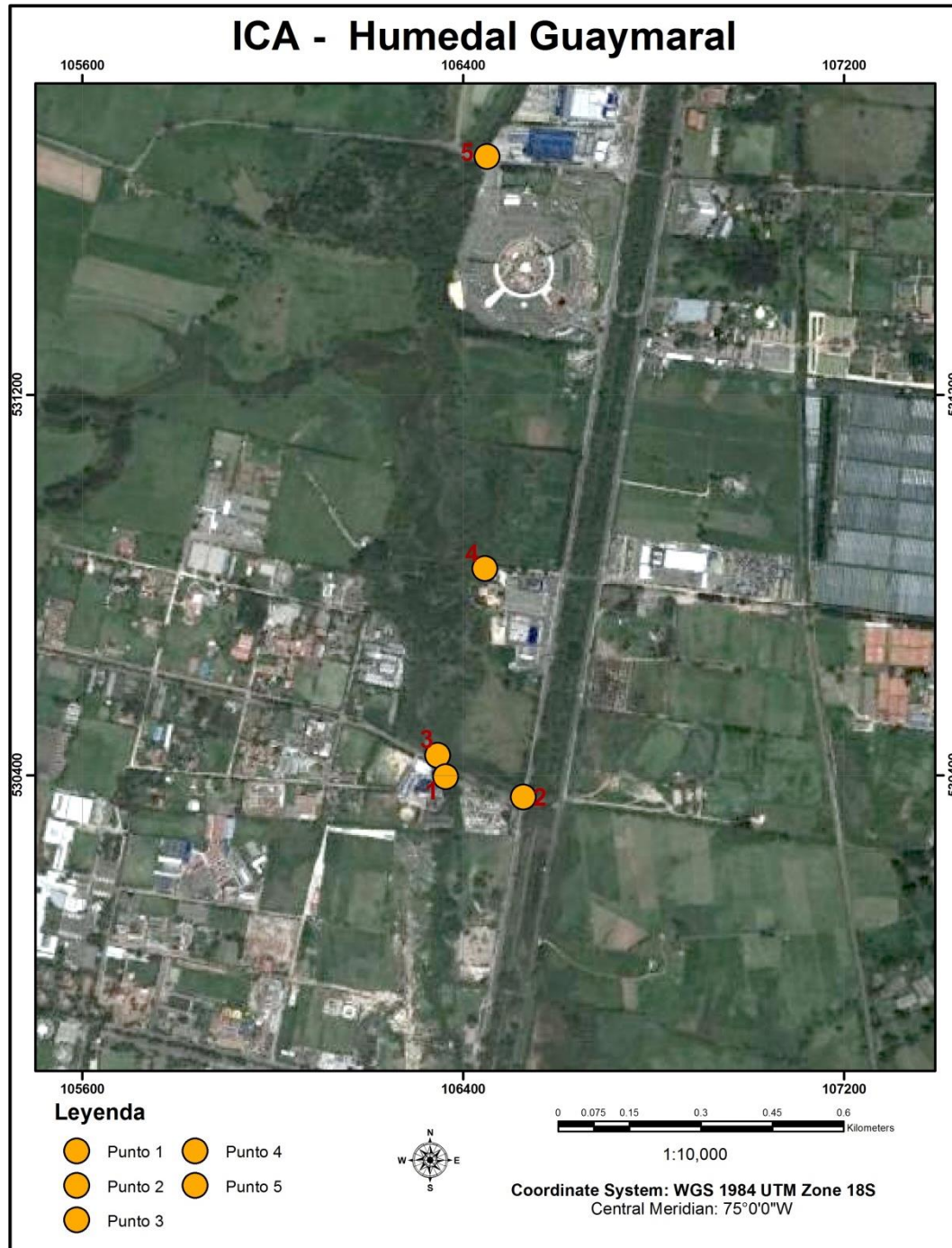
Tabla XXIV. Índices de contaminación promedio

Índice	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
ICOMO	0,3414	0,3869	0,3315	0,3742	0,3305
ICOSUS	0,0272	0,0267	0,0261	0,0279	0,0274

Fuente: UDCA. Pruebas Laboratorio Ciencias Ambientales. 2014.

Debido a que los resultados del índice de ICOSUS se encuentran en un rango de 0,00 a 0,25 su conclusión es que las aguas se encuentran en muy mal estado (según clasificación del IDEAM), para el caso de ICOMI e ICOMO las aguas son clasificadas como recurso hídrico contaminado, rango de 0,26 a 0,50.

Figura 16. Puntos de muestreo en Humedal Guaymaral (ICA)



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapes IDEA 2007.

La tabla XXIV resume los resultados promedio para los diferentes índices de contaminación determinados, en el figura 16 el color naranja de los puntos indica su condición actual, según la nomenclatura definida por el IDEAM.

Los índices calculados (ICOMI e ICOMO) se ubican en la misma clasificación de mal estado, estos valores se encuentran relacionados con todos los parámetros calculados para determinar la calidad del agua. Es decir, que las condiciones actúales de la aguas del Humedal Guaymaral se encuentran dañadas por contaminación por mineralización, materia orgánica y altas concentraciones de sólidos suspendidos. Según los resultados obtenidos para el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), el cuerpo hídrico se encuentra muerto debido a que se sobrepasa de la autodepuración del recurso.

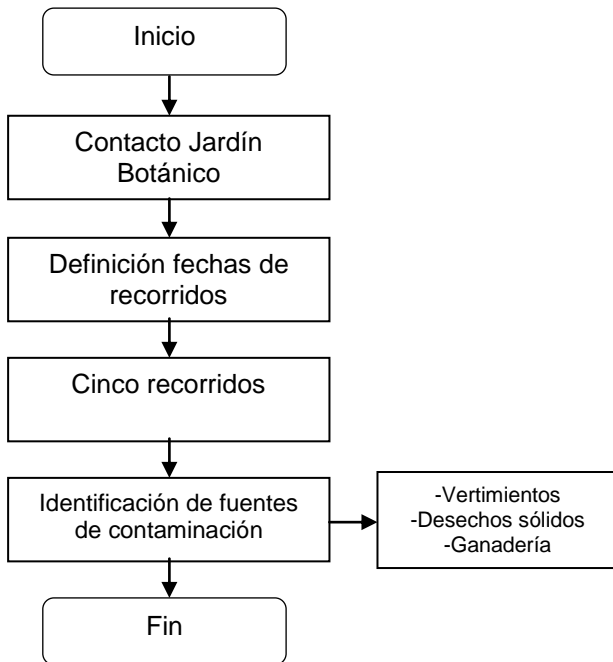
5. DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA DEL TRABAJO EN CAMPO

5.1. Recorridos Humedal Guaymaral

El objetivo cuatro de la presente investigación se fundamenta en la identificación de las causas de los resultados de índices de calidad para las aguas del Humedal Guaymaral, así como, establecer una relación entre los parámetros fisicoquímicos evaluados y las perturbaciones que existen sobre el mismo. Esto se hizo a través de la medición de los 14 parámetros (físicos, químicos y microbiológico), también se hizo el cálculo de diferentes índices de contaminación para los puntos analizados dentro del humedal, por los resultados obtenidos las aguas poseen una clasificación de mala calidad (según la escala del IDEAM). Las condiciones actuales del humedal están influenciadas por diversas actividades que se han generado con los años en su territorio.

Para identificar las perturbaciones que poseen influencia sobre el área de estudio se realizó un reconocimiento del terreno, es decir, se hicieron recorridos en el Humedal Guaymaral con la guía de representantes del Jardín Botánico de Bogotá. La finalidad de los recorridos fue identificar las acciones que ejercen una influencia positiva o negativa al Humedal. Los recorridos tuvieron una duración de dos horas aproximadamente, los puntos que se identificaron fueron georreferenciados con un GPS de marca GARMIN (GPSmap 60CSx), proporcionado por la Facultad de Ingeniería Geográfica y Ambiental de la UDCA.

Figura 17. **Procedimiento para recorridos Humedal Guaymaral**



Fuente: elaboración propia.

Los recorridos se definieron en función de la ruta de ingreso acordada con la Empresa de Acueducto de Bogotá, esta es una institución que formula e implementa programas de recuperación ecológica y participativa dentro de los humedales distritales. El Acueducto de Bogotá como tal debe realizar actividades de educación, control y vigilancia en los humedales, por ello el ingreso es permanente y es el Jardín Botánico de Bogotá el que lidera las actividades de enseñanza dentro de los humedales de Bogotá, dichos recorridos se realizaron fechas indicadas en la siguiente tabla:

Tabla XXV. **Fechas recorridos Humedal Guaymaral**

Recorrido	Fecha	Duración aprox.
1	Junio 19 de 2014	2 horas
2	Junio 24 de 2014	2 horas
3	Julio 04 de 2014	2 horas
4	Julio 24 de 2014	2 horas
5	Julio 29 de 2014	2 horas

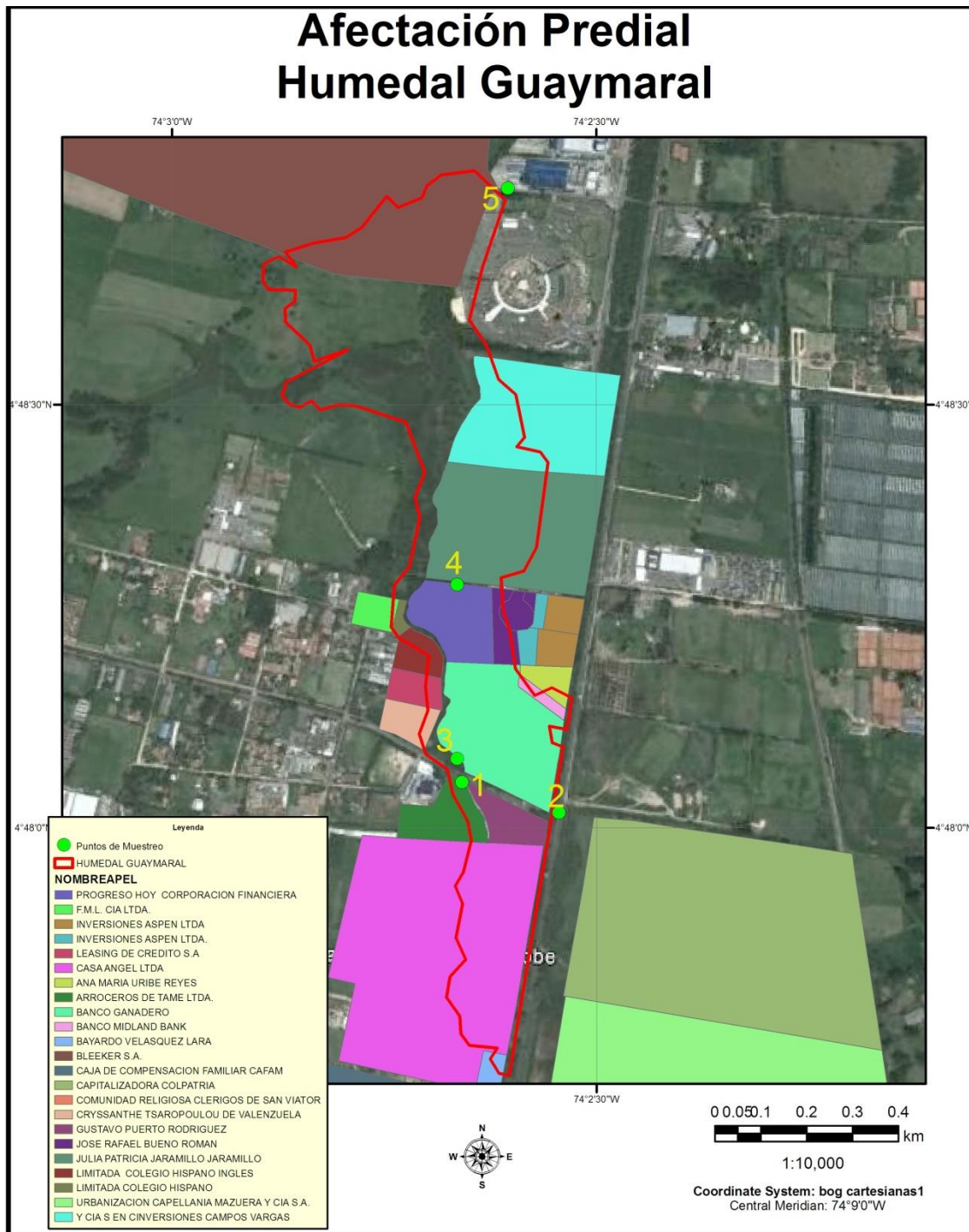
Fuente: elaboración propia.

