

DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL DEL HUMEDAL LA
CONEJERA A PARTIR DEL ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA

NANCY ESPERANZA MADRID SOTO
DIANA DEL SOCORRO DAZA ARDILA

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.
2015

DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN AMBIENTAL DEL HUMEDAL LA
CONEJERA A PARTIR DEL ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA

NANCY ESPERANZA MADRID SOTO
DIANA DEL SOCORRO DAZA ARDILA

TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES

DIRECTORA
MAGNOLIA LONGO Dr. Biol.

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
BOGOTÁ D.C.
2015

Nota de Aceptación:

DIRECTORA
Dr. Biol. MAGNOLIA LONGO

JURADO
Dr. EDILBERTO LEÓN

Bogotá D.C., 28 de Enero de 2015

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a Dios quien me tendió la mano a través de sus ángeles terrenos, quienes me ayudaron en todo momento para poder culminar esta etapa en mi vida.

A mis abuelitos quienes aunque no están presentes físicamente, sé que me han cuidado y acompañado siempre.

A mis padres, hermanos y sobrinos quienes me han brindado su apoyo y comprensión cuando he compartido con ellos los buenos y malos momentos de esta travesía.

A mi esposo José, a mis hijos Iván y Daniel, a mi nuera Sandy y a mi nieta Karen Sofía, por quienes me he inspirado y motivado para continuar creciendo como ser humano e intelectualmente.

Nancy Madrid Soto

A DIOS creador y dador eterno.

A mis Padres por sostener y admitir mi devenir en esta vida.

A mi Hermana Stella en quien deposito toda mi confianza.

A mi Esposo William Fernando por ser el impulso que dinamiza mi existir.

A mi Hijito amado Isaac por mostrarme una nueva dimensión de la felicidad y finalmente, después de tanto trasegar enseñarme ¿qué es la vida?

Diana Daza Ardila

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por iluminar nuestro camino permitiéndonos lograr nuestras metas bajo su voluntad e infinita protección.

También queremos dar un agradecimiento muy especial al doctor Edilberto León Peña, director de la Maestría en Ciencias Ambientales, por su sabiduría, por la confianza que depositó en nosotras, pero sobre todo por su motivación, disposición y apoyo a lo largo de este proceso.

A la doctora Magnolia Constanza Longo Sánchez por la dirección y guía, por el tiempo invertido en las asesorías y correcciones, por el apoyo con sus conocimientos transmitidos y por sus orientaciones para consolidar este trabajo.

Al doctor Guillermo Rueda Delgado, por proporcionarnos el apoyo, la orientación, el acompañamiento, la orientación y los valiosos conocimientos aportados durante la fase de campo, la fase de laboratorio y la interpretación de datos, esenciales para el desarrollo de este proyecto.

Al profesor Efraín Ruíz, docente de la asignatura de humedales, por los contactos facilitados con la fundación Humedal La Conejera, por sus aportes, conocimientos y orientaciones sobre el conocimiento de estos ecosistemas.

Al ingeniero Luis Alejandro Moreno, por su colaboración, por su constante apoyo, por sus valiosos consejos y por el tiempo de dedicación en la logística y el trabajo de laboratorio, fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la Fundación Humedal La Conejera por su colaboración al permitir el ingreso al humedal para realizar el trabajo de campo, en especial en aquellas zonas en donde el proceso de recuperación no permite el acceso al público, por su acompañamiento y guía en el desplazamiento y la toma de muestras.

Igualmente queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestras familias por su constante comprensión, apoyo, consideración durante este proceso.

También queremos agradecer al personal del Laboratorio de Limnología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, al personal administrativo, al personal de almacén de laboratorios y al personal de mantenimiento de equipos de laboratorio, por proporcionar los espacios y recursos para realizar la fase de campo y la fase de laboratorio.

Por último queremos agradecer a todas aquellas personas quienes con su ayuda permitieron realizar esta tesis. ¡A todos ustedes, muchas gracias!

CONTENIDO

RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. MARCO REFERENCIAL.....	21
3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	21
3.1.1 VARIABLES FISICOQUÍMICOS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS.....	21
3.1.2 GENERALIDADES DE LOS HUMEDALES.....	35
3.2 MARCO LEGAL.....	42
4. HIPÓTESIS.....	47
5. OBJETIVOS.....	49
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	49
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	49
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
6.1 ÁREA DE MUESTREO.....	51
6.1.1 CLASIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DEL HUMEDAL LA CONEJERA.....	53
6.1.2 PUNTOS DE MUESTREO.....	54
6.2 FASE DE CAMPO.....	60
6.3 FASE DE LABORATORIO.....	61
6.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	62
7. RESULTADOS.....	63
7.1 CONDICIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL EN EL HUMEDAL LA CONEJERA.....	63
7.1.1 TEMPERATURA.....	64
7.1.2 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	65
7.1.3 PH.....	67
7.1.4 ALCALINIDAD.....	68
7.1.5 DUREZA TOTAL.....	69
7.1.6 OXÍGENO DISUELTO.....	70
7.1.7 PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO.....	71
7.1.8 TRANSPARENCIA.....	73
7.1.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	73

7.2 MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO EN SEDIMENTOS DEL HUMEDAL LA CONEJERA	75
7.3 VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN AGUAS Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA ORGÁNICA Y EL CARBONO ORGÁNICO EN SEDIMENTOS.....	76
7.4 CARACTERIZACIÓN POR EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN	78
7.5 FUNCIONES CANÓNICA DISCRIMINANTE	78
7.6 CARACTERIZACIÓN DE UNGEMACH.....	80
8. DISCUSIÓN	81
8.1 CONDICIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SEDIMENTO.....	81
8.2 CORRELACIONES DIRECTAS	89
8.3 CORRELACIONES INVERSAS	92
8.4 CONDICIÓN AMBIENTAL.....	97
8.4.1 CARACTERIZACIÓN POR EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN	97
8.4.2 CARACTERIZACIÓN A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DISCRIMINANTE.....	98
8.4.3 CARACTERIZACIÓN DE UNGEMACH.....	99
8.4.4 CARACTERIZACIÓN SEGÚN USO.....	100
9. CONCLUSIONES	106
10. RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con la conductividad eléctrica	23
Tabla 2. Clasificación de la calidad agua de acuerdo con la alcalinidad	24
Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según dureza total	25
Tabla 4. Clasificación del agua de acuerdo con la dureza no carbonatada	26
Tabla 5. Normas legales y su aplicación específica para humedales en Colombia, con énfasis especial en el Humedal La Conejera	42
Tabla 6. Clasificación del Humedal La Conejera según Política Distrital de Humedales	53
Tabla 7. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo en el humedal La Conejera	55
Tabla 8. Métodos empleados para el análisis Físico-Químico de las aguas del humedal	60
Tabla 9. Métodos empleados para DQO, % CO, % MO	62
Tabla 10. Caracterización de las seis estaciones de muestreo en el Humedal La Conejera	63
Tabla 11. Datos promedio y coeficiente de variación de los valores en agua, obtenidos de seis estaciones durante cinco meses de muestreo en el Humedal La Conejera	64
Tabla 12. Datos de temperatura en aguas, medida en °C promedio desviación estándar y coeficiente de variación	64
Tabla 13. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de temperatura	65
Tabla 14. Conductividad eléctrica en aguas, medida como $\mu\text{s}/\text{cm}.$, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	66
Tabla 15. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de conductividad eléctrica	66

Tabla 16. Datos de pH en aguas, promedio desviación estándar y coeficiente de variación.	67
Tabla 17. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de pH	67
Tabla 18. Alcalinidad en aguas, medida como mg/L de CaCO ₃	68
Tabla 19. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de alcalinidad	69
Tabla 20. Dureza total en aguas, medida como mg/L de CaCO ₃ , promedio desviación estándar y coeficiente de variación	69
Tabla 21. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de dureza total	70
Tabla 22. Datos de Oxígeno Disuelto OD en aguas, medida mg/L, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	71
Tabla 23. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de oxígeno disuelto	71
Tabla 24. Porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	72
Tabla 25. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de oxígeno disuelto	72
Tabla 26. Demanda química de oxígeno, medida como mg/L de OD, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	74
Tabla 27. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de demanda química de oxígeno	74
Tabla 28. Materia orgánica en sedimentos, medida como %MO, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	75
Tabla 29. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de materia orgánica	75
Tabla 30. Carbono orgánico en sedimentos, medida como %CO, promedio desviación estándar y coeficiente de variación	76
Tabla 31. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la prueba DHS de Tukey para los datos de carbono orgánico	76

Tabla 32. Correlaciones de Pearson y su nivel de significancia para las variables fisicoquímicas analizadas	77
Tabla 33. Índice conjugado de Contaminación por Mineralización ICOMI	78
Tabla 34. Correlaciones entre estaciones combinada entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas estandarizadas	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del Humedal La Conejera	51
Figura 2. Quebrada La Salitrosa	52
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo dentro del humedal La Conejera	54
Figura 4. E1, Descarga de la Quebrada La Salitrosa	55
Figura 5. E2, Sendero de Los Curíes	56
Figura 6. E3, Puente del Mirador	57
Figura 7. E4, FWS	58
Figura 8. E5, Afidro	59
Figura 9. E6, Lago EAAB	59
Figura 10. Funciones Canónicas Discriminantes	79
Figura 11. Clasificación del contenido de materia orgánica según Ungemach en las estaciones de muestreo en el humedal La Conejera	80
Figura 12. Comparación espacio temporal del pH con el nivel permisible según el Decreto 1594 de 1984	103
Figura 13. Comparación espacio temporal del oxígeno disuelto con el nivel permisible según el Decreto 1594 de 1984	104

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tabla de datos parámetros fisicoquímicos agua superficial Humedal La Conejera	116
Anexo B. Tabla de otros datos de agua superficial Humedal La Conejera	119
Anexo C. Tablas de datos sedimentos Humedal La Conejera	122
Anexo D. Registro fotográfico fase de trabajo de campo	124
Anexo E. Registro fotográfico fase de trabajo de laboratorio	132
Anexo F. Plano Humedal La conejera	133

RESUMEN

Los humedales andinos son sistemas de alta complejidad ecológica funcional y estructural, caracterizados como áreas de inundación, donde la capa freática aflora en la superficie o en suelos de baja permeabilidad cubiertos por agua poco profunda. Ofrecen diversos tipos de bienes y servicios ecosistémicos y en el caso específico del Humedal La Conejera está íntimamente relacionado con las poblaciones humanas que se asientan en su ronda; como resultado de esta relación se ha visto afectado hasta casi perder todas sus funciones ecológicas; así pues, se pretende a través del estudio de los parámetros fisicoquímicos, en especial el análisis de la materia orgánica, evaluar la condición ambiental del mismo.