Durante los recorridos uno de los principales problemas detectados en el análisis de la zona fue la fragmentación de la misma, es decir, el Humedal Guaymaral se encuentra dividido en predios privados lo cual obstaculiza todas las acciones de conservación y estudio. Por lo anterior no fue posible realizar un recorrido completo, es decir, el recorrido realizado corresponde a las zonas que se tiene una autorización previa de parte de los dueños de cada predio para poder ingresar, la afectación predial se observa en la figura 18.

Durante los recorridos se hizo la identificación de aspectos ambientales, los cuales pueden ser definidos como elementos, actividades, productos o servicios de una entidad que puede interactuar con el ambiente (Carretero, 2007). Los aspectos ambientales pueden ser significativos o no, teniendo un impacto sobre el ambiente, el cual puede ser positivo o negativo.

La figura 19 presenta fotografías tomadas dentro del Humedal Guaymaral, en ella se nota algunos problemas detectados, tales como acumulación de residuos sólidos en el trascurso del río y la división o fragmentación que sufre el humedal al ser propiedad de diferentes entidades o personas.

Figura 18. Predios privados dentro del Humedal Guaymaral



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapes IDEA 2007.

En la figura 19.c se presenta la imagen de un espejo de agua artificial que se ubica afuera de los límites del Humedal Guaymaral, aunque no se conocen los motivos reales de su construcción, su influencia sobre el humedal es significativa al no permitir que el flujo de agua llegue de forma directa hacia el humedal, actualmente el Humedal Guaymaral no posee un espejo de agua visible debido a las obstrucciones que poseen los flujos de agua que deberían servir como alimentadores.

Figura 19. **Recorrido Humedal Guaymaral**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

5.2. Perturbaciones detectadas

Los recorridos hechos al Humedal Guaymaral, con acompañamiento de representantes del Jardín Botánico de Bogotá, tuvo como resultado la identificación de las siguientes perturbaciones directas al mismo.

Tabla XXVI. **Perturbaciones detectadas en el Humedal Guaymaral**

Perturbación	Descripción	Cantidad
Vertimiento de aguas residuales	Identificación de vertimiento de aguas residuales	23
Extracción de agua	Extracción de agua por parte de empresas aledañas al Humedal	2
Ganadería	Ganado identificado en territorio del humedal, intermitente pues varían su ubicación	4
Desechos Sólidos Acumulados	Acumulación significativa de desechos sólido en diferentes zonas del humedal	8
Descargas intermitentes sin identificación	Descarga de desechos no continua	2

Fuente: elaboración propia.

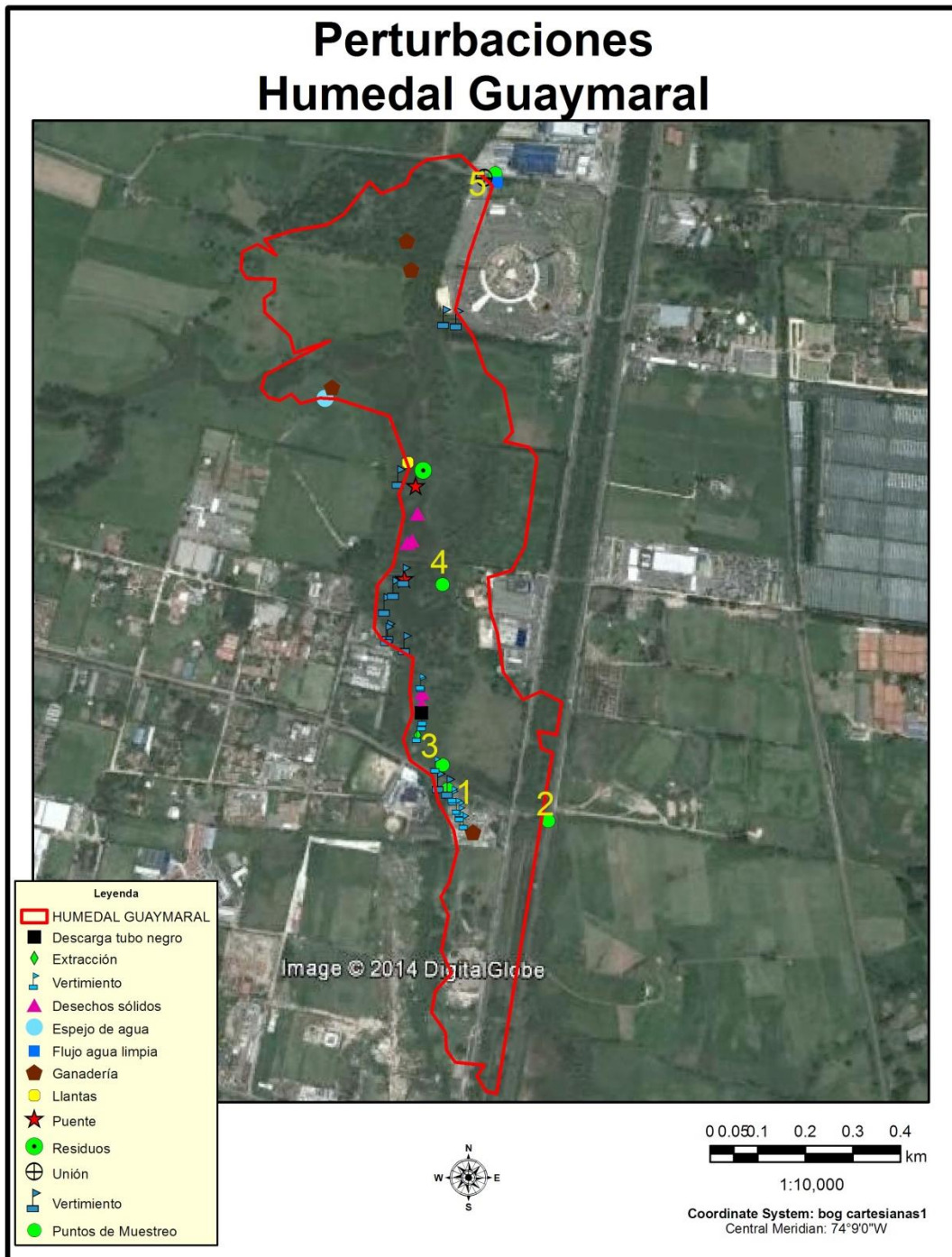
Las perturbaciones identificadas en la tabla XXVI se georreferenciaron para facilitar su ubicación, cabe resaltar que las perturbaciones detalladas en la anterior tabla tiene una influencia negativa para el humedal evaluado, sin embargo, también se logró identificar un flujo de agua proveniente de los cerros orientales cuyo aspecto visual no genera la percepción de contaminación (ver figura 26), lo cual contribuye a mejorar la calidad del agua del humedal. El detalle de las perturbaciones se encontradas se resumen en la siguiente tabla y se ubican en el siguiente mapa.

Tabla XXVII. **Ubicación de perturbaciones detectadas en el Humedal Guaymaral**

No.	Perturbación	Posición	Altitud	Fecha
1	Vertimiento	N4 47.861 W74 02.440	2569 m	7/15/2014 11:31:02 AM
2	Vertimiento	N4 47.864 W74 02.443	2569 m	7/15/2014 11:32:20 AM
3	Vertimiento	N4 47.875 W74 02.448	2570 m	7/15/2014 11:35:21 AM
4	Vertimiento	N4 47.877 W74 02.448	2570 m	7/15/2014 11:36:53 AM
5	Vertimiento	N4 47.911 W74 02.467	2561 m	7/15/2014 11:49:18 AM
6	Extracción	N4 47.945 W74 02.489	2561 m	7/15/2014 11:52:44 AM
7	Vertimiento	N4 47.946 W74 02.489	2560 m	7/15/2014 11:56:49 AM
8	Vertimiento	N4 47.959 W74 02.483	2562 m	7/15/2014 11:59:36 AM
9	Vertimiento	N4 47.965 W74 02.482	2562 m	7/15/2014 12:04:08 PM
10	Descarga tubo negro	N4 47.970 W74 02.484	2564 m	7/15/2014 12:05:45 PM
11	Vertimiento	N4 48.004 W74 02.484	2565 m	7/15/2014 12:09:54 PM
12	Vertimiento	N4 48.005 W74 02.484	2565 m	7/15/2014 12:10:35 PM
13	Vertimiento	N4 47.847 W74 02.435	2570 m	7/15/2014 11:26:24 AM
14	Vertimiento	N4 47.856 W74 02.440	2569 m	7/15/2014 11:29:49 AM
15	Desechos sólidos	N4 47.976 W74 02.484	2573 m	22-JUL-14 1:36:10PM
16	Desechos sólidos	N4 47.980 W74 02.484	2570 m	22-JUL-14 1:36:53PM
17	Desechos sólidos	N4 47.993 W74 02.483	2571 m	22-JUL-14 1:37:42PM
18	Desechos sólidos	N4 48.164 W74 02.500	2571 m	22-JUL-14 1:51:26PM
19	Desechos sólidos	N4 48.197 W74 02.488	2570 m	22-JUL-14 1:53:48PM
20	Desechos sólidos	N4 48.167 W74 02.495	2571 m	22-JUL-14 2:02:55PM
21	Espejo de agua	N4 48.329 W74 02.593	2582 m	22-JUL-14 2:50:58PM
22	Flujo agua limpia	N4 48.575 W74 02.397	2576 m	22-JUL-14 3:27:50PM
23	Ganadería	N4 47.834 W74 02.425	2575 m	22-JUL-14 1:23:02PM
24	Ganadería	N4 48.341 W74 02.585	2579 m	22-JUL-14 2:53:09PM
25	Ganadería	N4 48.475 W74 02.495	2578 m	22-JUL-14 3:08:49PM
26	Ganadería	N4 48.508 W74 02.500	2581 m	22-JUL-14 3:10:46PM
27	Llantas	N4 48.256 W74 02.499	2576 m	22-JUL-14 2:46:01PM
28	Puente	N4 48.123 W74 02.503	2572 m	22-JUL-14 1:45:43PM
29	Puente	N4 48.229 W74 02.491	2571 m	22-JUL-14 2:24:32PM
30	Desechos sólidos	N4 48.246 W74 02.482	2574 m	22-JUL-14 2:26:45PM
31	Unión	N4 48.580 W74 02.413	2578 m	22-JUL-14 3:28:40PM
32	Vertimiento	N4 47.892 W74 02.464	2580 m	22-JUL-14 1:18:35PM
33	Vertimiento	N4 47.887 W74 02.453	2573 m	22-JUL-14 1:19:44PM
34	Vertimiento	N4 48.050 W74 02.502	2572 m	22-JUL-14 1:40:09PM
35	Vertimiento	N4 48.094 W74 02.525	2573 m	22-JUL-14 1:42:47PM
36	Vertimiento	N4 48.113 W74 02.514	2572 m	22-JUL-14 1:44:25PM
37	Vertimiento	N4 48.127 W74 02.503	2567 m	22-JUL-14 1:47:09PM
38	Vertimiento	N4 48.064 W74 02.521	2571 m	24-JUL-14 1:45:55PM
39	Vertimiento	N4 48.240 W74 02.509	2575 m	24-JUL-14 2:03:52PM
40	Vertimiento	N4 48.060 W74 02.522	2581 m	29-JUL-14 10:07:23AM
41	Vertimiento	N4 48.422 W74 02.457	2568 m	29-JUL-14 10:25:07AM
42	Vertimiento	N4 48.420 W74 02.443	2579 m	29-JUL-14 10:54:30AM

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Ubicación de perturbaciones detectadas



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1 y Shapex IDEA 2007.

Para tener un mejor panorama de la distribución de las perturbaciones detectadas se separan por fuente en las siguientes tablas siguientes y mapas posteriores.