En el agua superficial se evaluaron las variables: profundidad, temperatura, transparencia, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza total, porcentaje de saturación de oxígeno y DQO; en sedimentos porcentaje de carbono orgánico, porcentaje de materia orgánica. Los datos fueron procesados con el Paquete Estadístico SPSS Versión 13,0.

Se encontró una heterogeneidad espacial en el Humedal como repuesta a los procesos de recuperación ambiental, no obstante el humedal se encuentra en un proceso de franco deterioro comprobado en los estados eutróficos y anóxicos de cuatro estaciones y apenas un leve incremento de OD, zona fótica y ampliación del espejo de agua en una pequeña área delimitada y sin acceso a visitantes.

INTRODUCCIÓN

Los humedales altoandinos son ecosistemas de alta complejidad ecológica, caracterizados por ser áreas de transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos, y en donde el nivel del agua está usualmente cerca o sobre la superficie del suelo, o la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Díaz Espinoza, Díaz Triana, & Vargas Ríos, 2012). Los humedales de la Sabana de Bogotá, son considerados como ecosistemas estratégicos, que prestan bienes y servicios ambientales, tales como: la regulación climática, la depuración hídrica, control de erosión; además, prestan servicios culturales considerados beneficios intangibles de los ecosistemas, como el turismo, la recreación y el disfrute espiritual; y, servicios de soporte y hábitat o funciones ecológicas que subyacen a la generación de todos los demás servicios. (Gómez Baggethun , 2013)

La conservación de la estructura y la función ecológica de los humedales determinan su condición ambiental y, por supuesto, de allí se derivan los valores y servicios ambientales que ofrecen. Así pues, cuando los humedales se ven impactados por factores antrópicos de cambio, tienen como resultado una secuencia de modificaciones que solamente pueden rastrearse en períodos prolongados de tiempo, en esta investigación se realizó un seguimiento al Humedal La Conejera, respecto a la caracterización fisicoquímica en agua superficial y sedimentos, que genera resultados sobre la condición ambiental del Humedal, como soporte para analizar sus procesos ecológicos.

Los estudios que pretenden determinar la condición ambiental de ecosistemas, como el presente para el Humedal La Conejera, están en sincronía con las propuestas de acción, que se plasmaron como resultado de la Conferencia Río +20, *El Futuro Que Queremos*, donde se reconoce la necesidad de incorporar a los estudios ecológicos las miradas del desarrollo sostenible, integrando sus aspectos económicos, sociales y ambientales. (Naciones Unidas ONU, 2012).

Para evaluar la condición ambiental del Humedal La Conejera, se tomó el modelo de desarrollo que propende por la conservación de la calidad ambiental de los ecosistemas, asumiendo el enfoque ecológico, que busca la coincidencia de la situación actual y la propia del estado del clímax del ecosistema en consideración; por encima del enfoque antropológico, que considera la calidad ambiental según, si el ecosistema satisface las expectativas de las poblaciones humanas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La Sabana de Bogotá cuenta con 14 humedales de valor ambiental, cultural y económico, uno de ellos es el Humedal La Conejera, que reviste gran importancia por los bienes y servicios ecosistémicos que presta, se puede identificar como uno de los acuíferos de mayor importancia para el noroccidente de la Capital; sin embargo, ha venido enfrentando una gran presión antrópica que ha modificado su composición, estructura y función ecológica.

La presión antrópica del humedal ha sido sistemática y se ha facilitado gracias al imaginario común entre la población, que asume estos humedales como charcales que impide el desarrollo humano; resultado de esta apreciación, se ha permitido, históricamente, el vertido de aguas negras, disposición de residuos sólidos urbanos y su relleno, hasta casi su desaparición.

¿El análisis de los datos obtenidos de la condición fisicoquímica del agua, incluida la materia orgánica en sedimento, permiten evaluar la condición ambiental del Humedal La Conejera?

Los humedales altoandinos, son ecosistemas naturales dinámicos, que cumplen diversas funciones, asociadas a: equilibrio y amortiguación de los flujos hídricos superficiales y subterráneas; regulan el ciclo hídrico superficial y de recarga de acuíferos, retienen sedimentos, controlan la erosión, estabilizan el microclima, retienen carbono, regulan los ciclos de nutrientes y de descomposición de biomasa, entre otras funciones físicas y químicas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2002)

Los humedales andinos, también, son ecosistemas de importancia regional por su alta productividad, por su gran diversidad genética, poblacional y como paisaje; Además, presentan importancia ecológica para otras regiones del planeta, así pues, algunas especies de aves migratorias dependen, al menos estacionalmente, de los humedales y sus zonas adyacentes como fuente de alimentación y sitio de descanso. Igualmente desde el enfoque antropológico, son sistemas productivos relacionados directamente con actividades económicas como pesca artesanal, caza, recolección, pastoreo, y agricultura, por lo tanto son recursos hidrobiológicos que soportan el desarrollo de poblaciones humanas.

Sin embargo, y pese a su amplia importancia, los humedales están sujetos a factores naturales y antropogénicos que los modifican significativamente ocasionando en ellos efectos y perturbaciones notables. En la Sabana de Bogotá, los humedales no son ajenos a esta realidad, la migración humana del campo a la ciudad, el aumento de la población, la expansión urbanística y el desarrollo vial e industrial, han perturbado estos ecosistemas naturales y ha generado transformaciones considerables que los alejan de sus estados iniciales o de equilibrio.

El Humedal La Conejera, hace parte de la microcuenca del Río Bogotá, su principal afluente es la Quebrada La Salitrosa, que nace en el Cerro La Conejera. Este humedal regulaba el caudal del Río Bogotá, tanto en época de lluvias como en temporadas de estiaje, manteniendo un nivel hídrico estable. En la actualidad el humedal ha perdido su capacidad de regulación debido a varios factores, como son: el taponamiento de los drenajes naturales, la escorrentía superficial derivada del urbanismo, el vertimiento de aguas residuales domésticas procedentes de barrios vecinos, la desecación de un porcentaje considerable de su área con fines agrícolas y urbanísticos, la explotación de aguas subterráneas para floricultura y aprovisionamiento rural, la destrucción de la cobertura vegetal original y más recientemente la invasión de las rondas y

cuerpo de agua para actividades como pastoreo, agricultura y urbanización. (EEI/HIDROMECAÑICAS LTDA, 1997)

Actualmente el Humedal La Conejera, recibe un caudal de aguas negras provenientes de los barrios circundantes, a partir de este proceso se ha generado una actividad metabólica diferente a la del ecosistema natural, que puede ser abordada desde el estudio de la materia orgánica presente en el humedal y que se constituye en información fundamental para comprender las transformaciones que sufren los materiales depositados en el fondo del mismo. Por lo tanto, se pretende determinar las variables fisicoquímicas de la superficie del agua y el contenido de materia orgánica y carbono orgánico de los sedimentos del Humedal La Conejera y así buscar la relación que se establece entre los mecanismos de transformación de la materia orgánica y la condición ambiental del ecosistema.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se relaciona el contenido de materia orgánica en sedimentos con la concentración de DQO en agua para estaciones del Humedal La Conejera que presentan diferente manejo ambiental?

2. JUSTIFICACIÓN

Los humedales de Bogotá son ecosistemas de gran importancia biológica, social y cultural y se encuentran en la categoría de Parque Ecológico Distrital según el Decreto 469/03. Corresponden a un escenario que, por razones históricas y de la dinámica de la ciudad, ha quedado inmersos en un medio urbano en el cual tanto su estructura como sus funciones han sido fuertemente alteradas. (Montoya Villarreal, 2011). Este es el caso del Humedal La Conejera, en la actualidad encuentra amenazadas su estructura y su función ecológica, principalmente por el aporte significativo de aguas negras de los barrios circunvecinos; al ser básicamente materia orgánica, es necesario realizar una evaluación de los parámetros fisicoquímicos, que incluyan la materia orgánica como indicador del estado de la calidad ambiental.

Determinar el estado o salud ecológica de un ecosistema brinda herramientas útiles para su gestión y conservación (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010), la información relacionada con la materia orgánica en el Humedal La Conejera se establece como un conocimiento base que puede servir para evaluar la capacidad de carga del ecosistema en cuanto a recepción de aguas servidas y también a las acciones de turismo pasivo y contemplación paisajística. Los resultados este trabajo de grado pueden constituirse en un elemento de acción para la autoridad ambiental, así como insumo para las actividades de grupos organizados de ciudadanos, que como se establece en el documento *Declaración Comunitaria Humedales para la Vida*, los grupos ambientales consideran "...Muchas comunidades que habitamos en áreas rurales y urbanas dependemos de los humedales con los que convivimos y a los que protegemos como soporte de nuestras prácticas de subsistencia y nuestras economías" (Instituto Humbolt, 2013). Así pues, los soportes científicos son necesarios para guiar las acciones de protección de ecosistemas, incluido el Humedal La

Conejera, buscando construir modelos de gestión, de responsabilidad compartida y de uso sustentable de los bienes y servicios que el mismo ofrece.

3. MARCO REFERENCIAL

El cuerpo teórico que sustenta esta investigación está representado por el análisis de los parámetros fisicoquímicos, los humedales andinos y un marco legal que determina las acciones de la sociedad civil y la autoridad ambiental en este tipo de ecosistemas.

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Variables fisicoquímicas en ecosistemas acuáticos

Los factores fisicoquímicos del agua se refieren a todas aquellas variables ambientales que influyen en la estabilidad y productividad de los ecosistemas acuáticos. Dentro de éstos se encuentran la luz solar, los gases disueltos y los sólidos disueltos (Roldan1992). Debido a su influencia en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, los factores fisicoquímicos son excelentes indicadores del estado o la calidad de estos. (UNAL, 2007)

3.1.1.1 Temperatura

Es un parámetro importante por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y, en aguas de enfriamiento, la polución térmica es significativa. (Romero J. , 1999)

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua. En general los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella.

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperaturas de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Sawyer, McCarter, & Parkin, 2001)

3.1.1.2 pH

Es el término utilizado para expresar el carácter ácido o básico de una solución. El pH es el potencial de hidrogeniones (H⁺) que indica la concentración de estos iones en el agua y está íntimamente involucrado con la acidez, la alcalinidad y la basicidad. Para el pH se definió una escala que va de 0 a 14, en la cual valores menores de 7 corresponden a soluciones ácidas, valores mayores de 7 a soluciones básicas y un valor de 7 a soluciones neutras. (Suarez, 1998) El pH puede alterarse de acuerdo al grado de eutroficación y a las modificaciones del sistema carbonatos del agua dadas por la producción de CO₂ (durante la respiración por parte de los organismos heterotróficos) o por el consumo de este gas (debido a la fotosíntesis de los organismos autotróficos). (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

El agua se transforma en un medio ácido corrosivo debido fundamentalmente a su contenido en CO₂ (y otros ácidos) que posibilitan la disolución de rocas y minerales básicos, que en última instancia vuelven a precipitar en el medio oceánico.