Tabla XXVIII. Ubicación de vertimientos de aguas residuales, extracción de agua y descarga desconocida en el Humedal Guaymaral

No.	Perturbación	Posición	Altitud	Fecha
1	Vertimiento	N4 47.861 W74 02.440	2569 m	7/15/2014 11:31:02 AM
2	Vertimiento	N4 47.864 W74 02.443	2569 m	7/15/2014 11:32:20 AM
3	Vertimiento	N4 47.875 W74 02.448	2570 m	7/15/2014 11:35:21 AM
4	Vertimiento	N4 47.877 W74 02.448	2570 m	7/15/2014 11:36:53 AM
5	Vertimiento	N4 47.911 W74 02.467	2561 m	7/15/2014 11:49:18 AM
6	Extracción	N4 47.945 W74 02.489	2561 m	7/15/2014 11:52:44 AM
7	Vertimiento	N4 47.946 W74 02.489	2560 m	7/15/2014 11:56:49 AM
8	Vertimiento	N4 47.959 W74 02.483	2562 m	7/15/2014 11:59:36 AM
9	Vertimiento	N4 47.965 W74 02.482	2562 m	7/15/2014 12:04:08 PM
10	Descarga tubo negro	N4 47.970 W74 02.484	2564 m	7/15/2014 12:05:45 PM
11	Vertimiento	N4 48.004 W74 02.484	2565 m	7/15/2014 12:09:54 PM
12	Vertimiento	N4 48.005 W74 02.484	2565 m	7/15/2014 12:10:35 PM
13	Vertimiento	N4 47.847 W74 02.435	2570 m	7/15/2014 11:26:24 AM
14	Vertimiento	N4 47.856 W74 02.440	2569 m	7/15/2014 11:29:49 AM
15	Vertimiento	N4 47.892 W74 02.464	2580 m	22-JUL-14 1:18:35PM
16	Vertimiento	N4 47.887 W74 02.453	2573 m	22-JUL-14 1:19:44PM
17	Vertimiento	N4 48.050 W74 02.502	2572 m	22-JUL-14 1:40:09PM
18	Vertimiento	N4 48.094 W74 02.525	2573 m	22-JUL-14 1:42:47PM
19	Vertimiento	N4 48.113 W74 02.514	2572 m	22-JUL-14 1:44:25PM
20	Vertimiento	N4 48.127 W74 02.503	2567 m	22-JUL-14 1:47:09PM
21	Vertimiento	N4 48.064 W74 02.521	2571 m	24-JUL-14 1:45:55PM
22	Vertimiento	N4 48.240 W74 02.509	2575 m	24-JUL-14 2:03:52PM
23	Vertimiento	N4 48.060 W74 02.522	2581 m	29-JUL-14 10:07:23AM
24	Vertimiento	N4 48.422 W74 02.457	2568 m	29-JUL-14 10:25:07AM
25	Vertimiento	N4 48.420 W74 02.443	2579 m	29-JUL-14 10:54:30AM

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Ubicación de ganadería detectada en el Humedal Guaymaral**

No.	Perturbación	Posición	Altitud	Fecha
1	Ganadería	N4 47.834 W74 02.425	2575 m	22-JUL-14 1:23:02PM
2	Ganadería	N4 48.341 W74 02.585	2579 m	22-JUL-14 2:53:09PM
3	Ganadería	N4 48.475 W74 02.495	2578 m	22-JUL-14 3:08:49PM
4	Ganadería	N4 48.508 W74 02.500	2581 m	22-JUL-14 3:10:46PM

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Ubicación de acumulación de desechos sólidos detectados en el Humedal Guaymaral**

No.	Perturbación	Posición	Altitud	Fecha
1	Desechos sólidos	N4 47.976 W74 02.484	2573 m	22-JUL-14 1:36:10PM
2	Desechos sólidos	N4 47.980 W74 02.484	2570 m	22-JUL-14 1:36:53PM
3	Desechos sólidos	N4 47.993 W74 02.483	2571 m	22-JUL-14 1:37:42PM
4	Desechos sólidos	N4 48.164 W74 02.500	2571 m	22-JUL-14 1:51:26PM
5	Desechos sólidos	N4 48.197 W74 02.488	2570 m	22-JUL-14 1:53:48PM
6	Desechos sólidos	N4 48.167 W74 02.495	2571 m	22-JUL-14 2:02:55PM
7	Llantas	N4 48.256 W74 02.499	2576 m	22-JUL-14 2:46:01PM
8	Desechos sólidos	N4 48.246 W74 02.482	2574 m	22-JUL-14 2:26:45PM

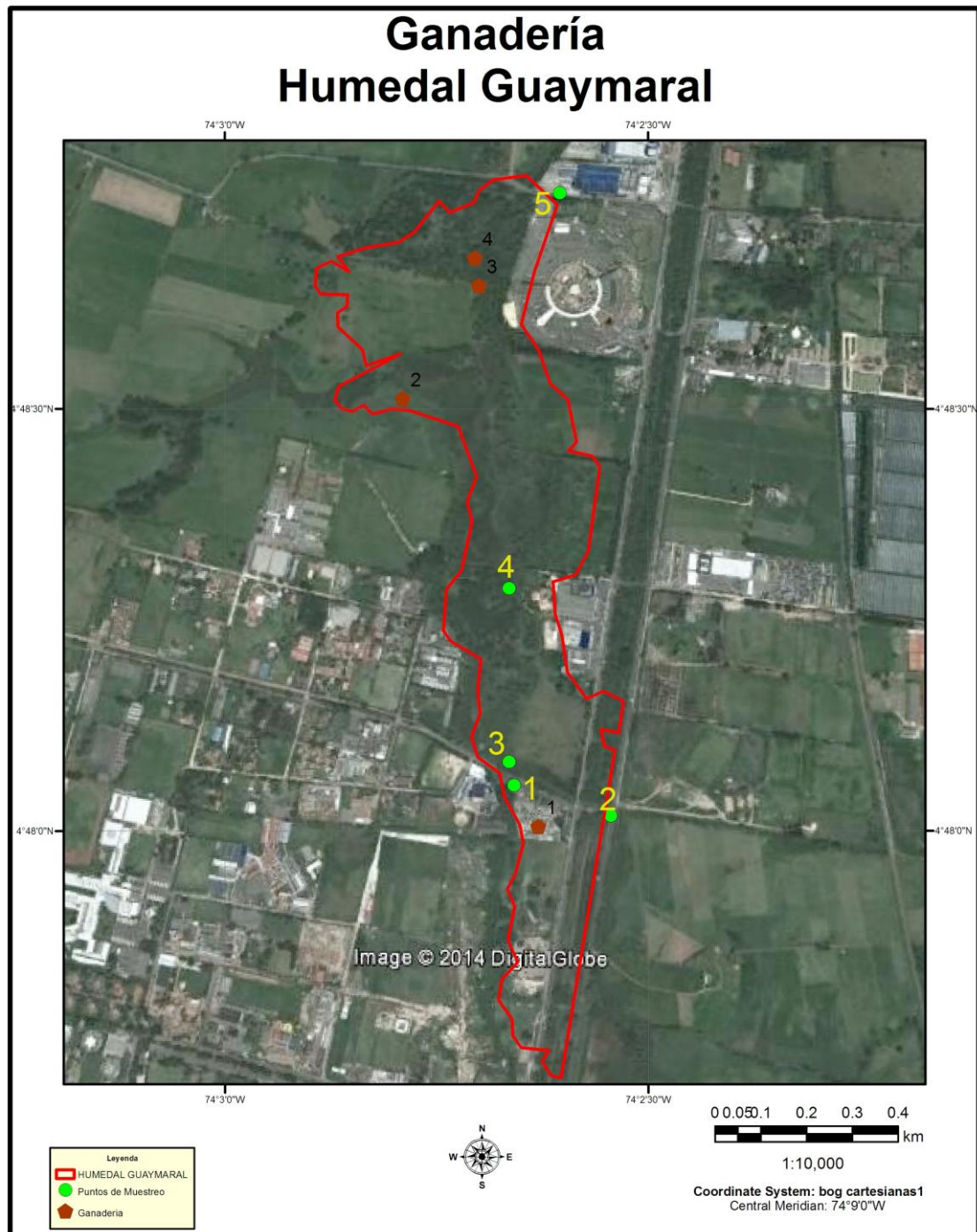
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Ubicación de perturbaciones varias detectadas en el Humedal Guaymaral**

No.	Perturbación	Posición	Altitud	Fecha
1	Espejo de agua	N4 48.329 W74 02.593	2582 m	22-JUL-14 2:50:58PM
2	Flujo agua limpia	N4 48.575 W74 02.397	2576 m	22-JUL-14 3:27:50PM
3	Puente	N4 48.123 W74 02.503	2572 m	22-JUL-14 1:45:43PM
4	Puente	N4 48.229 W74 02.491	2571 m	22-JUL-14 2:24:32PM
5	Unión	N4 48.580 W74 02.413	2578 m	22-JUL-14 3:28:40PM

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Ubicación ganadería detectada



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1, Shapes IDEA 2007 y tabla XXIX.

Figura 22. Ubicación vertimientos detectados



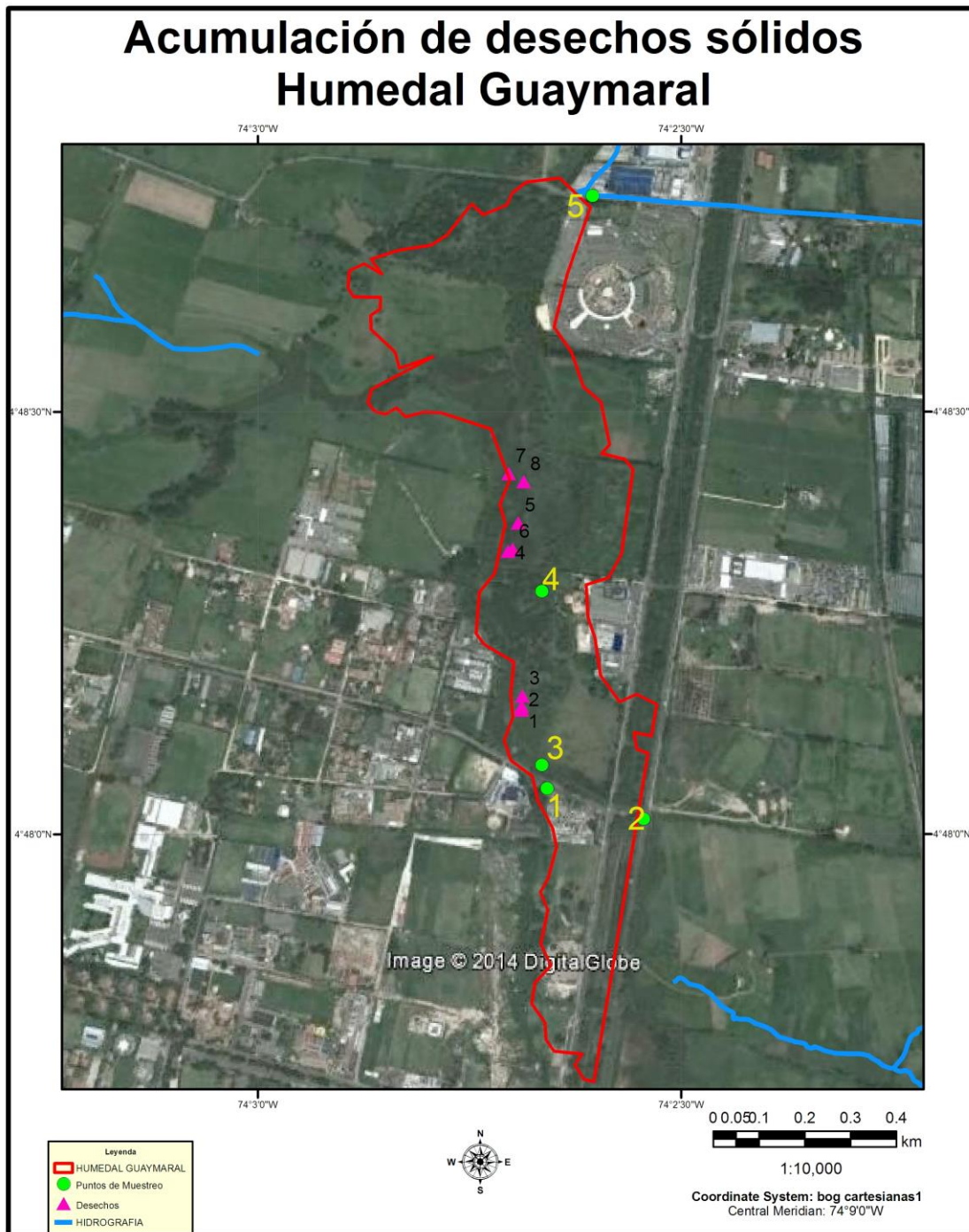
Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1, Shapes IDEA 2007 y tabla XXVIII.

Figura 23. Continuación ubicación vertimientos



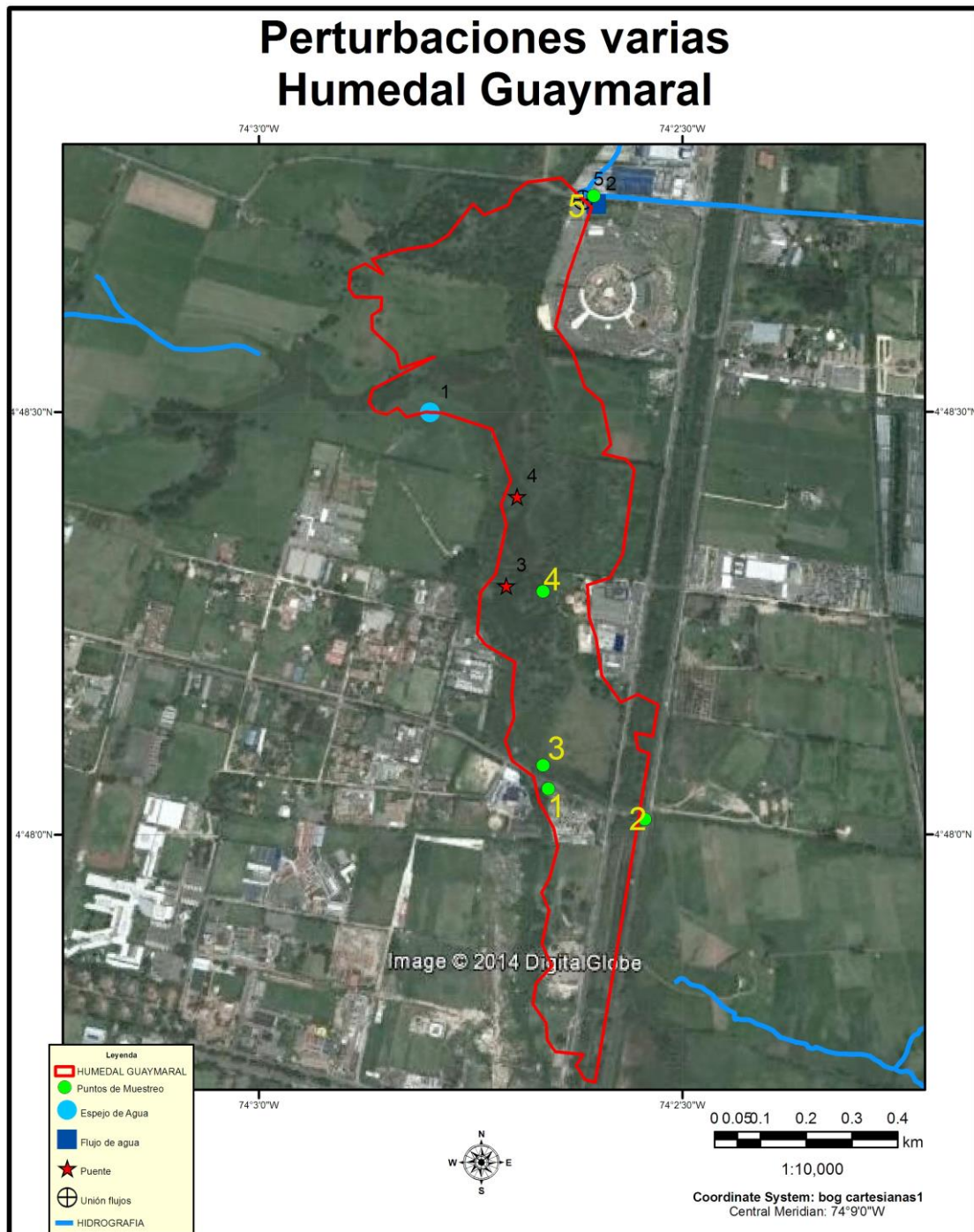
Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1, Shapes IDEA 2007 y tabla XXVIII.

Figura 24. Ubicación acumulación de desechos sólidos



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1, Shapes IDEA 2007 y tabla XXX.

Figura 25. Ubicación perturbaciones varias



Fuente: elaboración propia, con programa ArcMap 10.2.1, Shapes IDEA 2007 y tabla XXXI.

Dentro de las perturbaciones que se localizaron se encuentra el flujo de agua proveniente de la Quebrada Floresta (cerros Orientales), esta se mezcla con el flujo que sale del humedal, la figura 26 se observa la diferencia que existe entre el flujo que sale de los límites del humedal y el agua proveniente de los cerros orientales.

Figura 26. **Unión de agua residual con agua cerros orientales**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

Otras de las acciones detectadas que afectan de forma directa al Humedal Guaymaral son los vertimientos provenientes de instituciones aledañas al cuerpo de agua, ejemplo de ellas son las siguientes.

Figura 27. **Fuentes puntuales de contaminación (vertimientos)**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

Otro aspecto que afecta las condiciones del humedal es la alta acumulación de desechos sólidos dentro de sus límites, en la figura 28 se observan fotografías de llantas enterradas en la zona y botellas que se acumulan en la orillas del flujo de agua, esto afecta al influir en la reducción del caudal del agua. También se detecta que existen vertimientos intermitentes de material desconocido a través de un tubo negro provenientes de una empresa privada que se ubica en la orilla de los límites del humedal (figura 28.d).

Figura 28. **Acumulación de desechos sólidos**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

La figura 29 presenta como la ganadería se practica dentro de los límites del Humedal Guaymaral, contribuyendo a la compactación de los suelos (variable que no fue medida) y deterioro de la flora del humedal.

Figura 29. **Ganadería detectada en límites del humedal**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

En los recorridos realizados se observó alta proliferación de retamo liso y espinoso, esta es una especie invasora en el humedal que se ha expandido en la mayoría del territorio.

Figura 30. **Proliferación de retamo liso y espinoso**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

En el trayecto del río que atraviesa el humedal se encontró zona con proliferación de “Buchon de agua”, se observó que crecen con mayor concentración en las partes que se ubican después de un vertimiento directo.

Figura 31. **Proliferación de Buchon de agua en varios sitios del humedal**



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

Otros problemas que presenta el Humedal Guaymaral son los siguientes:

- Invasión de la ronda: el Humedal Guaymaral no posee una limitación clara de las zonas de ronda, zona de manejo y preservación ambiental, lo cual genera problemas de apropiación privada o de invasión de las áreas para desarrollar proyectos ajenos a la conservación, protección y recuperación.

La delimitación actual del humedal no satisface las exigencias técnicas asociadas a las necesidades de los ecosistemas de los humedales, es decir, los mojones que señalan los linderos se encuentran en zonas donde existen espejos de agua o fuera de los límites actuales.

- Impacto del tráfico: la presencia de la Autopista Norte con alto flujo vehicular, genera impactos con contaminación auditiva sobre el humedal, esto afecta la fauna que es sensible a los sonidos fuertes ahuyentándolos de su hábitat natural.

6. CARACTERIZACIÓN DE PERTURBACIONES EN EL HUMEDAL GUAYMARAL

6.1. Caracterización

El Humedal Guaymaral afronta actualmente una serie de problemas relacionados con: la fragmentación irreversible a la que fue sometido, por lo cual se disminuyó el tamaño del cuerpo de agua y su profundidad. Adicionalmente, gran parte del fragmento del Humedal Guaymaral (figura 18) fue rellenado o desecado por los procesos urbanísticos que se adelantaron en terrenos cercanos a la Autopista Norte.

La sedimentación proveniente de la amplia cuenca de drenaje con que cuenta y las áreas abiertas adyacentes al humedal, con poca cobertura vegetal hacen que el humedal esté en un proceso activo de colmatación, que continúa reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua. Los aportes de agua a los humedales Torca y Guaymaral se han reducido considerablemente en los últimos años, debido a las actividades agrícolas que se desarrollan en su área de influencia, existe un importante aporte de aguas residuales del Canal Torca, afluente principal del Humedal Torca (PMA, Acueducto de Bogotá, 2007).

Las perturbaciones que afectan al Humedal Guaymaral ejercen influencia directa sobre los resultados que presentan los análisis de laboratorio para los 14 parámetros analizados y por ende sobre los resultados de los diferentes índices de contaminación calculados.

El monitoreo de los parámetros fisicoquímicos se hizo por seis semanas, cuando se observó los resultados obtenidos se detectó que la tendencia de algunos de los parámetros en puntos y semanas específicas se desvió del resto de los puntos, esto como resultado de las perturbaciones que ejercen influencia sobre el humedal (ver capítulo 5). Debido a que se identificaron varias actividades negativas sobre el humedal se hace un análisis de relación de resultados de laboratorio y perturbaciones por punto estudiado, para contextualizar la ubicación de cada punto se puede ver la figura 9. Puntos de muestreo.

6.1.1. Punto 1. restaurante Margarita (ver figura 9)

Los resultados fisicoquímicos obtenidos en el punto uno se ven influenciados por las perturbaciones detectadas en los recorridos realizados en la zona de estudio, sobre este punto fueron detectados siete vertimientos de aguas residuales, ganadería y extracción de agua del río. Los vertimientos son provenientes de casas que se ubican a la orilla del flujo de agua, así como, del Restaurante Margarita, en general en la zona de Guaymaral no existe sistema de alcantarillado por lo que todos los residuos de las zonas aledañas al humedal son vertidas directamente o hacen uso de pozos sépticos (los cuales no han sido monitoreados ni identificados, también se desconoce su estado actual para determinar si aún son efectivos para su propósito).

Al verificar la tendencia de todas las variables evaluadas, se observa que es la dureza la que posee un cambio drástico para la semana seis, pues este punto maneja un rango de dureza de 2,10 a 4,40 CaCO₃ mg/L y para la semana 6 posee un valor 10,50 CaCO₃ mg/L excediendo un 57,14 % el promedio de este punto.

Los incrementos de las concentraciones de calcio y magnesio en aguas superficiales son provenientes de la degradación de rocas por contacto entre estas y las aguas del río. El transporte de los iones de calcio y magnesio se ve sumamente afectado por actividades humanas que aceleran la degradación de las rocas, también existe influencia la acidez de las aguas, pues a mayor acidez su poder de corrosión sobre las rocas es mayor.

6.1.2. Punto 2. Autopista Norte calle 222 –Canal Torca (ver figura 9)

En el punto dos del estudio se ubica en el ingreso de los límites del Humedal Guaymaral, punto de conexión del canal Torca y Guaymaral, es decir, que la calidad de estas aguas se ven influenciadas por factores externos al humedal de estudio. Los cambios más notables en este punto son el cambio de alcalinidad presentado en la semana seis, sobrepasando en un 77,78 % el promedio que posee este punto, la dureza también presenta un aumento del 47,75 %. Los incrementos de dureza se deben a que las concentraciones de calcio y magnesio incrementan en el cuerpo hídrico, estas provenientes de la degradación de las rocas que tienen contacto con el cuerpo hídrico, esto se refleja en la alcalinidad indicando su alto porcentaje de iones calcio y magnesio.

6.1.3. Punto 3. unión punto uno y dos (ver figura 9)

El punto 3 es la unión de los puntos uno y dos, este punto se escogió para determinar si existe alguna influencia en la unión de estos puntos respecto al comportamiento de las propiedades fisicoquímicas. Los cambios de mayor significancia en este punto fue el aumento de los valores de turbidez en un 29,09 %.

Lo anterior es consecuencia de los vertimientos que se ubican después del punto uno, los cuales llevan una alta concentración de sólidos totales suspendidos, generando así este cambio notable en la tendencia del resto de los puntos analizados, el resto de parámetros analizados se mantienen en sus promedios y tendencia de los demás puntos.

6.1.4. Punto 4. orilla autopista norte (ver figura 9)

El punto cuatro corresponde a un espejo de agua que se ha generado a las orillas de la autopista norte, este espejo de agua se ubica en la zona inundable del humedal (según figura 5. Zonificación de suelos). Los cambios de mayor relevancia en esta zona son un aumento de oxígeno disuelto del 64,67 % por arriba del promedio, también se observa un aumento de pH correspondiente al 11,77 %.

Este espejo de agua posee alto contenido de vegetación la cual incrementó significativamente durante el periodo de estudio, esto tiene influencia sobre los aumentos de oxígeno disuelto, por ser un espejo de agua que se ha generado desde inicios de año no se encontraron vertimientos directos al humedal, sin embargo, alrededor se encuentra acumulación de residuos sólidos.

6.1.5. Punto 5. centro comercial BIMA (ver figura 9)

El punto cinco se ubica en la salida de los límites del Humedal Guaymaral, por esta razón la mayoría de perturbaciones detectadas en el recorrido tienen influencia sobre los resultados de este punto.

Uno de los parámetros con mayor aumento para la semana seis de monitoreo fueron las concentraciones de nitritos y nitratos, superando el promedio en un 69,36 % y 67,03 % respectivamente, este incremento también se observa en los resultados de fosfatos totales (59,21 %). Los incrementos de estos parámetros son resultado de los vertimientos directos de aguas residuales que se encontraron en el recorrido del Humedal Guaymaral.

Los porcentajes altos de fosfatos son notables por la espuma que se observa en el recorrido del río (ver figura 19.d), estos provenientes de detergentes que se usan en comercios y casas que se encuentran cerca y son vertidos de forma directa al humedal. Esta zona también se encuentra afectada por desechos sólidos, siendo cinco los de mayor acumulación en la zona, también fue detectados vertimientos intermitentes de los cuales se desconoce la composición de los mismos.

Uno de los aspectos que llama la atención en este punto, es que el Humedal Guaymaral posee en su salida un ingreso de agua proveniente de los cerros orientales, dicha agua posee un aspecto que indica una mejor calidad del agua (ver figura 26). A pesar de que este flujo se mezcla a la salida del humedal esto no reduce la carga de contaminantes que el agua lleva desde que ingresa al humedal.