Así pues, el pH del agua proviene de un equilibrio entre la disolución del dióxido de carbono y de las rocas básicas (silicatos, aluminosilicatos, y carbonatos, sobre todo) en el agua. Más exactamente, el pH en realidad responde casi específicamente a la extensión en la disociación del CO₂ disuelto (ácido carbónico) en sus especies carbonatadas relacionadas, cargadas negativamente

que deberán compensarse con la existencia en el medio hídrico de cargas positivas provenientes de bases minerales fuertes (Na^+ , K^+ , Ca^{+2}). (Rodriguez M, 1999)

El rango normal está entre cinco y nueve; valores inferiores o superiores determinan condiciones extremas para el desarrollo de muchas especies. (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010)

3.1.1.3 Conductividad eléctrica

La medida de la conductividad indica la cantidad de iones presentes en el agua y se expresa en mg/L o microsimens/cm. La conductividad mide la cantidad total de iones y se basa en la capacidad que tiene una solución de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración de iones presentes. (UNAL, 2007) En general una alta conductividad indica baja diversidad de especies, se mide con un conductímetro. (Tabla 1)

Tabla 1. Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con la conductividad eléctrica

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ($\mu\text{s}/\text{cm}$)		
Concentración	Fuente	Calidad
3500 – 100000	CFS	Saladas
300 – 18000	CFS	Salobres
Hasta 400	RD	Deseable potable
Hasta mineralización	RD	Tolerable potable
400	CEE	Consumo humano
> 300	Donato	Conductividad alta
200 – 300	Donato	Conductividad media
150 – 200	R	Conductividad baja
< 150	Donato	Conductividad muy baja
20-50	R	Alta montaña

Fuente: CFS: Canadian Forestry Service; RD: Real Decreto; CEE: Comunidad Económica Europea, en Ministerio de Obras Públicas y Transporte (1992). R: Roldan (1992), Fuente: RAMÍREZ GONZÁLEZ Alberto y VIÑA VIZCAÍNO Gerardo. Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Colombia, BP Exploration Company (Colombia), 1998. P. 70. Fuente: DONATO R. John. Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (Río Tota, Boyacá). Bogotá D.C. : Universidad Nacional de Colombia, 2008. p. 46.

Riqueza iónica: valores superiores a 400 microsimens/cm pueden indicar condiciones de contaminación y estrés para los organismos en ecosistemas de aguas dulces. (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010)

3.1.1.4 Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como la capacidad para neutralizar ácidos. La alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases fuertes o débiles también pueden contribuir. Los bicarbonatos son los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad, puesto que se forman en cantidades considerables por la acción del dióxido de carbono sobre la materia básica del suelo. Otras sales de ácidos débiles, tales como boratos, silicatos y formatos pueden estar presentes en pequeñas cantidades.

Tabla 2. Clasificación de la calidad agua de acuerdo con la alcalinidad

ALCALINIDAD (mg/L)		
Concentración	Fuente	Calidad
0-40	CFS	Dulces blandas
41-200	CFS	Dulces blandas
> 200	CFS	Salobres
< 200	CFS	Saladas
30	CEE	Potable mínimo
20-200	USA	Vida piscícola
30-500	NyV	Abastecimiento humano
< 25	NyV	Alta montaña
25-50	NyV	Curso medio
50-100	NyV	Macizos cristalinos
100 - 150	NyV	Curso inferior
150 - 250	NyV	Aguas muy productivas
250 - 350	NyV	Aguas contaminadas
>350	NyV	Aguas contaminadas

Fuente: CFS: Canadian Forestry Service; CEE: Comunidad Económica Europea; USA: Estados Unidos; N y V: Nisbet y Verneaux, en Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1992), citado en: Fuente: RAMÍREZ GONZÁLEZ Alberto y VIÑA VIZCAÍNO Gerardo. Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Colombia, BP Exploration Company (Colombia), 1998. p. 70 (Ramírez González & Viña Vizcaíno, 1998)

En aguas contaminadas se pueden producir sales de ácidos débiles como el ácido acético, propiónico y sulfuros de hidrógeno, que podrían contribuir a la alcalinidad. En ciertas condiciones, las aguas naturales pueden ser alcalinas debido a cantidades apreciables de hidróxidos y carbonatos. Esto sucede particularmente en aguas superficiales con algas en crecimiento. Las algas toman el CO₂ que se encuentra en forma libre y combinada de tal forma que la alcalinidad alcanza un pH entre 9 y 10. (Sawyer, McCarter, & Parkin, 2001) (Tabla 2).

3.1.1.5 Dureza total

Es una característica química del agua que está determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. Generaciones antiguas acuñaron la frase “agua dura” porque esto hace difícil la limpieza. El agua dura es aquella que posee cantidades variables de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. La dureza total es directamente proporcional a la concentración de dichas sales. (Tabla 3). (Ortiz, 1999)

Tabla 3. Clasificación de la calidad del agua según dureza total

Dureza como CaCO ₃ mg/L	Interpretación
0–75	Agua suave
75–150	Agua poco dura
150 – 300	Agua dura
> 300	Agua muy dura

Fuente: CLAIR, Sawyer; McCARTY, Perry y PARKIN, Gene. Química para ingeniería ambiental. Bogotá D.C.: McGraw Hill, 2000. p. 523.

La dureza total es la medida de la concentración de calcio y magnesio. La dureza temporal, está determinada por el contenido de carbonato y bicarbonato de calcio y magnesio. Puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación de precipitados formados por filtración, también se le conoce como “dureza de carbonatos”. La dureza permanente está determinada por todas las

sales de calcio y magnesio excepto carbonatos y bicarbonatos. No puede ser eliminada por ebullición del agua y también se le conoce como “dureza de no carbonatos” (Tabla 4). (Romero J. , 1999)

Tabla 4. Clasificación del agua de acuerdo con la dureza no carbontada

DUREZA TOTAL (mg/L)		
Concentración	Fuente	Calidad
150	R.D.	Deseable potable
60	CEE	Potable mínimo
60–120	USA	Abastecimiento humano (Deseable)
300 – 500	USA	Abastecimiento humano (permisible)
< 10	NyV	Oligotrófica
10-20	NyV	Productividad Débil
20–40	NyV	Productividad mediocre
40-80	NyV	Productividad media
80-110	NyV	Eutrofia
110 - 150	NyV	Aguas duras
> 150	NyV	Aguas incrustantes muy duras

Fuente: RD: REAL Decreto; CEE: Comunidad Económica Europea; N y V: Nisbet y Verneaux. USA: Estados Unidos, en Ministerio de Obras Públicas y Transportes (1992), citado en: Fuente: RAMÍREZ GONZÁLEZ Alberto y VIÑA VIZCAÍNO Gerardo. Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Colombia, BP Exploration Company (Colombia), 1998. p. 70

3.1.1.6 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es uno de los gases más importantes en un sistema acuático, ya que es fundamental para los organismos aerobios y para la degradación de la materia orgánica. Llega al agua por difusión de la atmósfera o por fotosíntesis. Es un gas de baja solubilidad en el agua; en aguas dulces oscila entre 7mg/L a 35°C y 14,6mg/L a 0°C para presión de una atmósfera. la solubilidad del oxígeno aumenta a medida que la temperatura disminuye. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto OD, limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de oxígeno disuelto es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua. El valor de saturación de oxígeno ideal es 100%. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

De la concentración de oxígeno dependen procesos como: reaireación,

oxidación materia orgánica, nitrificación, demanda béntica, fotosíntesis y respiración. (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010)

La determinación de oxígeno disuelto es el fundamento del cálculo de la demanda bioquímica de oxígeno y de la valoración de las condiciones de aerobividad de un agua. En general, todo proceso aerobio requiere una concentración de oxígeno disuelto mayor de 0,5mg/L. El suministro de oxígeno y las concentraciones de oxígeno disuelto en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras de aguas residuales son aspectos de la mayor importancia en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

La cantidad de oxígeno que se transfiere al agua residual, en un tanque de aireación de un proceso de lodos activados, debe ser suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbial existente en el sistema de tratamiento y para mantener un residual de oxígeno disuelto generalmente del orden de 2mg/L. En aguas naturales, para evitar efectos perjudiciales sobre la vida acuática se recomienda emplear concentraciones mayores a 4mg/L. (Romero J. , 1999)

3.1.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El parámetro Demanda Química de Oxígeno DQO, se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica. (Romero J. , 1999)

3.1.1.8 Nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés por su importancia en la atmósfera y en los procesos vitales de las plantas y animales. El nitrógeno puede

existir en siete estados de oxidación y todos los compuestos son de interés. Sin embargo, en los sistemas acuáticos sólo predominan unos pocos estados de oxidación y éstos son los que tienen más importancia en lo que se refiere a la calidad del agua: NH_3 ; N_2 ; N_2O_3 ; N_2O_5 .

La atmósfera sirve como reservorio de nitrógeno, de donde se puede extraer nitrógeno constantemente por la acción de una descarga eléctrica y de las bacterias que fijan el nitrógeno. Durante las tormentas eléctricas, grandes cantidades de nitrógeno son oxidadas a N_2O_5 y su unión con el agua produce ácido nítrico HNO_3 , que es transportado a la tierra por la lluvia. En la producción comercial de fertilizantes, los nitratos también son producidos por oxidación directa del nitrógeno o del amoníaco. Los nitratos sirven para fertilizar la vida vegetal y son convertidos a proteínas. El nitrógeno atmosférico también es convertido a proteínas por las bacterias “fijadoras de nitrógeno”.

Los compuestos de amoníaco y de amonio se suministran al suelo para producir más proteínas. La urea es uno de los compuestos más conocidos del amonio debido a que produce la liberación gradual de amoníaco. Los seres humanos y los animales no tienen la posibilidad de utilizar el nitrógeno de la atmósfera ni de los compuestos orgánicos para producir proteínas. Para obtener proteínas, dependen de las plantas o de otros animales que se alimentan de planta. Las heces de los animales contienen cantidades apreciables de proteína no asimilada (nitrógeno orgánico) ésta y la proteína que queda en el cuerpo de los animales y planta que mueren se convierten en gran medida a amoníaco por la acción de las bacterias heterótrofas, en condiciones aeróbicas y anaeróbicas.