6.1.6. Variación de las tendencias

Las tendencias generales de los parámetros fisicoquímicos se mantienen en el recorrido del Humedal Guaymaral, sin embargo, son los parámetros nitrato, nitritos y fosfatos los que poseen aumentos notables en sus gráficas para semanas específicas del estudio, es decir, que durante este periodo la cantidad de aguas residuales incrementó en los vertimientos detectados.

La alta carga de contaminación que existe sobre el humedal hace que la autodepuración de su cuerpo hídrico no sea posible, por lo mismo no hay diferencia de los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua cuando ingresa al humedal y cuando estas aguas salen de los límites de Guaymaral, en algunos casos como los nitratos, nitritos y fosfatos las concentración incrementan cuando el agua del humedal sale de sus límites ya establecidos.

El Humedal Guaymaral es afectado por eutrofización, manifestado en la alcalinidad del agua, con pH típicos cercanos a 7 y valores de DBO y DQO altos, característicos de medios anóxicos. Prueba de ello es el valor aportado en la caracterización de oxígeno disuelto con promedio de 4,41 mg/l para el punto 4 analizado. La saturación de materia orgánica ligada al proceso anterior tiene un efecto en las franjas litorales, en donde los sedimentos empiezan a asentarse siendo fijado el fósforo allí, generando nuevos suelos (PMA, Acueducto de Bogotá, 2007).

Algunas alteraciones que presentaron las tendencias presentadas en las gráficas correspondientes a cada variable analizada (capítulo 4), pueden ser resultado de las condiciones climáticas de la zona para las fechas en las que se realizaron los muestreos, sin embargo, debido a que el periodo de monitoreo fue de seis semanas no se puede relacionar estas variaciones con las diferentes condiciones pues el tiempo no es significativo para este tipo de análisis.

7. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL

7.1. Alternativas de manejo sostenible para las condiciones actuales de las aguas del Humedal Guaymaral, Bogotá, Colombia

Desde el punto de vista de la conservación, el principal valor del Humedal Guaymaral radica en que es uno de los pocos humedales de Bogotá Distrito Capital, que todavía alberga los hábitats de algunas de las especies que están en amenaza de extinción, por ejemplo *Gallinula melanops bogotensis* (Tingua de pico verde) y *Gallinula chloropus* (Tingua de pico rojo), *Fulica americana columbiana* (Tingua de pico amarillo), *Agelaius icterocephalus bogotensis* (monjita). Por esto el Humedal Guaymaral es usado para estudios de autoecología *in situ*, de estas especies. Esta posibilidad única, permitiría tener información de cómo reconstruir los hábitats en otros humedales que ya perdieron la posibilidad de albergar estas especies. (PMA, Acueducto de Bogotá, 2007).

Cuando se habla de alternativas de manejo ambiental, estas se pueden dividir en grupos que poseen diferentes objetivos, dependiendo de las necesidades actuales del ecosistema que se encuentra bajo estudio (en este caso el Humedal Guaymaral), esta clasificación es utilizada por el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia (IDEA) cuando estructuró la propuesta del Plan de Manejo Ambiental de los Humedales Torca y Guaymaral en el 2007.

Tabla XXXII. **Programas de Plan de Acción**

No.	Nombre del Programa	Objetivo General
1	Recuperación, compensación y protección	Proponer acciones sistemáticas y coordinadas tendientes a la reparación de los procesos de degradación, así como a la prevención de futuras pérdidas de los valores atributos y funciones los humedales
2	Educación, comunicación y participación para la construcción social del territorio	Fortalecer y unificar los procesos relacionados con la generación de representaciones y prácticas sociales, incluyendo diversos saberes y formas de comunicación y participación que contribuyan a la comprensión y cualificación de las relaciones sociedad-naturaleza (programa transversal)
3	Manejo y uso sostenible	Orientar y promover el uso público de los valores atributos y funciones de los humedales, atendiendo las prioridades de conservación y recuperación.
4	Gestión interinstitucional	Fortalecer la coordinación, articulación y apoyo estratégico de las entidades que tienen competencia en los humedales.
5	Investigación participativa y aplicada	Generar la información requerida para que las intervenciones en los humedales se diseñen de una manera óptima y ajustada a las condiciones particulares del mismo y producir la información que permita evaluar el progreso de la recuperación ecológica y ambiental del ecosistema.

Fuente: Plan de Manejo Ambiental de los Humedales Torca y Guaymaral: Plan de acción, Acueducto de Bogotá, 2007. p. 180.

Siguiendo la línea que se propone en el proyecto liderado por el IDEA, se realiza una serie de propuestas que buscan dar soluciones viables y que incluyan el aspecto humano y natural al mismo tiempo, con la finalidad de promover la conservación, protección y recuperación del Humedal Guaymaral, por lo mismo las alternativas de manejo ambiental giran en torno a los ejes o programas que se mencionan en la tabla XXXII.

Considerando las condiciones actuales del Humedal Guaymaral se debe lograr que las alternativas de manejo ambiental sean simples y viables, para las diferentes organizaciones involucradas e interesadas en la recuperación de este ecosistema.

7.1.1. Recuperación, compensación y protección

Las acciones que se pueden tomar para lograr el objetivo de este eje se enfocan en propuestas sistemáticas y coordinadas entre las organizaciones interesadas en el Humedal Guaymaral, cabe resaltar que uno de los principales fines de este eje es la prevención de la degradación del humedal.

Se observa que dentro de los problemas que afectan significativamente el humedal se encuentra la proliferación de plantas invasoras, acumulación de desechos sólidos, vertimientos directos de aguas residuales, ganadería y falta de una delimitación adecuada de los límites legales de la zona. Lograr mitigar los efectos negativos de las anteriores perturbaciones, es una meta que se ve influenciada por los tiempos de respuesta a la problemática, y el compromiso que se adquiere al iniciar alguna propuesta o acción en beneficio del humedal.

Como principal alternativa que se plantea es el inicio de programas que involucren la comunicación e inclusión de la sociedad aledaña al ecosistema, es decir incluir a todos los involucrados que de forma directa o indirecta afectan a la calidad del agua que posee, la finalidad de establecer una conexión entre los involucrados y las condiciones actuales del humedal es crear consciencia ambiental y valorización a los recursos naturales que proporcionan estos ecosistemas.

Llevar un control de las actividades que se realizan dentro del humedal también beneficia la conservación del área afectada (por ejemplo ganadería), llegando a un común acuerdo entre propietarios de predios, organizaciones gubernamentales y vecinos de la zona.

7.1.2. Educación, comunicación y participación

Una de las pautas principales de este eje es la participación ciudadana y fortalecimiento de las actividades que ya se realizan dentro del humedal. De nuevo se hará énfasis en la inclusión de organizaciones educativas que se encuentran cerca, pues la educación ambiental ha tomado auge debido a la preocupante degradación de los ecosistemas actuales.

Al incrementar la difusión de información entre centros educativos, empresas aledañas, comunidades, vecinos y otros se fomenta una mayor participación en la conservación y recuperación de la zona afectada por perturbaciones de origen antrópico. La mejora de la calidad del agua del humedal depende de la disminución de vertimientos de aguas residuales o implementación de plantas de tratamiento que minimicen los contaminantes que llegan al cuerpo hídrico. Claro está que toda acción concreta a tomar debe estar acompañada de un proceso educativo que tenga bases sólidas en el aspecto ambiental.

7.1.3. Manejo y uso sostenible

Como se ha mencionado en capítulos anteriores los humedales como tal son fuente de recursos naturales, debido a que son proveedores de recursos, por ello siempre se debe pensar en un manejo y uso sostenible, es decir, evitar la sobreexplotación de estos recursos como medida de conservación y recuperación del humedal. Como principal preocupación sobre este eje se encuentra la falta de delimitación adecuada de la zona actual del Humedal Guaymaral, es decir, en la actualidad no se cuenta con una clara división de las zonas que son parte del humedal y también pertenecen a predios privados.

Trabajar en conjunto entre propietarios y gobierno beneficia de forma mutua el interés de ambas partes, esto debido a que reconocen la importancia del humedal y promueven la conservación del mismo. Dentro del desarrollo de programas que involucren propietarios privados, gobierno y demás interesados se promueve la coordinación, articulación y apoyo a las estrategias que tienen tema principal el Humedal Guaymaral.

7.1.4. Investigación participativa y aplicada

Las investigaciones que se pueden llevar a cabo en el humedal se pueden enfocar en conservación de especies nativas, comportamiento de contaminantes en el transcurso del flujo de agua, incidencia de las actividades antrópicas sobre el hábitat de diferentes seres vivos.

Fomentar la investigación es tarea de las organizaciones educativas y organizaciones que busquen los beneficios del Humedal Guaymaral, el presente estudio no consideró el monitoreo del comportamiento de los contaminantes en un mayor periodo de tiempo por limitaciones ajenas a los involucrados. Sin embargo, continuar con investigaciones que se relacionen con el Humedal Guaymaral promueve la mayor participación de entidades, así como, incrementa las posibilidades de recolectar información de utilidad para procesos educativos.

Realizando un resumen de los anteriores puntos se obtienen las propuestas de la siguiente tabla y buscan que los actores e interesados en este ecosistema se unifiquen para poder conservar, recuperar y proteger el Humedal Guaymaral.

Tabla XXXIII. **Alternativas de manejo ambiental sostenible**

No.	Nombre del Programa	Perturbación	Propuesta
1	Recuperación, compensación y protección	Plantas invasoras	Construcción de programas voluntariados de remoción de plantas invasoras (retamo) con capacitaciones previas a los participantes para evitar la propagación del retamo en el área del Humedal, dichos programas pueden ser liderados por universidades interesadas o instituciones gubernamentales.
		Recuperación y delimitación de zonas	Definir con mayor detalle los límites del Humedal, actualmente los mojones se encuentran dispersos y no es posible identificarlos en recorridos dentro del mismo.
		Conectividad entre cuerpos de agua	El Humedal Guaymaral ha perdido la conexión de los flujos de los cerros orientales, por lo que recuperar esta conexión es de vital importancia, debido a que actualmente se ha creado un espejo de agua fuera de los límites del humedal sería necesario restablecer esa conexión con el humedal para iniciar la recuperación de su zona de inundación.
		Desechos sólidos	Diseño de programas de remoción de desechos sólidos que existen dentro de los límites del Humedal, dichos proyectos que se trabajen en conjunto con los colegios aledaños para iniciar la cultura de conservación y recuperación de ecosistemas en la educación.
		Vertimientos	Realizar un monitoreo de vertimientos y generación de residuos, con ello poder establecer el origen de los residuos e implementar acciones que eviten su acumulación.
		Ganaría	Identificación del ganado presente en la zona e iniciar gestiones para que este tipo de actividades no se realice dentro del humedal.
2	Educación, comunicación y participación para la construcción social del territorio	Recorridos educativos	Mayor publicidad e inclusión de colegios aledaños al humedal para que sean partícipes de todas las actividades que involucren al Humedal Guaymaral. Invitación de los colegios cercanos al humedal para realizar recorridos educativos acompañados del Jardín Botánico de Bogotá.
3	Manejo y uso sostenible	Delimitación del área real del humedal	Coordinar con predios privados y la entidad competente la delimitación del humedal para poder establecer las diferentes zonas del humedal (ZMPA y otros)
4	Investigación participativa y aplicada	Estudio de calidad de agua	Realizar un monitoreo de la condiciones de calidad del agua por un periodo de tiempo mayor para poder determinar con mayor significancia el comportamiento del cuerpo hídrico

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas, que se evaluaron en los cinco puntos del Humedal Guaymaral, no poseen diferencias significativas entre los valores de los parámetros en el ingreso y salida del humedal, esto indica que la carga de contaminación es elevada provocando que el cuerpo hídrico no tenga la capacidad de realizar una autodepuración para mejorar las condiciones del agua.
2. El comportamiento de las variables fisicoquímicas que se evaluaron en el Humedal Guaymaral, analizadas por el trayecto en los cinco puntos evaluados, fue modelado con polinomios de grado dos, dichos modelos se resumen en las tablas XIX, XXI y XXIII con sus respectivos coeficientes de correlación, los casos en donde los coeficientes de correlación son menores a 0,30 se deben a que se presentaron cambios drásticos entre los valores de cada parámetro por punto.
3. Según los resultados de los índices de calidad calculados (ICOMI, e ICOMO) para establecer las condiciones actuales en cinco puntos distribuidos en las aguas que ingresan y salen del Humedal Guaymaral, utilizando la escala establecida por el IDEAM (tabla XI), estas poseen una clasificación de mala calidad, por ubicarse en un rango de 0,26 a 0,50, es decir que es un recurso hídrico altamente contaminado, y según el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), el cuerpo hídrico se clasifica como muerto a que se sobrepasa de la autodepuración del recurso.

4. El Humedal Guaymaral se ve afectado por perturbación negativas y positivas, de las primeras fueron georreferenciados 23 vertimientos directos de aguas residuales, acumulación de desechos sólidos, descargas intermitentes de materiales sólidos sin identificarse, ganadería dentro de los límites del humedal y extracción de agua para posible riego de los usuarios, dichas actividades tienen influencia sobre la calidad del agua al afectarla de forma directa sobre los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados.
5. El Humedal Guaymaral actualmente presenta problemas de fraccionamiento pues esta zona posee muchos predios privados, esto no permitió realizar un recorrido completo de la zona evaluada, es decir, se hizo un trayecto autorizado por la Acueducto de Bogotá y acompañados por representantes del Jardín Botánico de Bogotá, por ende, no fue posible identificar todas las fuentes fijas de contaminación que posee el humedal.
6. La alta carga de contaminación que posee las aguas que ingresan al Humedal Guaymaral evita que el cuerpo hídrico realice un proceso de autodepuración, también el ingreso de flujos de aguas con menor carga de contaminación no contribuye a mejorar la calidad de las aguas que salen del humedal por el mismo motivo (ejemplo: quebrada proveniente de los cerros Orientales).
7. Las alternativas de manejo ambiental pretenden ser una propuesta para iniciar acciones que promuevan la conservación, protección y recuperación del Humedal Guaymaral.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo de los parámetros fisicoquímicos de las aguas del Humedal Guaymaral por un periodo de tiempo mayor a seis semanas, para tener resultados con mayor representatividad de la condiciones y comportamiento de los mismos, para definir con mayor precisión su condiciones actuales.
2. Incrementar los puntos de análisis de estudio y distribuirlos dentro del trayecto de la aguas del Humedal Guaymaral, con ello se podrá definir con mayor exactitud como influyen las diferentes perturbaciones que posee el humedal, sobre los resultados de los análisis de laboratorio.
3. A los parámetros evaluados para determinar la calidad de las aguas del Humedal Guaymaral añadir otros estudios, como metales pesados, para que el estudio abarque mayores variables que contribuyan a la recolección de información relevante para definir planes o alternativas de manejo ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABARCA, Francisco J. *Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos*. Arizona, Estados Unidos: Arizona Game and Fish Department, 2008. 32 p.
2. AREVALO, Lina P.; CARDENAS, William F. *Transformación física del Humedal Torca-Guaymaral a partir de la década de los 60's*. Bogotá, D.C.: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Facultad de Ingeniería Geográfica y Ambiental, 2007. 158 p.
3. BARBIER, Edward B.; ACREMAN, Mike; KNOWLER, Duncan. *Valoración económica de los humedales: guía para decisores y planificadores*. Gland, Suiza: Oficina de la Convención de Ramsar, 1997. 155 p. ISBN: 2 – 940073 – 25 – 2.
4. CÁRDENAS LEÓN, Jorge Alonso. *Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2005. 279 p. ISBN: 978 – 8247 – 30 – 6.
5. CARVAJAL, Adela L.; GIRALDO, Gloria I.; GUTIÉRREZ, Ádamo A. *Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua*. Manizales, Colombia: Blanecolor. Universidad Nacional de Colombia, 2010. 154 p. ISBN 978 – 958 – 8280 – 39 – 4.
6. *Convención sobre los humedales de importancia internacional, llamada la Convención de Ramsar*, Irán 1971. [en línea] <<http://www.ramsar.org>> [Consulta: 25 de marzo de 2014].

7. *Historiade los humedalesde Bogotá.* [en línea] <<http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-bogota-intro.htm>> [Consulta: 28 de marzo de 2014].
8. *Humedal Guaymaral.* [en línea] <<http://humedalesbogota.com/humedal-Guaymaral/>> [Consulta: 07 de abril de 2014].
9. *Humedales, patrimonio ecológico de Bogotá.* [en línea] <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/swf/revistas/revista_hum/HUMEDALES.html> [Consulta: 10 de abril de 2014].
10. HUNT, David; JOHNSON, Catherine. *Ingeniería de diseño medioambiental. DFE. Sistemas de gestión medioambiental.* Colombia: McGraw–HillInteramericana, 1999. ISBN: 84 – 481 – 0684 – 9.
11. KIELY, Gerard. *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.* Volumen III. España: McGraw–Hill/Interamericana De España, 1999. ISBN: 84 – 481 – 2152 – X.
12. MIHELICIC, James R.; ZIMMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño.* México: Alfaomega, 2012. 696 p. ISBN: 978 – 607 – 707 – 317 – 8.
13. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Índice de calidad del agua general “ICA”.* San Salvador, El Salvador: MARN, 2005. 14 p.

14. MORENO, Vanesa; GARCÍA, Juan Francisco; VILLALBA, Juan Carlos. *Descripción general de los humedales de Bogotá, D.C.* Bogotá, Colombia. Sociedad Geográfica de Colombia, Academia de Ciencias Geográficas, 2005. 28 p.
15. ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 410 p. ISBN 958 – 8060 – 32 X.
16. SÁNCHEZ, Óscar; et al. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INCE-SEMARNAT), 2007. 297 p. ISBN: 978-968-817-856-0.
17. SEMARNAT. *La gestión ambiental en México*. México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2006. 200 p. ISBN: 968 – 817 – 799 – 7.
18. SIERRA RAMÍREZ, Carlos Alberto. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Colombia: Universidad de Medellín, 2011. 250 p. ISBN 9789588692067.
19. *The Ramsar Convention on Wetlands*. [en línea] <<http://www.ramsar.org>> [Consulta: 25 de marzo de 2014].
20. Universidad del CAUCA. *Los ICA y la calidad de las aguas*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca, 2008. 9 p.

ANEXO

Anexo 1. Métodos de laboratorio

Los procedimientos utilizados fueron proporcionados por el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, UDCA.

1. Determinación de alcalinidad

La alcalinidad se determinó con muestras recolectadas en envases de vidrio y plástico, para este análisis se utilizaron 300 mL y los siguientes reactivos:

1.1. Reactivos

- Ácido clorhídrico (HCl)
- Naranja de Metilo ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$)
- Fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$)
- Etanol (C_2H_6O)
- Carbonato de sodioanhidro (Na_2CO_3) patrón primario
- Agua desmineralizada

1.2. Soluciones

- Disolución de ácido clorhídrico (0,1 N): diluir 8,3 mL de ácido clorhídrico concentrado en 1 L con agua desmineralizada.
- Disolución de ácido clorhídrico (0,02 N): diluir 200 mL de ácido clorhídrico a 1 L de agua desmineralizada.
- Disolución indicadora de naranja de metilo: pesar aproximadamente 0,5 g del colorante naranja de metilo y aforar a 1 L con agua. Filtrar la disolución fría o pesar aproximadamente y con precisión 0,5 g de la sal de sodio y diluir a 1 L con agua.

- Disolución indicadora de fenolftaleína: pesar aproximadamente 5,0 g de fenolftaleína y disolver en 500 mL de etanol, añadir 500 mL de agua con agitación constante. Filtrar si hay formación de precipitado.

1.3. Procedimiento

- Transferir 100 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína.
- Titular con la disolución valorada de ácido (0,02 N) hasta que vire la fenolftaleína. Adicionar 2 gotas de naranja de metilo.
- Valoración del ácido clorhídrico (0,02 N): pesar aproximadamente 0,0265 g del patrón primario de carbonato de sodio, secado 105 °C, añadir unos 25 mL de agua y unas gotas de la disolución de naranja de metilo, valorar con el ácido hasta el vire del indicador (de canela a amarillo). Calcular la normalidad del ácido con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{A}{B * 53} * 1000$$

[Ecuación 2]

Donde:

- N = Normalidad del ácido [equi/L]
 A = Gramos de carbonato de sodio
 B = mL de ácido utilizados, 53 son los gramos por equivalente de carbonato de sodio.

- Continuar con la titulación hasta alcanzar que vire el naranja de metilo.
- Registrar los volúmenes para ambos puntos finales.
- Calcular la alcalinidad, tomando en cuenta el vire de los indicadores.

2. Determinación de amonio

El amonio se determinó con muestras recolectadas en envases de vidrio y plástico, conservándolos a una temperatura de 4 °C, para el análisis usaron 100 mL. El método se basa en espectrofotometría/colorimetría y es por medio de Azul de indofenol, los reactivos son:

2.1. Reactivos

- Fenol Líquido (C_6H_5OH)
- Etanol (C_2H_6O)
- Nitroprusiato de sodio ($C_5FeN_6Na_2O \cdot 2H_2O$)
- Citrato Trisódico ($C_6H_5O_7Na_3$)
- Hidróxido de Sodio (NaOH)
- Hipoclorito de Sodio (NaClO) – solución comercial –
- Cloruro de Amonio (NH_4Cl)
- Cloroformo ($CHCl_3$)
- Agua destilada o desmineralizada

2.2. Soluciones

- Solución de Fenol: disolver 6,3 g de fenol (C_6H_5OH) en 62 mL de etanol (C_2H_5OH) al 95 %.
- Nitroprusiato de sodio 0,5 % p/v: disolver 0,5 g de nitroprusiato de sodio en 100 mL de agua desmineralizada y completar a 500 mL, guardar refrigerada en botella de color ámbar.
- Citrato Alcalino (Recipiente de vidrio): disolver 100 g de citrato de sodio ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$) R.A. y 5 g de hidróxido de sodio en agua desmineralizada y completar a 500 mL.
- Solución Oxidante: mezclar 60 mL del reactivo alcalino y 15 mL de hipoclorito de sodio.

- Solución estándar de Amonio (Almacenar recipiente de plástico a 4 °C): disolver 0,0535 g de cloruro de amonio (NH₄Cl) grado analítico (previamente seco a 104 °C durante dos horas), en 100 mL de agua desmineralizada. Adicionar 0,05 mL de cloroformo como preservante.

2.3. Procedimiento

El procedimiento consistió en realizar una curva de calibración para luego obtener un dato confiable de la medición.

- Filtrar la muestra de ser necesario antes de proceder al análisis
- Adicionar 25 mL de muestra en un vial de 40 mL
- Adicionar 1 mL de solución de fenol y agitar
- Agregar 1 mL de nitroprusiato de sodio y agitar
- Adicionar 2,5 mL de solución oxidante y agitar
- Mantener los viales cubiertos con papel aluminio o tapados y en la obscuridad, en una habitación con temperatura entre 20 °C y 27 °C durante una hora
- Leer la absorbancia a 640 nm para todas las muestras
- Calcular la concentración de amonio
- Con cada conjunto de muestras se debe montar un blanco y una muestra patrón de 3,0 ug/L (cuando se usa celda de 10 cm)
- El blanco se determina siguiendo el método descrito para la muestra usando 25 mL de agua desmineralizada.

2.4. Resultados y expresión de resultados

Los cálculos y expresión de resultados se basan en la siguiente fórmula

$$C = \frac{Abs - b}{m}$$

[Ecuación 3]

Donde:

C = Concentración de la muestra en mg/L

Abs = Absorbancia de la muestra corregida

b = Intercepto

m = Pendiente de la curva de regresión

3. Determinación de dureza del agua

La dureza se determinó por medio de titulación (colorimetría), se requirieron 300 mL para realización de análisis y repeticiones.

3.1. Reactivos

- Amoníaco (NH_3)
- Cloruro de Amonio (NH_4Cl)
- Cloruro de Sodio ($NaCl$)
- Negro de Eriocromo NET ($C_{20}H_{12}N_3NaO_7S$)
- Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)
- Cloruro de Calcio ($NaCl_2$)

3.2. Soluciones

- Solución De EDTA (sal disódica): disolver 2 g de Sal disódica con 0,05 g de Cloruro de Magnesio Hexahidratado y aforar a 1 L.
- Disolución amortiguadora de pH=10: añadir 57 mL de NH_3 concentrado a 6,75 g de NH_4Cl y diluir a 100 mL con agua.
- Negro de Eriocromo NET: mezclar 0,5 g de indicador sólido con 50 g de $NaCl$. El indicador se vierte como sólido con una espátula.

3.3. Procedimiento

- Cargar la bureta con solución de EDTA preparada anteriormente.

- Medir en un balón aforado 100 mL de cada muestra de agua y colocarlo en un erlenmeyer
- Adicionar 1 mL de solución Buffer pH: 10
- Agregar 2 o 3 gotas de solución NET (Negro de Eriocromo)
- Valorar con solución estándar de EDTA
- Medir el volumen gastado y calcular la dureza

4. Determinación de fosfatos

El fósforo total se determinó por medio de espectrofotometría/colorimetría, se utilizan 500 mL de muestra en envase plástico, se debe conservar a 4 °C.