La importancia ambiental de realizar análisis de las diferentes formas del nitrógeno en aguas potables y contaminadas, tiene relevancia desde que se confirmó que el agua era un vehículo para la transmisión de enfermedades. (Sawyer, McCarter, & Parkin, 2001)

El nitrógeno y el fósforo constituyen los elementos más importantes para la productividad primaria en los sistemas acuáticos. Estos iones varían con los periodos de lluvia y sequía. La relación entre el nitrógeno y el fósforo en biomasa es aproximadamente 7:2, por lo tanto relaciones N:P menores a 7:2 sugieren que el nitrógeno es el factor limitante. Otros autores consideran que la relación óptima está entre 10:16 (Roldán 1992) (UNAL - CORMAGDALENA, 2007) Si la relación está entre 10 y 16, no hay limitación para los organismos; si es menor a 10, el nitrógeno es limitante; si es mayor a 16, el fósforo es limitante. (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010)

Por su parte, el fósforo es un elemento biogénico fundamental para la vida, ya que hace parte de moléculas como ATP, ADN y ARN. Su concentración en los lagos tropicales es por lo general baja, aunque en sistemas muy influenciados por las actividades humanas, puede alcanzar valores que llegan a la eutrofia. Sin embargo, en el trópico la alta temperatura estimula el metabolismo de las macrófitas y del fitoplancton y por lo tanto hay un elevado consumo de fósforo. Además, la disponibilidad de ortofosfatos en el agua (la forma soluble que es utilizable por las plantas) disminuye en presencia de oxígeno elevado, altas cantidades de hierro y pH básicos. Bajo estas condiciones el hierro tiende a sedimentarse en el fondo de los lagos. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

El conjunto de formas químicas de nitrógeno por encima de 5 mg/L indica eutrofia, al igual que el conjunto de formas químicas del fósforo, dentro de las cuales los fosfatos son importantes para el crecimiento del fitoplancton, por encima de 0,1 mg/L indica eutrofia. (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010)

3.1.1.9 Carbono orgánico (CO)

Los humedales son ecosistemas con altas tasas de sedimentación con altos contenidos de materia orgánica, debido a los aportes de los cuerpos de aguas que los surten, en especial aquellos que reciben aguas residuales urbanas.

Igualmente, la descomposición vegetal, la descomposición de desechos animales y otros, aumenta los contenidos de materia orgánica, los cuales se depositan finalmente en el sedimento. Otras fuentes de materia orgánica son el material erosionado, los lixiviados y la producción primaria dentro del ecosistema acuático.

Los sedimentos cumplen una función reguladora en los humedales, puesto que constituyen una fuente de almacenamiento de nutrientes como materia orgánica y por consiguiente de carbono orgánico.

El contenido tanto de materia orgánica como de carbono orgánico en los sedimentos superficiales, afectan de manera directa el balance de oxígeno en la columna de agua, puesto que en esta dinámica, el metabolismo de los microorganismos, en su función de degradación de materia orgánica, aumenta de la demanda de oxígeno disuelto tanto de la columna de agua como de la zona intersticia (Gómez Baggethun , 2013)

La materia orgánica es la fuente de energía de los microorganismos del sistema sedimentario. El carbono orgánico es el principal constituyente de la materia orgánica de los sedimentos superficiales.

3.1.1.10 *Materia orgánica (MO)*

La materia orgánica es un término utilizado para representar el material orgánico existente en un cuerpo de agua en forma natural, como producto de la humificación en los suelos que drenan hacia el agua y que se origina en la descomposición del material orgánico. La disolución de materia orgánica proviene de la descomposición química y microbiológica de residuos orgánicos tanto vegetales como animales.

Al interior del sedimento se forma un gradiente en la concentración de los

elementos nutritivos desde los puntos donde se generan, o están en mayor concentración, hasta los lugares donde se consumen o hacia la columna de agua. La velocidad de dicho flujo depende principalmente, del gradiente de concentración, del coeficiente de difusión específico de cada ion, y de las características del sedimento. (Navas, Zea, & Campos, 2003)

El nitrógeno y el fósforo en ecosistemas acuáticos se encuentran principalmente en forma disuelta como iones nitrato (NO_3^-) amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- dependiendo del pH). La mayoría del N y P entra a los ecosistemas lénticos por los ríos y escorrentía, como parte de la materia orgánica particulada y disuelta, y en forma inorgánica disuelta. Gran parte de este material cae en el sedimento, donde se entierra, o es involucrado gradualmente en diversos procesos físicos, químicos y biológicos, que terminan por liberar los iones que la componen.

La cantidad de nitrógeno y de fósforo que fluye del sedimento varía también de acuerdo con el régimen climático que, determina la cantidad y calidad de la materia orgánica que entra por aporte de los ríos y por escorrentía. y las características fisicoquímicas del agua sobrenadante, las cuales a su vez condicionan tanto a la comunidad presente como a los procesos químicos y biológicos. En lagunas tropicales someras, los intercambios de N y P entre el agua y el sedimento pueden ser modificados por la resuspensión de sedimentos producto del régimen de vientos, y se ha demostrado que el sedimento aporta una fracción significativa de los requerimientos de nitrógeno y fósforo del fitoplancton en la columna de agua, constituyendo un gran porcentaje de N y P requeridos. (Navas, Zea, & Campos, 2003)

El fósforo contenido en el material sedimentado puede ser liberado o incorporado al sedimento de acuerdo con la cantidad y la naturaleza de la materia orgánica que se deposita, a la actividad de los organismos y a las características (en

especial al potencial redox) de los sedimentos. Generalmente los fosfatos son retenidos en sedimentos oxidados, como es el caso de las capas superiores del sedimento. Además, parte de éste puede ser retenido por adsorción de los iones disueltos en las partículas de sedimento y en agregados orgánicos y por la formación de hidróxidos de hierro y aluminio. Sin embargo, parte del fósforo constituyente de la materia orgánica depositada recientemente sobre el sedimento se libera rápidamente a partir de la actividad degradadora de bacterias y alimentaria de ciliados. Parte del fósforo depositado o acumulado en las capas más profundas del sedimento es también liberado gradualmente por procesos de reducción química.

El nitrógeno presente en la materia orgánica del sedimento es utilizado por los organismos bentónicos, incorporándolo en sus tejidos, o como medio para obtener energía. Los principales procesos bioquímicos que involucran al nitrógeno en el sedimento son la amonificación, la nitrificación, la desnitrificación y la fijación de nitrógeno.

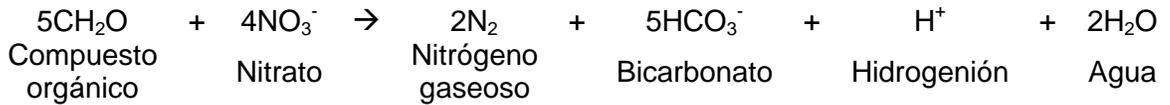
La degradación de la materia orgánica en los cuerpos de agua lénticos y las reacciones físico químicas involucradas constituyen un espacio bastante favorable para la actividad bacteriana. Los humedales se caracterizan por ser depósitos de materia orgánica en altas cantidades y por ello los niveles de oxígeno disuelto se pueden ver bastante reducidos y por lo tanto el metabolismo bacteriano y el medio reductor acidifican progresivamente el medio (Baedecker, 1980), así pues, mecanismo de biodegradación de materia orgánica marca pautas de calidad de las aguas de los humedales.

En estos cuerpos de agua, con un alto contenido de materia orgánica, puede ocurrir la siguiente secuencia de reacciones que involucran la acción de microorganismos específicos:

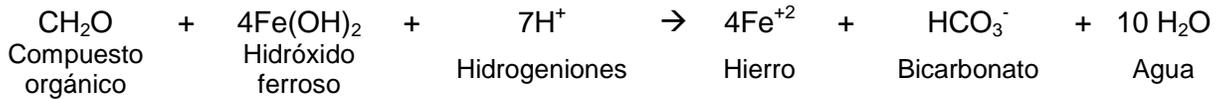
Se representa la reducción de la materia orgánica por oxidación



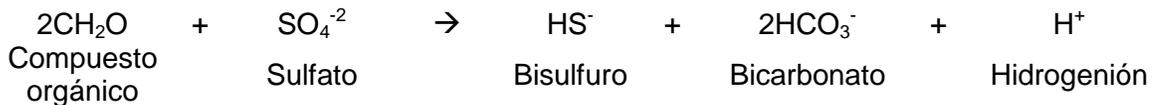
Desnitrificación



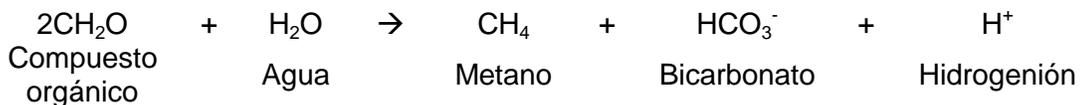
Reducción del manganeso y el hierro los cuales están estrechamente relacionados con la presencia de materia orgánica



Producción de sulfuros



Producción de Bicarbonato



Los nutrientes aportados a los humedales pueden ser de origen terrestre, provenientes de la cuenca de drenaje, denominados alóctonos, constituyéndose en la principal fuente de energía al ecosistema. (Ministerio de Agricultura, 2006) La materia orgánica alóctona puede ser de origen natural o antrópico, generalmente circula a través de sistemas lóticos de escorrentía derivada de la cuenca de drenaje, descarga de aguas negras, entre otros.

Los nutrientes autóctonos, resultado de una de las principales funciones de los humedales, que es su la capacidad de producción de materia orgánica, considerada como la producción biológica y regulada por factores externos, dando como resultado una acumulación progresiva de materia orgánica. (Ministerio de Agricultura, 2006)

Para el caso específico los ecosistemas acuáticos someros como los humedales de la sabana de Bogotá, los nutrientes acumulados, en aguas altas son exportados a las planicies de inundación, cuando las aguas bajan, permiten la aireación del suelo, la rápida descomposición de la materia orgánica y la liberación de elementos minerales y compuestos orgánicos solubles que fertilizan el humedal. La capacidad de los humedales de retener nutrientes se utiliza en muchos casos para tratar aguas servidas en comunidades pequeñas y medianas.

Las principales sustancias orgánicas de aporte antrópico en el ecosistema son:

- Pesticidas: sustancias altamente tóxicas, que llegan al ecosistema acuático por esorrentía de la cuenca de drenaje donde su aplicación directa en los suelos, permite que cantidades pequeñas sean arrastradas por la lluvia; incrementando su efecto con su característica de bioacumulación dada por su insolubilidad en agua y su almacenaje en tejidos grasos de los organismos.
- Sustancias orgánicas no tóxicas que deterioran la calidad estética del agua: Alquil - Bencen - Sulfonato (detergentes), no tóxico, produce una gruesa capa de espuma no biodegradable, perdura tiempos largos. Los detergentes a base de sulfonatos de alquilos lineales (SAL), son degradables.
- Sustancias orgánicas causantes de color, sabor y olor: debido a que los sentidos del gusto y del olfato son extremadamente sensibles, bastan solamente pequeñas concentraciones de compuestos orgánicos aromáticos para producir desagrado.

- Fenol : Gusto a remedio
- Muchas algas : Gusto barroso o terroso
- Alga Synura : Olor a pepino
- Alga Anabaena : Olor a cañería
- Sustancias orgánicas biodegradables: estos compuestos son fuente de energía y carbono, para las bacterias quimiorganotróficas y para algunos microorganismos superiores protozoos.

3.1.2 Generalidades de los Humedales

La Convención sobre Humedales Ramsar, define en forma amplia que, *"los humedales se incluye una gran variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses.* (Secretaría de la Convención Ramsar, 2010)

La definición planteada por la Convención Ramsar, es tan amplia que ha permitido su uso, en diferentes ecosistemas húmedos como pantanos, ciénagas, lagos, lagunas y áreas similares; así para humedales alto andinos se han planteado definiciones como: terrenos saturados con agua, que combinan las características de ecosistemas terrestres y acuáticos, y mantienen una actividad biológica que se adapta muy bien a ambientes húmedos; es por esto común encontrar la presencia de animales y plantas estrechamente relacionados con el medio acuático. (CAR, 2011)

Así pues, una de las definiciones más adecuadas desde el punto de vista ecosistémico, es la que los caracteriza como: áreas de transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos, y en donde el nivel del agua está usualmente

cerca o sobre la superficie del suelo, o la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Diaz Espinoza, Diaz Triana, & Vargas Ríos, 2012). Así, los humedales deben presentar área con agua permanente que forme un espejo de agua con vegetación flotante, un área de borde y un área de desborde

Los humedales presentan tres tipos de hábitats característicos: uno terrestre; uno de borde o interfase entre el ecosistema terrestre y acuático; y, finalmente uno acuático, los cuales son interdependientes e interfuncionales, por lo que cuando uno de ellos se ve afectado, modifica la estructura y la función de los demás. (Diaz Espinoza, Diaz Triana, & Vargas Ríos, 2012)

Además, Los atributos que distinguen los ecosistemas como humedales andinos propiamente dichos, son: en el suelo deben tener plantas hidrófitas al menos periódicamente, el sustrato predominante es un suelo húmedo mal drenado y al menos periódicamente anaerobio, un sustrato saturado de agua o cubierto de agua poco profunda en algún momento del año. (Diaz Espinoza, Diaz Triana, & Vargas Ríos, 2012)

A diferencia de los ecosistemas terrestres los humedales suelen presentar una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio, hecho que tiene efectos muy importantes sobre la diversidad biológica que habita en los humedales, ya que deben desarrollar adaptaciones para sobrevivir a estos cambios que pueden llegar a ser muy extremos, por ejemplo, ciclos hidrológicos anuales con períodos de sequía e inundación extremos. (Ministerio de Agricultura, 2006)

El régimen hidrológico es una de las características más importantes que define las dinámicas espaciales dentro de los humedales y su dinámica estacional definen el movimiento del agua en el suelo y la distribución de las comunidades de plantas adaptadas a los suelos húmedos o con inundados. (Diaz Espinoza, Diaz Triana, & Vargas Ríos, 2012). Las condiciones hidráulicas de los

humedales, están gobernadas por la morfología de la cubeta, el caudal de los tributarios, viento y el ciclo hidrológico; la interacción entre estos factores pueden producir gradientes verticales, de densidad y temperatura. (Ministerio de Agricultura, 2006)

La demanda bioquímica de oxígeno desde los sedimentos, se constituye en otro factor de caracterización de los humedales, generando estratificaciones verticales dinámicas, que alteran la disponibilidad de oxígeno y por ende, procesos biogeoquímicos como la recarga interna. En consecuencia, los procesos de intercambio entre la columna de agua y los sedimentos, así como también la especiación química, son regulados fundamentalmente por la disponibilidad de oxígeno en el agua. (Ministerio de Agricultura, 2006)

La productividad de estos cuerpos de agua, así como la dinámica de las comunidades hidrobiológicas propias están relacionadas con el ciclo hidrológico. Durante la época de lluvias se produce la fertilización de las aguas por el aporte de una gran cantidad de nutrientes y sedimento por parte del río asociado y por la expansión del espejo de agua que causa la anexión de gran parte de la biota del ecosistema terrestre circundante que se desarrolló durante la época seca anterior.

Esto permite que se den los procesos de reciclaje de los nutrientes. Al llegar la época seca el ecosistema terrestre experimenta una expansión y aprovecha los nutrientes atrapados por la vegetación acuática, la fauna asociada, el bentos y los sedimentos durante las lluvias inmediatamente anteriores, disminuyendo las concentraciones de los nutrientes en el agua. Según Wellcomme (1979) se trata de un mecanismo que impide la pérdida de nutrientes del sistema, ya que si bien escapan del ambiente acuático durante verano, parte de ellos retornan al agua en la siguiente inundación. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

La importancia de estos ambientes acuáticos se puede resumir en los siguientes puntos:

- Mantienen una elevada diversidad biológica, en especial de aves y peces.
- Presentan una elevada productividad biológica
- Funcionan como sistemas digestores de la materia orgánica que conducen los ríos, es decir, como depuradores de la contaminación orgánica.
- Sirven como trampas de sedimentos y de sustancias tóxicas, reduciendo la cantidad de sólidos en suspensión que llevan los ríos.
- Constituyen reservorios de agua
- Controlan o amortiguan las crecidas de los ríos y aportan agua a estos últimos durante las épocas secas, es decir, regulan los caudales.
- Permiten la recarga de acuíferos.
- Controlan el microclima local amortiguando cambios fuertes de temperatura y aumentando la humedad relativa.
- Se utilizan como medio para el transporte, la recreación y el turismo de las poblaciones humanas. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

3.1.2.1 Humedales en Bogotá

La mayoría de humedales de Bogotá presentan un estado donde, la composición, la estructura y la función están fuertemente alteradas por la modificación del régimen hidrológico y la sedimentación y contaminación de sus aguas; algunos de estos atributos se han perdido como consecuencia del deterioro ambiental y por decisiones de manejo no favorables, la construcción de jarillones afecta el régimen hidrológico en consecuencia muchas de las especies típicas del humedal, adaptadas a suelos permanentemente inundados se pierden. (Díaz Espinoza, Díaz Triana, & Vargas Ríos, 2012)

Los catorce humedales hacen parte del sistema hídrico de la ciudad y que han sido declarados Parques Ecológicos Distritales: Humedal Guaymaral, Humedal

Torca, Humedal La Conejera, Humedal Juan Amarillo, Humedal Córdoba, Humedal Santa María del Lago, Humedal Salitre, Humedal Jáboque, Humedal Capellanía, Humedal de Techo, Humedal El Burro, Humedal La Vaca, Humedal Meandro del Say y Humedal Tibanica.

3.1.2.2 Humedal La Conejera

El humedal La Conejera fue declarado Parque Ecológico Distrital la resolución 250 de 1994, de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – E.A.A.B, con un área de 58.9 ha, donde se prioriza, como usos principales la restauración y preservación. Hace parte de la microcuenca de La Conejera; su principal afluente es la Quebrada La Salitrosa.

Según el Artículo 83, párrafo 5 del Decreto 190 de 2004 (Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito), se asignó a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá la función de formular los Planes de Manejo Ambiental para los humedales de la ciudad. Todas las acciones correspondientes al mantenimiento, la recuperación y conservación de estos ecosistemas, las desarrollaría bajo la orientación y aprobación de la autoridad ambiental competente. Específicamente para el humedal La Conejera se ha ratificado el convenio de cooperación para su administración con la Fundación Humedal La Conejera.

La Secretaría Distrital de Ambiente tiene a cargo la recuperación, rehabilitación y restauración de 40 hectáreas de las zonas de ronda hidráulica y/o zonas de manejo y preservación ambiental - ZMPA de tramos de humedales

El Humedal La Conejera posee una rica biota y posiblemente es el humedal con mayor biodiversidad de la ciudad. Los inventarios faunísticos parciales coordinados por la Fundación Humedal La Conejera FHC, revelan la presencia

de 104 especies de vertebrados, 5 especies de mamíferos, 5 especies de reptiles y anfibios, 26 especies de invertebrados, más de 150 especies de macrófitas y vasculares.

Este humedal mantiene aún algunas especies en peligro como: la garza dorada *Ixobrychus exilis bogotensi*, la tingua moteada *Gallinula melanops bogotensis*, la tingua bogotana *Rallus semiplumbeus*, el pato pico azul *Oxyura jamaicensis andin*, la monjita *Agelaius icterocephalus bogotensis*, el chamicero de la Sabana de Bogotá *Synallaxis subpudica*, el cucarachero de pantano *Cistothorus apolinari*, y una especie endémica *Fullica americana*.

En la Política de Humedales del Distrito Capital se realiza un diagnóstico de los catorce humedales de la región y para el caso del Humedal de La Conejera se establece que su situación actual es resultado de décadas de usos antrópicos inadecuados en el marco del proceso de urbanización del distrito, actualmente el humedal recibe una elevada descarga de aguas residuales domésticas provenientes de los barrios aledaños; se ha desecado notablemente y ha sido utilizado como escombrera por diferentes empresas constructoras.

Entre los principales factores de deterioro del humedal La Conejera, están: disminución del área natural por la construcción de jarillones en sus riberas; edificación de vallados que contribuyen a su desecación; desecación de un porcentaje considerable de su área; desecación de sus fuentes primarias o nacederos que captaban el agua desde los cerros La Conejera y Suba; taponamiento de los drenajes naturales y de la escorrentía superficial; relleno del humedal y de los elementos de su microcuenca, e invasión de su ronda hidráulica constituida por Río Bogotá, Quebrada La Salitrosa, humedal y sus márgenes hídricas).