4.1. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Peroxisulfato de Potasio o Persulfato de Potasio ($K_2S_2O_8$)
- Agua desmineralizada

4.2. Soluciones

- Solución de NaOH (0,375 M): disolver 15 g de NaOH en 1 L con agua desmineralizada.
- Reactivo de oxidación: disolver 5 g de Peroxisulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) y después 3 g de ácido bórico (H_3BO_3) en 100 mL de Solución NaOH (0,375 M).
- Solución molibdato de amonio $[(NH_4)_4Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$: disolver 15 g de molibdato de amonio grado analítico en agua destilada y completar a 500 mL.
- Solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (1N): mezclar 70 mL de ácido sulfúrico concentrado ($d=1,82$ g/mL) con 450 mL de agua destilada. Dejar enfriar y almacenar en recipiente de vidrio.

- Solución de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$): disolver 10,8 g de ácido ascórbico en 200 mL de agua desmineralizada.
- Solución de tartrato de potasio antimonilo ($C_4H_4KO_7Sb$): disolver 0,34 g de reactivo analítico en 250 mL de agua destilada.
- Reactivo mixto (estable por 4 horas): mezclar en su orden 20 mL de solución de molibdato, 50 mL de solución de ácido sulfúrico, 20 mL de solución de ácido ascórbico y 10 mL de solución de tartrato de Sb-K.
- Solución estándar de fosfato: disolver 0,1361 g de fosfato de potasio (KH_2PO_4), en 100 mL de agua destilada almacenar en una botella oscura con 0,05 mL de cloroformo.

4.3. Procedimiento

Procedimiento 1 (Digestión con Persulfato de Potasio)

- Realizar el procedimiento de digestión que nitrógeno disuelto, y continuar con la determinación de fósforo por medio del procedimiento de fosfatos.
- Colocar 20 mL de muestra filtrada en un tubo de teflón
- Añadir 2 mL de Reactivo de oxidación
- Cerrar el tubo de Teflón y agitar
- Autoclavar los tubos durante 90 minutos a 110 °C

Procedimiento 2 (Determinación de Fosfatos)

- Depositar la muestra autoclavada
- Agregar 2,5 mL del reactivo mixto. Mezclar para que se verifique la reacción, y cubrir el erlenmeyer con papel aluminio para evitar contaminación
- Dejar en reposo 5 minutos
- Seleccionar la longitud de onda 885 nm
- Seguidamente, registrar la absorbancia de cada una de las muestras, el estándar de trabajo y el blanco de reactivos.

5. Determinación de nitratos

Los nitratos se determinaron por medio de espectrofotometría/colorimetría, antes de iniciar se debe filtrar la muestra para evitar las interferencias.

5.1. Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Nitrato de Potasio (KNO_3)
- Cloroformo (CHCl_3)
- Agua Destilada

5.2. Equipos y materiales

- Espectrofotómetro UV – VIS para usar a 220 y 275 nm
- Celdas de cuarzo de 1 o 10 cm de paso óptico
- Balones aforadas de diferentes capacidades
- Probetas de 100 y 25 mL
- Pipetas de 1 mL

5.3. Soluciones

- Solución de ácido clorhídrico 1N (HCl): diluir 85 mL de ácido clorhídrico concentrado con agua desmineralizada y completar un litro.
- Solución estándar de nitrato: disolver 0,7218 g de Nitrato de Potasio (KNO_3) calidad reactivo, en 1 000 mL de agua destilada. Preservar con 2 mL de CHCl_3 .

5.4. Procedimiento

- En un erlenmeyer de 100 mL, depositar 50 mL de muestra filtrada y adicionar 1 mL de HCl y agitar vigorosamente.
- Leer las absorbancias de las muestras contra una celda con agua destilada. Usar la longitud de onda de 220 nm para obtener la lectura de

NO₃⁻ y a 275 nm para determinar las interferencias debidas a materia orgánica disuelta.

- Con cada conjunto de muestras se debe montar un blanco y una muestra patrón de 3 mg NO₃.
- Cálculos: aplicar una regresión lineal a los resultados y calcular la concentración de la siguiente forma: determinar la pendiente (m) y el intercepto (b) de la curva de calibración [$Y = mX+b$] y corregir la absorbancia de los estándares restando dos veces la absorbancia leída a 275 nm a la lectura de absorbancia de 220 nm.

$$AbsCOR = C * m + b$$

[Ecuación 4]

$$AbsCOR = Abs220 - 2 * Abs275$$

[Ecuación 5]

6. Determinación de nitritos

Los nitratos se determinaron por medio de espectrofotometría/colorimetría, las muestras deben ser recolectaron y conservaron en frascos de plástico a temperatura de 4 +/- 2 °C.

6.1. Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Cloroformo (CHCl₃)
- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Ácido Sulfanílico (C₆H₇NO₃S)
- Fenol (C₆H₅OH)
- Cloruro de Amonio (NH₄Cl)
- Nitrito de Sodio (NaNO₂)

- Amoniaco (NH₃)
- Agua destilada o desmineralizada

6.2. Soluciones

- Reactivo Zambelli: diluir 260 mL de ácido clorhídrico con 500 mL de agua desmineralizada. Añadir 5 g de ácido sulfanílico y 7,5 g de fenol, calentando suavemente hasta disolución. Dejar enfriar y agregar 135 g de cloruro de amonio. Cuando todo esté disuelto completar hasta un litro con agua desmineralizada.
- Solución patrón de nitrito: disolver 0,345 g de nitrito de sodio en agua desmineralizada hasta un litro (1mL equivale a 0,23 mg de NO₂). Añadir 1 mL de cloroformo.

6.2. Procedimiento

- Curva patrón: disponer erlenmeyer de 100 mL como número de patrones.
- Tras la adición del reactivo de Zambelli mezclar bien y esperar 10 minutos.
- Transcurrido ese tiempo, añadir 2 mL de amoniacos concentrado, mezclar y esperar 5 minutos.
- Leer la absorbancia a 425 nm frente a un blanco de agua destilada tratado de la misma forma que la muestra.
- Medir 50 mL de muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL y someterlo al mismo tratamiento que los patrones.

7. Determinación de sólidos suspendidos totales

Para determinación de sólidos suspendidos totales la muestra se transporta refrigerada a 4 °C. Antes de hacer el análisis se debe homogenizar la muestra con agitación.

7.2. Materiales y equipo

- Papel filtro
- Horno o estufa de secado
- Balanza analítica

7.3. Procedimiento

Preparación del papel filtro

- Secar durante una hora a 103 – 105 °C hasta obtener peso constante
- Colocar en desecador durante 30 minutos
- Pesar el filtro antes de usarlo

Tratamiento de la muestra

- Colocar el filtro en el equipo de filtración y pasar un volumen conocido de muestra
- Enjuagar el embudo y el filtro con agua destilada
- Remover y secar el filtro en un horno a 103 – 105 °C
- Llevarlo al desecador durante 30 minutos y pesar hasta alcanzar peso constante
- Los sólidos suspendidos totales se calculan como:

$$(A - B) \times 10^6$$

[Ecuación 6]

$$SST = \frac{(A - B) \times 10^6}{mL (muestra)}$$

[Ecuación 7]

Donde:

A = Peso filtro + residuo [g]

B = Peso filtro [g]

APÉNDICE

Apéndice 1. Datos calculados

Tabla 1. Resultados para análisis de pH

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	6,8000	6,7500	6,8000	6,8000	6,8100	6,9000
Punto 2	7,2600	7,2800	7,3700	7,1800	7,1900	7,3000
Punto 3	7,1200	7,1900	7,1300	7,1100	7,1700	7,2000
Punto 4	7,2000	8,4000	7,3600	7,2800	7,1500	7,0800
Punto 5	7,0600	7,4900	7,3400	7,0800	7,0700	7,1500
Promedio	7,0880	7,4220	7,2000	7,0900	7,0780	7,1260
Mínimo	6,8000	6,7500	6,8000	6,8000	6,8100	6,9000
Máximo	7,2600	8,4000	7,3700	7,2800	7,1900	7,3000
DesvStad	0,1781	0,6096	0,2444	0,1794	0,1566	0,1496

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resultados para análisis de temperatura [°C]

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	17,3000	16,8000	19,0000	17,7000	17,8000	17,6000
Punto 2	17,1000	16,6000	16,5000	18,5000	18,0000	18,8000
Punto 3	16,8000	16,5000	17,2000	17,3000	17,6000	17,8000
Punto 4	15,6000	15,3000	17,9000	17,1000	16,8000	17,2000
Punto 5	16,4000	17,4000	17,1000	17,1000	17,0000	17,3000
Promedio	16,6400	16,5200	17,5400	17,5400	17,4400	17,7400
Mínimo	15,6000	15,3000	16,5000	17,1000	16,8000	17,2000
Máximo	17,3000	17,4000	19,0000	18,5000	18,0000	18,8000
DesvStad	0,6731	0,7662	0,9555	0,5899	0,5177	0,6387

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Resultados para análisis de turbidez [NTU]

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	28,0000	39,9000	26,4000	38,8000	45,0000	40,0000
Punto 2	19,0000	28,5000	18,0000	23,6000	28,0000	26,0000
Punto 3	25,3000	37,3000	15,3000	23,7000	31,3000	25,8000
Punto 4	26,5000	18,6000	24,4000	30,2000	36,2000	32,8000
Punto 5	39,0000	39,6000	31,3000	49,0000	44,3000	45,9000
Promedio	27,5600	32,7800	23,0800	33,0600	36,9600	34,1000
Mínimo	19,0000	18,6000	15,3000	23,6000	28,0000	25,8000
Máximo	39,0000	39,9000	31,3000	49,0000	45,0000	45,9000
DesvStad	7,2555	9,1792	6,4550	10,8664	7,6061	8,8068

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. **Resultados para análisis de oxígeno disuelto [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,7600	0,5400	0,3600	0,3600	0,6600	0,8100
Punto 2	0,7800	0,7600	0,4100	0,4100	0,6100	0,6500
Punto 3	0,6800	0,8200	0,2800	0,2800	0,4400	0,7500
Punto 4	3,4800	12,4900	4,4700	4,4700	0,7500	0,8200
Punto 5	0,4800	0,4000	0,2600	0,2600	1,8800	1,9000
Promedio	1,2360	3,0020	1,1560	1,1560	0,8680	0,9860
Mínimo	0,4800	0,4000	0,2600	0,2600	0,4400	0,6500
Máximo	3,4800	12,4900	4,4700	4,4700	1,8800	1,9000
DesvStad	1,2600	5,3066	1,8536	1,8536	0,5769	0,5154

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. **Resultados para análisis de sólidos suspendidos totales [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	18,4000	19,0000	13,8000	14,4000	14,0000	14,8000
Punto 2	16,8000	19,6000	13,0000	15,0000	14,8000	14,2000
Punto 3	17,0000	19,4000	13,4000	14,2000	14,0000	14,2000
Punto 4	16,9000	19,2000	14,6000	16,4000	13,8000	14,8000
Punto 5	17,3000	19,2000	14,2000	15,0000	14,8000	14,2000
Promedio	17,2800	19,2800	13,8000	15,0000	14,2800	14,4400
Mínimo	16,8000	19,0000	13,0000	14,2000	13,8000	14,2000
Máximo	18,4000	19,6000	14,6000	16,4000	14,8000	14,8000
DesvStad	0,6535	0,2280	0,6325	0,8602	0,4817	0,3286

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. **Resultados para análisis de conductividad [μ S/cm]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	503,0000	505,0000	508,0000	479,0000	454,0000	487,0000
Punto 2	487,0000	416,0000	403,0000	423,0000	326,0000	329,0000
Punto 3	496,0000	466,0000	433,0000	370,0000	335,0000	347,0000
Punto 4	491,0000	361,0000	535,0000	451,0000	326,0000	387,0000
Punto 5	502,0000	486,0000	507,0000	498,0000	338,0000	415,0000
Promedio	495,8000	446,8000	477,2000	444,2000	355,8000	393,0000
Mínimo	487,0000	361,0000	403,0000	370,0000	326,0000	329,0000
Máximo	503,0000	505,0000	535,0000	498,0000	454,0000	487,0000
DesvStad	6,9065	58,3155	56,2068	50,2663	55,1561	62,3859

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. **Resultados para análisis de nitratos [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,0828	0,0420	0,1331	0,1430	0,0902	0,2107
Punto 2	0,0729	0,0723	0,1286	0,1148	0,0781	0,7629
Punto 3	0,0771	0,1174	0,1325	0,1222	0,0845	0,5876
Punto 4	0,1012	0,1699	0,1775	0,1134	0,0824	0,5762
Punto 5	0,1411	0,1217	0,1558	0,1146	0,0957	0,6430
Promedio	0,0950	0,1046	0,1455	0,1216	0,0862	0,5561
Mínimo	0,0729	0,0420	0,1286	0,1134	0,0781	0,2107
Máximo	0,1411	0,1699	0,1775	0,1430	0,0957	0,7629
DesvStad	0,0280	0,0492	0,0208	0,0125	0,0069	0,2068