Los fines antrópicos que han favorecido el deterioro ambiental del Humedal La Conejera, son: agricultura, recreación y urbanización legal e ilegal; la contaminación de las aguas por vertimientos de aguas servidas agrícolas, domésticas y hospitalarias; invasión de las rondas y cuerpo de agua para realizar actividades de pastoreo de ganado. (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA, 2006)

La presión antrópica en el ecosistema ha generado:

- La disminución de la diversidad como consecuencia del estado eutrófico de sus aguas;
- Cacería de fauna silvestre: saqueo de la riqueza biótica, representada en insectos, plantas y aves, con fines de venta de la fauna silvestre. (CI-Colombia & EAAB, 2000);
- Desconocimiento en el manejo de poblaciones foráneas invasoras, como chomones *Molothrus bonariensis*, que son una amenaza para los procesos de nidación de especies de aves residentes locales;
- Depredación de la fauna silvestre (curíes y aves) por parte de perros y gatos;
- La explotación de aguas subterráneas de la cuenca, principalmente para floricultura y aprovisionamiento rural.

Se prevé para los escenarios futuros en el Humedal La Conejera, su posible fragmentación por la construcción de vías; la expansión del perímetro de servicios en las áreas de compensación definidas con el proyecto ALO (Avenida Longitudinal de Occidente) con el desarrollo de proyectos urbanísticos que a su vez ocasionarían nuevos tensionantes sobre el humedal; y, la construcción de parques urbanos de recreación activa sin concertación de manejo respecto a los usos del humedal. (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA, 2006)

3.2 MARCO LEGAL

Se proporciona el sustento que determina el alcance y la naturaleza de las provisiones regulatorias relacionadas con el tema de los humedales en Bogotá (Tabla 5).

Tabla 5. Normas legales y su aplicación específica para humedales en Colombia, con énfasis especial en el Humedal La Conejera.

NORMA	APLICACIÓN ESPECÍFICA
Constitución Política de Colombia 1991	<p>Artículo 63 en el que se determina que los bienes de uso público son inalienables, imprescriptibles e inembargables.</p> <p>Artículo 79 Derecho al ambiente sano y la participación comunitaria.</p> <p>Artículo 80 Deber de Planificación Estatal. En este deber incluye el Desarrollo sostenible, el control del deterioro ambiental y la reparación de los daños ambientales.</p> <p>Artículo 82 Régimen del espacio público. Señala las directrices de manejo del espacio y fija norma general de plusvalía a favor del Estado.</p> <p>Artículo 88 Defensa de los derechos colectivos. Introduce el marco de defensa natural de los derechos colectivos entre los que destaca el derecho a gozar de un medio ambiente sano.</p> <p>Artículo 95 Deberes de los ciudadanos Impone el deber de protección de la integridad cultural y natural y el cuidado del medio ambiente sano.</p> <p>Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.</p>
Convención RAMSAR, 1971 Comunidad Internacional	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas
Convenio Sobre la Diversidad Biológica, 1992 Comunidad Internacional	Convenio de la Diversidad Biológica (Río de Janeiro, 1992)
Ley 99 de 1993 Ley General Ambiental	En funciones relacionadas con relacionadas con la formulación, concertación y adopción de políticas orientadas a regular las

del Congreso de la República	condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales.
Ley 165 de 1994, del Congreso de la República	Se aprueba la adhesión de Colombia al Convenio Internacional de Diversidad Biológica, en el que para el logro del objetivo de conservación <i>in situ</i> de especies y ecosistemas, el Estado debe, entre otras obligaciones ser garante de la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados; así como de la promoción de la recuperación de especies amenazadas.
Ley 357 de 1997 Convenio Ramsar, del Congreso de la República	Mediante esta ley Colombia se acoge a la convención Ramsar, por lo tanto el estado colombiano se obliga a proteger y conservar los humedales. El Congreso Nacional aprobó la adhesión de Colombia a la convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, suscrita en la ciudad de Ramsar, Irán el 2 de febrero de 1971. Así mismo se acoge a la definición Ramsar de humedales.
Decreto - Ley 2811 de 1974 Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, del Congreso de la República	Art. 8, literal f- considera factor de contaminación ambiental los cambios nocivos del lecho de las aguas, literal g, considera como el mismo de contaminación la extinción o disminución de la biodiversidad biológica. Art.9Se refiere al uso de elementos ambientales y de recursos naturales renovables. Entre los artículos 77 y 85 se regula todo lo relacionado con las aguas no marítimas en todos sus estados y formas. En el artículo 155 le otorga al Gobierno Nacional la facultad de autorizar y controlar el aprovechamiento de aguas y ocupación y explotación de los cauces. En el artículo 132 regula, con relación a la preservación de las aguas, que sin permiso no se podrán alterar los cauces su uso y conservación, interferir su uso legítimo, agregando que se negará el permiso cuando la obra implique peligro para la comunidad o para los recursos naturales. Art.137Señala que serán objeto de protección y control especial las fuentes, cascadas, lagos y otras corrientes de agua naturales o artificiales, que se encuentren en áreas declaradas dignas de protección. Art 329precisa que el sistema de parques nacionales tiene como uno de sus componentes las reservas naturales. Las reservas naturales son aquellas en las cuales existen condiciones de diversidad biológica destinada a la conservación. Investigación y estudio de sus riquezas naturales.
Decreto 1541 de 1978	En este decreto se establece que los lagos, lagunas, ciénagas y pantanos son aguas de dominio público, así como también las aguas que corren por cauces artificiales, cuando han sido derivados de un cauce natural.
Decreto 190 de	El Decreto Distrital 190 de 2004, autoriza a la Empresa de

2004	Acueducto y Alcantarillado de Bogotá -EAAB-, para realizar estudios y acciones necesaria para mantener, recuperar y conservar los humedales en sus componentes, hidráulico, sanitario, biótico y urbanístico realizando el seguimiento técnico de las zonas de ronda y de manejo y preservación ambiental. El artículo 95 del Decreto Distrital 190 de 2004 determina que los parques ecológicos de humedales incluyen su zona de manejo y preservación ambiental (ZMPA), su ronda hidráulica (RH) y su cuerpo de agua, como una unidad ecológica.
Decreto 062 del 14/03/2006 Alcalde Mayor	Por medio del cual se establecen mecanismos. Lineamientos Y directrices para la elaboración Y ejecución de los respectivos Planes de manejo ambiental para los humedales ubicados dentro del Perímetro urbano del Distrito Capital.
Decreto 624 de 2007 Política Distrital de Humedales, de la Alcaldía Mayor	Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital El ámbito de los humedales del Distrito Capital está incluido en el Altiplano Cundí-Boyacense como Unidad Biogeográfica, o "eco región", cuyos ecosistemas comparten fauna, flora e historial evolutivo y la zona montañosa que rodea la ciudad, que también comprende el sector enmarcado por las subcuencas de los ríos Sumapaz, Teusacá, Tunjuelo, Fucha y Salitre.
Decreto 386 de 200823/12/2008 Alcalde Mayor	Por el cual se adoptan medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2372 de 2010	Por el cual se reglamenta el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y las categorías de manejo que lo conforman. Se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992.
Decreto 364 de 2013 Alcalde Mayor	Por el cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D. C. , adoptado mediante Decreto Distrital 619 de 2000, revisado por el Decreto Distrital 469 de 2003 y compilado por el Decreto Distrital 190 de 2004
Resolución 250 de 1994 de la EAAB	Este humedal fue acotado mediante la Resolución 250 de 1994 de la EAAB.
Resolución 157 de 2004, del MAVDT	Reglamenta el uso sostenible, de conservación y manejo de los humedales y regula aspectos referidos a estos, en aplicación de la Convención Ramsar.
Resolución 2618 de 2006	Por la cual se crea el Comité Distrital de Humedales y se dictan disposiciones sobre su funcionamiento
Resolución 196 de 2006, del MAVDT	Se adopta una guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia. Se definen los criterios de delimitación humedales.
Resolución 301 de 2010 Comité	Por el cual se crea el Comité Nacional de Humedales

Nacional de Humedales - CNH	
Acuerdo 6 de 1990 Alcaldía Mayor de Bogotá y Concejo de Bogotá	Por medio del cual se adopta el Estatuto para el Ordenamiento Físico del Distrito Especial de Bogotá, y se dictan otras disposiciones Estatuto para el ordenamiento físico del Distrito Especial de Bogotá. Faculta a la EAAB para realizar el acotamiento y demarcación de las rondas de los ríos, embalses, lagunas, quebradas y Canales. Los humedales forman parte integral del sistema hídrico, el cual está conformado por la ronda o área forestal de los cuerpos de agua. Se define la ronda hidráulica como: "la zona de reserva ecológica no edificable de uso público, constituida por una faja paralela a lado y lado de la línea del borde del cauce permanente de los ríos, embalses, lagunas, quebradas y canales, hasta 30 metros de ancho, que contempla las áreas inundables para el paso de crecientes no ordinarias y las necesarias para la rectificación, amortiguación, protección y equilibrio ecológico, las cuales no pueden ser utilizadas para fines diferentes a los señalados, ni para desarrollos urbanísticos y viales".
Acuerdo 02 de 1993, del Concejo de Bogotá	Prohíbe la desecación o relleno de lagunas y pantanos existentes y delega a los alcaldes locales la obligatoriedad de velar por el cumplimiento del Acuerdo.
Acuerdo 19 de 1994 del Concejo de Bogotá D.C.	Por el cual se declaran como reservas ambientales naturales los Humedales del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones que garanticen su cumplimiento. Por medio del cual se adopta Estatuto General de la Protección Ambiental del Distrito Capital y normas básicas para garantizar la preservación y defensa del patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente. Se declaran como reservas naturales ambientales los humedales que se encuentran en el perímetro urbano del Distrito Capital. El Humedal La Conejera tiene categoría de Reserva Natural, declarada por el Concejo Distrital de Santa Fe de Bogotá, D.C. y hace parte del Sistema Distrital de Áreas Protegidas creadas por el mismo Concejo.
Acuerdo 26 de 1996 y Acuerdo 31 de 1996	Tanto el acuerdo No 26 de 1996 "Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Físico del Borde Occidental de la ciudad ... ", como el Acuerdo 31 de 1996 que tiene el mismo propósito que el anterior pero para el Borde norte y noroccidental de la ciudad, incluyen al Humedal La Conejera, (o "Chucua de La Conejera" como también se llama), formando parte integral del sistema hídrico en el primer nivel de zonificación de estos sectores de la ciudad.
Acuerdo 79 de 2003 Código de policía de Bogotá D.C.	Artículo 75.- Chucuas y humedales. Las chucuas y humedales y sus zonas de RH y ZMPA son parte del sistema de drenaje natural del Distrito y del espacio público. Para su uso y tratamiento se aplicará lo dispuesto en el P.O.T. Artículo 76.- La conservación y protección de las chucuas y los humedales demandan el compromiso de todos,

	por lo cual se deben observar los siguientes comportamientos: Cuidar y velar por la preservación de la integridad física y natural de las áreas y no realizar acciones que puedan conducir a su reducción, parcelación o desmembramiento, como el relleno artificial y construcción de barreras, diques o canales, actividades agrícolas y ganaderas, usos residenciales, comerciales e institucionales sin la autorización de la autoridad ambiental competente.
Proyecto de Acuerdo 263 de 2012	"Por medio del cual se dictan normas para la protección del patrimonio ecológico de la ciudad en relación con el trazado de la Avenida Longitudinal de Occidente definido en el Acuerdo 13 de 1998 y se dictan otras disposiciones"
POT Distrito, por Alcaldía Mayor de Bogotá, 2013	Subcapítulo I. Componentes de la Estructura Ecológica Principal Sección 1. Sistema Distrital de Áreas Protegidas Artículo 49. Régimen de usos de los Parques Ecológicos Distritales de Humedal Sistema Distrital de Áreas Protegidas.

Fuente: Resumen de los autores.

4. HIPÓTESIS

- Si la disponibilidad del OD en el ecosistema acuático se relaciona directamente con actividad fotosintética de la comunidad vegetal (fitoplancton y macrófitas) y la temperatura del agua, entonces la cobertura de macrófitas en el espejo de agua y cobertura de bosque ribereño se espera que las concentraciones de oxígeno sean insuficientes en 1, 2 y 4, óptimas en 5 y 6, y moderadas en la estación 3.

- Si el pH de las aguas naturales varía entre valores de pH entre 6 y 9, y si además en la descomposición de la materia orgánica se producen ácidos húmicos, entonces se esperaría que las concentraciones de pH del Humedal La Conejera, sean ácidas en las estaciones 1 y 2 debido a las descargas contaminantes, con menor acidez en las estaciones 3 y 4 y neutras o ligeramente alcalinas en las estaciones 5 y 6.

- Si el humedal presenta espacialmente diferentes tipos de intervenciones antrópicas, unas positivas (dragado, encerramiento, reforestación, remoción de macrófitas) y otras negativas (actividades agropecuarias, vertimientos de aguas residuales y de la clínica Juan N Corpas, descargas doméstica provenientes de la quebrada la salitrosa), entonces, se espera que la relación entre las concentraciones de MO y de CO del sedimento con la DQO del agua, se organicen en 4 grupos:
 - Espejo de agua en alta proporción libre de macrófitas, sin cobertura ribereña y sin descargas de aguas servidas (E5-E6)
 - Grupo transicional, espejo de agua colmatado de macrófitas flotantes, con escasa cobertura ribereña y sin vertimientos. (E4)
 - Zona altamente intervenida, en donde el espejo de agua está 100% cubierto por macrófitas flotantes y enraizadas, con escasa cobertura

ribereña y con aporte de aguas servidas desde cultivos de flores, sistemas de pecuarios, domésticas (quebrada) y hospitalarias sin tratar. (E1-E2).

- Zona de escombros, en donde el lecho es una combinación de sedimentos y escombros, con abundante cobertura ribereña y pastos, y con espejo de agua libre de macrófitas. (E3).

- Si el aporte de materia orgánica y carbono orgánico es afectado directamente por la presencia de macrófitas, bosque ribereño y aguas servidas entonces se esperaría que los valores sean mayores en las estaciones 1, 2 y 3, y medio en la estación 4, menor en las estaciones 5 y 6. Si el contenido de materia orgánica y carbono orgánico en sedimentos se puede evidenciar en los valores de la DQO del agua, teniendo en cuenta que este parámetro es una medida de contenido de materia orgánica susceptible a la oxidación química, entonces se esperaría que exista una correlación positiva entre los valores de MO, CO y DQO medidos en 6 estaciones del Humedal La Conejera.

- Si las medidas de recuperación permiten mejorar las condiciones ambientales de los humedales, entonces las estaciones 4, 5 y 6 cumplirán con los parámetros establecidos en la normatividad vigente específicamente el Decreto 3930 de 2010 para uso estético y de preservación de fauna y flora.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la condición ambiental del Humedal La Conejera a partir del estudio de la materia orgánica en sedimentos y variables fisicoquímicas en el agua.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la condición fisicoquímica del agua superficial y la materia orgánica en sedimentos del Humedal La Conejera midiendo los parámetros fisicoquímicos temperatura, conductividad eléctrica, pH, alcalinidad, dureza total, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y DQO, y la materia orgánica y el carbono orgánico en los sedimentos, relacionándolos con la calidad ambiental del ecosistema
- Describir la dinámica espacial que se establece en el Humedal La Conejera a través de la evaluación la correlaciones estadísticas existentes entre los parámetros fisicoquímicos medidos que permitan evaluar las acciones antrópicas de recuperación en el humedal.
- Evaluar la calidad ambiental del Humedal La Conejera a partir de los índice de contaminación por mineralización ICOMI y la clasificación según contenido de materia orgánica de Ungemach y tipo de uso referido a la legislación colombiana vigente a partir de los parámetros fisicoquímicos en agua superficial y de sedimento.
- Determinar si existe relación entre la cantidad de materia orgánica y carbono orgánico presente en el agua con la presencia ausencia de macrófitas y bosque ribereño.

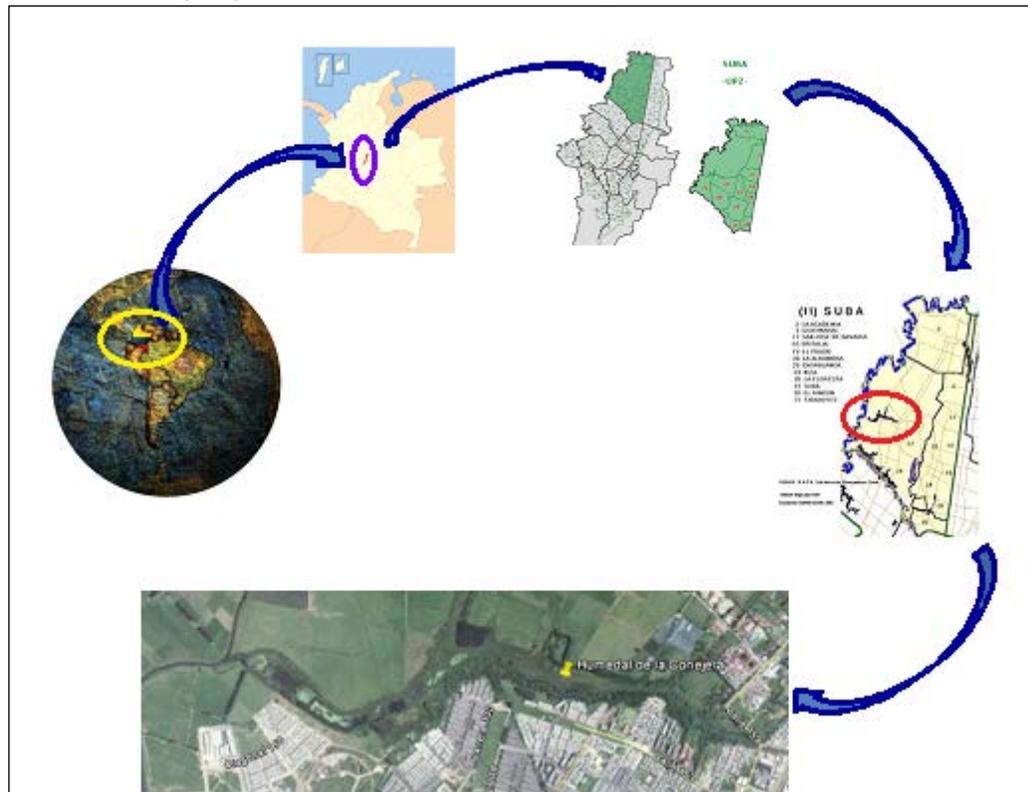
- Determinar la relación existente entre la concentración de materia orgánica y carbono orgánico con los sedimentos presentes del Humedal La Conejera.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 ÁREA DE MUESTREO

El Humedal La Conejera se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, en la Localidad 11 de Suba, entre 4°45' de latitud norte y 74°6' de longitud oeste. (EEAB - Fundación Humedal La Conejera). Cuenta con área total de 59,89 Ha, área de ronda hidráulica 45,73 Ha, perímetro 8785,99 m, con una elevación de 2542 msnm. (Díaz Espinoza, Díaz Triana, & Vargas Ríos, 2012). (Figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica del Humedal La Conejera

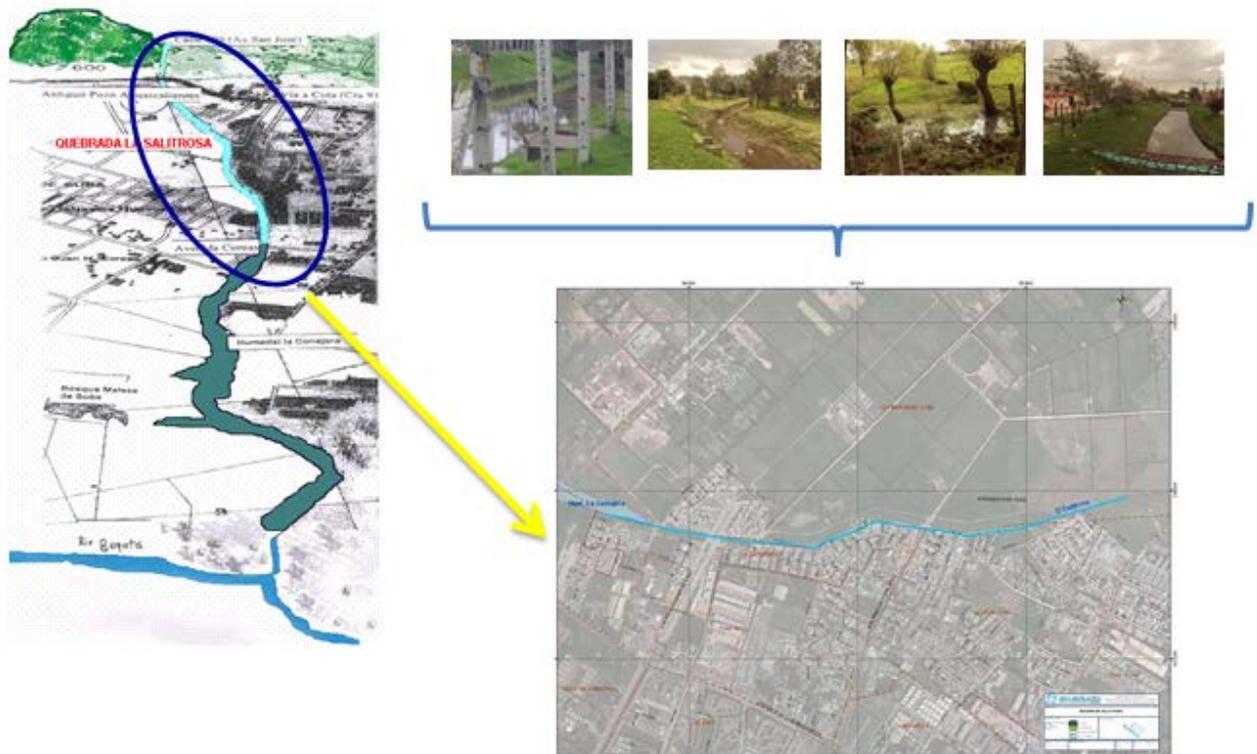


Fuente: http://acdlc.ucoz.es/index/territorio_modelo_territorio_piloto/0-85,
http://www.picstopin.com/193/localidad-de-suba/http:%7C%7Cwww*raizalia*com%7CzonasB%7Cf1*gif/,
<http://humedallaconejeraud.blogspot.com/>