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. **Resultados para análisis de nitritos [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,1614	0,1930	0,3120	0,3065	0,2488	0,3697
Punto 2	0,2302	0,1279	0,1930	0,2321	0,2563	0,9723
Punto 3	0,1447	0,1521	0,2377	0,2674	0,3120	0,8217
Punto 4	0,1409	0,4776	0,3288	0,2265	0,3734	1,7832
Punto 5	0,2358	0,1800	0,5390	0,4757	0,5501	2,3616
Promedio	0,1826	0,2261	0,3221	0,3016	0,3481	1,2617
Mínimo	0,1409	0,1279	0,1930	0,2265	0,2488	0,3697
Máximo	0,2358	0,4776	0,5390	0,4757	0,5501	2,3616
DesvStad	0,0467	0,1428	0,1332	0,1025	0,1235	0,7992

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. **Resultados para análisis de conductividad [μ S/cm]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,5028	0,5025	0,5028	0,4439	0,5012	0,4743
Punto 2	0,5034	0,4765	0,4969	0,4183	0,4782	0,4896
Punto 3	0,4898	0,4988	0,4993	0,4269	0,4973	0,4895
Punto 4	0,5209	0,4749	0,4946	0,4390	0,5106	0,4856
Punto 5	0,5013	0,4916	0,5036	0,3634	0,5048	0,4942
Promedio	0,5036	0,4889	0,4995	0,4183	0,4984	0,4867
Mínimo	0,4898	0,4749	0,4946	0,3634	0,4782	0,4743
Máximo	0,5209	0,5025	0,5036	0,4439	0,5106	0,4942
DesvStad	0,0112	0,0127	0,0038	0,0323	0,0123	0,0075

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. **Resultados para análisis de dureza [mg CaCO₃/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	4,4000	3,6000	2,8000	2,1000	3,6000	10,5000
Punto 2	5,1000	5,0000	5,8000	7,6000	17,8000	14,5000
Punto 3	11,1000	8,5000	3,6000	6,8000	13,8000	20,4000
Punto 4	4,0000	3,9000	5,3000	4,5000	11,5000	25,0000
Punto 5	1,1000	5,2000	5,8000	5,2000	13,1000	15,1000
Promedio	5,1400	5,2400	4,6600	5,2400	11,9600	17,1000
Mínimo	1,1000	3,6000	2,8000	2,1000	3,6000	10,5000
Máximo	11,1000	8,5000	5,8000	7,6000	17,8000	25,0000
DesvStad	3,6637	1,9476	1,3777	2,1455	5,2176	5,6485

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. **Resultados para análisis de alcalinidad [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,3000	0,7000	1,1000	1,5000	1,9000	1,5000
Punto 2	0,3000	0,8000	0,7000	0,4000	1,4000	10,8000
Punto 3	0,1000	1,1000	1,4000	0,8000	1,5000	0,7000
Punto 4	0,2000	0,8000	1,3000	0,6000	1,4000	1,5000
Punto 5	0,1000	1,0000	0,9000	0,7000	1,6000	1,0000
Promedio	0,2000	0,8800	1,0800	0,8000	1,5600	3,1000
Mínimo	0,1000	0,7000	0,7000	0,4000	1,4000	0,7000
Máximo	0,3000	1,1000	1,4000	1,5000	1,9000	10,8000
DesvStad	0,1000	0,1643	0,2864	0,4183	0,2074	4,3180

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. **Resultados para análisis de coliformes totales [NMP/100mL]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,5028	0,5025	0,5028	0,4439	0,5012	0,4743
Punto 2	0,5034	0,4765	0,4969	0,4183	0,4782	0,4896
Punto 3	0,4898	0,4988	0,4993	0,4269	0,4973	0,4895
Punto 4	0,5209	0,4749	0,4946	0,4390	0,5106	0,4856
Punto 5	0,5013	0,4916	0,5036	0,3634	0,5048	0,4942
Promedio	0,5036	0,4889	0,4995	0,4183	0,4984	0,4867
Mínimo	0,4898	0,4749	0,4946	0,3634	0,4782	0,4743
Máximo	0,5209	0,5025	0,5036	0,4439	0,5106	0,4942
DesvStad	0,0112	0,0127	0,0038	0,0323	0,0123	0,0075

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. **Resultados para análisis de fosfatos totales [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	0,1847	0,1262	0,1050	0,3374	0,5857	0,2338
Punto 2	0,1475	0,0811	0,1502	0,2630	0,3878	0,2059
Punto 3	0,0784	-0,0132	0,1170	0,5074	0,4290	0,1276
Punto 4	0,0306	-0,0026	0,0811	0,5830	0,4423	0,1409
Punto 5	0,1262	-0,0172	0,0559	0,6508	0,6508	0,1262
Promedio	0,1135	0,0349	0,1018	0,4683	0,4991	0,1669
Mínimo	0,0306	-0,0172	0,0559	0,2630	0,3878	0,1262
Máximo	0,1847	0,1262	0,1502	0,6508	0,6508	0,2338
DesvStad	0,0602	0,0650	0,0358	0,1638	0,1129	0,0497

Fuente: elaboración propia.

Tabla 11. **Resultados para análisis de silicatos [mg/L]**

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Punto 1	66,7448	113,0429	80,2097	94,6696	6,7164	78,5515
Punto 2	42,9324	53,9431	46,3815	33,1819	4,4612	12,0228
Punto 3	53,0808	76,8269	49,8970	29,3348	8,1756	17,2628
Punto 4	46,4479	31,6564	34,6412	26,8143	9,1706	12,1554
Punto 5	55,4687	70,4592	42,4681	34,2830	20,7783	11,9564
Promedio	52,9349	69,1857	50,7195	43,6567	9,8604	26,3898
Mínimo	42,9324	31,6564	34,6412	26,8143	4,4612	11,9564
Máximo	66,7448	113,0429	80,2097	94,6696	20,7783	78,5515
DesvStad	9,2099	30,1009	17,4339	28,6735	6,3551	29,2468

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Índices de contaminación calculados por semana**

Tabla 12. **Índices de contaminación**

Semana 1	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3308	0,3307	0,3311	0,3317	0,3217
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I oxígeno	0,9924	0,9922	0,9932	0,9952	0,9652
	ICOSUS	0,0352	0,0304	0,0310	0,0319	0,0307
	I sólidos	18,4000	16,8000	17,0000	17,3000	16,9000
Semana 2	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3913	0,3308	0,3306	0,3320	0,2917
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,1794	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I oxígeno	0,9946	0,9924	0,9918	0,9960	0,8751
	ICOSUS	0,0370	0,0388	0,0382	0,0376	0,0376
	I sólidos	19,0000	19,6000	19,4000	19,2000	19,2000
Semana 3	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3321	0,6653	0,3324	0,3325	0,6518
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
	I oxígeno	0,9964	0,9959	0,9972	0,9974	0,9553
	ICOSUS	0,0214	0,0190	0,0202	0,0226	0,0238
	I sólidos	13,8000	13,0000	13,4000	14,2000	14,6000
Semana 4	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3321	0,3320	0,3324	0,3325	0,3184
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I oxígeno	0,9964	0,9959	0,9972	0,9974	0,9553
	ICOSUS	0,0232	0,0250	0,0226	0,0250	0,0292
	I sólidos	14,4000	15,0000	14,2000	15,0000	16,4000

Fuente: elaboración propia.

Continuación de la tabla 12.

Semana 5	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3311	0,3313	0,3319	0,3271	0,3308
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I oxígeno	0,9934	0,9939	0,9956	0,9812	0,9925
	ICOSUS	0,0220	0,0244	0,0220	0,0244	0,0214
I sólidos	14,0000	14,8000	14,0000	14,8000	13,8000	
Semana 6	ICOMI	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333
	I conductividad	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	I dureza	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I alcalinidad	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	ICOMO	0,3306	0,3312	0,3308	0,3270	0,3306
	I DBO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I coliformes totales	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	I oxígeno	0,9919	0,9935	0,9925	0,9810	0,9918
	ICOSUS	0,0244	0,0226	0,0226	0,0226	0,0244
I sólidos	14,8000	14,2000	14,2000	14,2000	14,8000	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Fotos Humedal Guaymaral**

Foto 1. Club CAFAM – Colegio Viator: zona que no se encuentra en los límites del humedal.



Foto 2. Vertimiento de aguas residuales fuera de los límites del Humedal Guaymaral.



Foto 3. Excavación para enterrar desechos sólidos, frente a empresa privada de transportes.

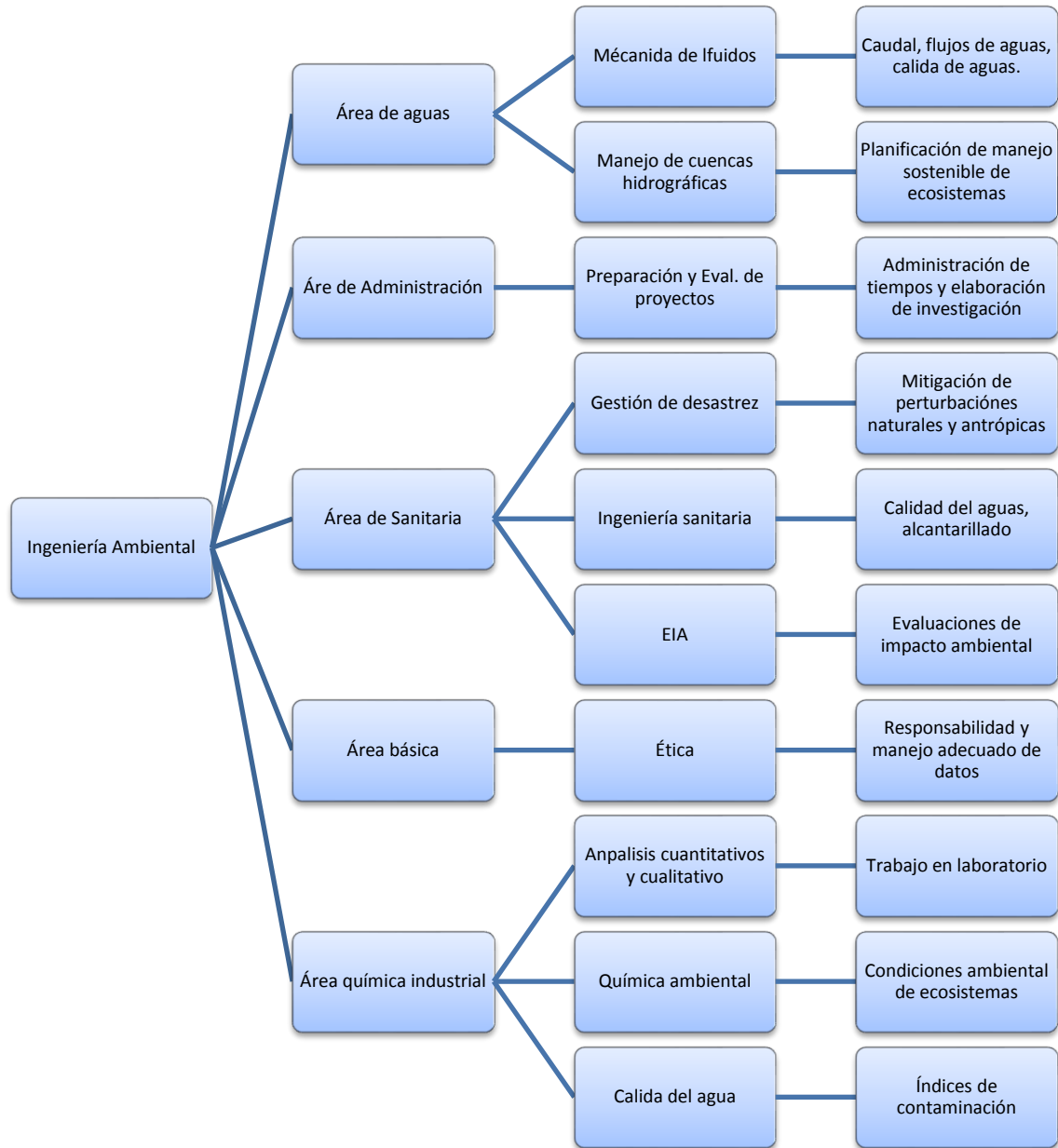


Foto 4. Límites Humedal Guaymaral y empresa privada.



Fuente: Humedal Guaymaral. 2014.

Apéndice 4. **Tabla requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