El humedal La Conejera se sitúa entre los cerros de Suba, limita al oriente con la quebrada La Salitrosa y por el occidente con el río Bogotá, en donde desemboca

finalmente; limita por el norte con la vía Suba-Cota; por el sur, con el río Juan Amarillo. El humedal recibe las aguas lluvias propias de la microcuenca La Conejera y además es alimentado por la quebrada la Salitrosa la cual toma las aguas residuales de 22 barrios ubicados en el área (Van Der Hammen, 2003) (Figura 2).

Figura 2. Quebrada La Salitrosa



Fuente: Mapa,
<http://www.sgs.edu.co/sgsone/contenido/paginas/vidaescolar/prae/salitrosa/UBICACION.HTML>.
 Fuente: Plano, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Dirección de Información Técnica y Geográfica. Gerencia de Tecnología. 2013. Bogotá D. C.
<http://sistec.acueducto.com.co/EAABWF/ArchivoFi.nsf/88da2ef6866ba6ad0525750100555b0a/7a0eed54a603b1ec0525751c007366b4?OpenDocument&TableRow=1.2.0#1.2.>

El sector norte del Humedal está rodeado en su mayor parte por predios rurales como la Hacienda Las Mercedes, el Seminario Luis Amigó y la Clínica Juan N. Corpas; al sur y al oriente el Humedal está rodeado principalmente por predios urbanizados con más de 14 barrios, entre ellos Compartir, Londres, Prados

Salitre, Las Acacias, Salitre I, II y III, Villa Hermosa, El Cerezo, Los Monarcas, Alaska, Villa Esperanza, Villa del Campo I y II.

6.1.1 Clasificación y categorización del Humedal La Conejera

El humedal La Conejera, hace parte en la subcuenca La Conejera, es un humedal natural de planicie, se desarrolla en un paisaje fluviolacustre del plano de inundación del río Bogotá y su comportamiento hidrológico está ligado con los pulsos anuales y multianuales (DAMA, 2006)

El humedal La Conejera se considera como humedal del interior, del sistema fluvial y lacustre intermitente o permanente con vegetación emergente, según la clasificación general de humedales de Ramsar y según la Política de Humedales del Distrito Capital, es un humedal natural de planicie.

Según las variables propuestas en la Política de Humedales del Distrito Capital, el Humedal La Conejera se clasifica como aparece en la Tabla 6. (Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA, 2006).

Tabla 6. Clasificación del Humedal La Conejera según Política Distrital de Humedales

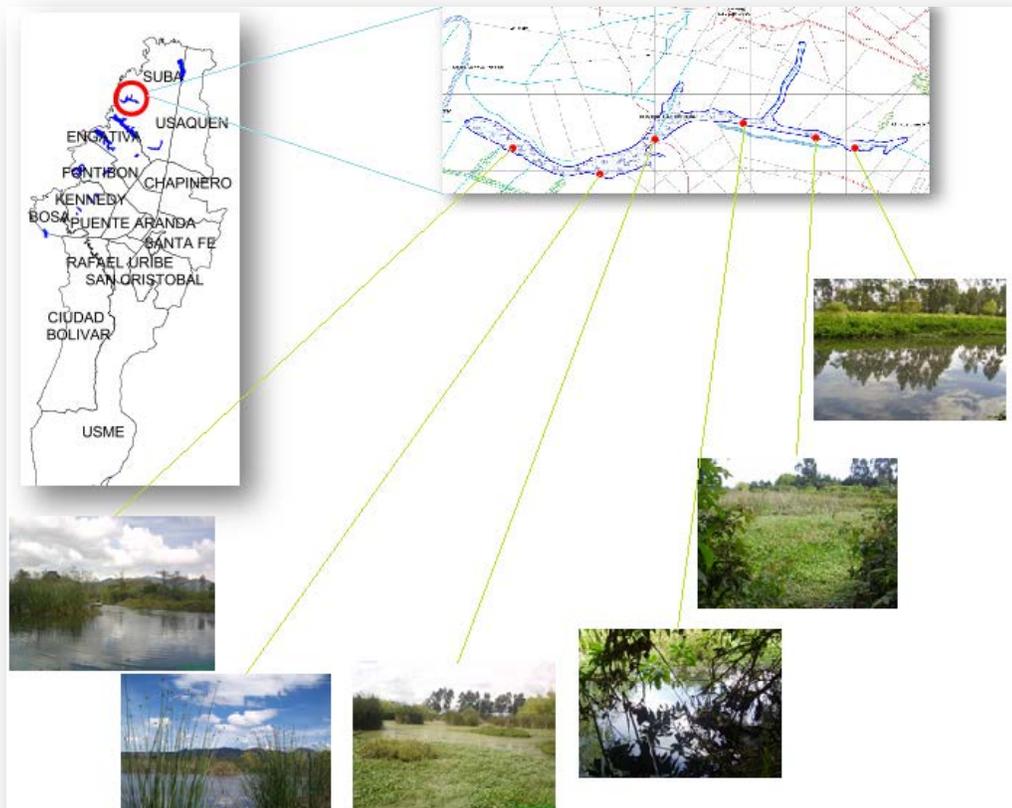
Variables	Clasificación del Humedal La Conejera
Tipo de humedal	Humedal de planicie
Origen	Fluviolacustre
Posición geográfica	Sabana
Tipología	Zona de desborde
Aspecto morfológico	Espejo único múltiple, áreas inundables morfológicamente no uniformes
Altura sobre el nivel del mar	Por debajo de los 2700 msnm
Ámbito político particular	Localidad de Suba

Fuente: Basado en la Política Distrital de Humedales de Bogotá D. C. 2006

6.1.2 Puntos de muestreo

Se establecieron 6 estaciones de muestreo. (Figura 3). A cada una se le asignó un nombre dependiendo de la proximidad a espacios puntuales en el cuerpo de agua, cada estación de muestreo tienen características diferentes y por lo tanto corresponden a puntos de interés de análisis de variables físicoquímicas en el agua y de análisis de materias orgánica en los sedimentos. (Tabla 7).

Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo dentro del humedal La Conejera



Fuente: Los autores.

A continuación se presentan las coordenadas de las 6 estaciones de muestreo.

Tabla 7. Coordenadas Geográficas de las estaciones de muestreo en el humedal La Conejera

Estaciones de muestreo	Nombre de las estaciones de muestreo	Coordenadas Geográficas	
		Latitud norte	Longitud oeste
E1	Descarga Quebrada La Salitrosa	4° 75' 91.19"	74° 9' 52.09"
E2	Sendero de Los Curíes	4° 76' 05.73"	74° 9' 79.13"
E3	Puente del Mirador	4° 76' 17.70"	74° 10' 34.49"
E4	FWS	4° 76' 05.73"	74° 10' 70.53"
E5	Afidro	4° 75' 86.91"	74° 10' 91.13"
E6	Lago EAAB	4° 75' 98.88"	74° 11' 28.47"

Fuente: Los autores

- Estación 1, descarga Quebrada La Salitrosa. Para la determinación de la primera estación de muestreo, E1, (Figura 4), se tuvo en cuenta su representatividad como punto crítico debido a las descargas de la quebrada La Salitrosa, las cuales traen los aportes de las aguas residuales domésticas de los 22 barrios aledaños y las descargas de la Clínica Juna N. Corpas.

Figura 4. E1, Descarga de la Quebrada La Salitrosa



Fuente: Los autores.

E1 se caracteriza por la presencia de especies de macrófitas como *Bidens laevis*, *Poligomun punctatum* y *Lemna minor*, se observa un espejo de agua; las aguas son poco profundas.

- Estación 2, sendero de Los Curies. Se caracteriza por la presencia de macrófitas que cubren la mayoría de la superficie como *Eichornia crassipes*, *Limnobium laevigatum*, *Bidens laevis*, *Poligonum punctatum*, *Schoenoplactus californicus*, *Typha spp.* y *Lemna minor*. (Figura 5)

Figura 5. E2, Sendero de Los Curies



Fuente: Los autores.

No se puede determinar profundidad con ecosonda debido a la alta concentración de sólidos suspendidos; sin embargo al realizar la toma de muestras de sedimentos, se verificó una profundidad aproximada de 95 cm.

- Estación 3, puente del Mirador, corresponde a un sitio que en el pasado fue utilizado para depositar escombros, por lo tanto la profundidad es mínima, aproximadamente 75 cm. Este es un punto crítico ya que perdió capacidad de embalsamiento debido a los depósitos de desechos que construcción que se realizaron entre 1980 y 1994 (EAAB FHLC, 2005). Corresponde a un sitio con abundante vegetación riparia. Es una zona de baja luminosidad. (Figura 6),

Figura 6. E3, Puente del Mirador



Fuente: Los autores.

- Estación 4, FWS. De esta estación en adelante, corresponde a la zona de restauración hidromorfológica del Humedal La Conejera realizada entre 2004 y 2007, por lo tanto en esta no hay acceso al público para evitar la intervención antrópica. Esta estación está caracterizada por estar cubierta de macrófitas como *Azolla filiculoides*, *Poligomon punctatum*, *Schoenoplectus californicus* y *Lemna minor*. (Figura 7)

Figura 7. E4, FWS



Fuente: Los autores.

- Estación 5, Afidro. Se observa un amplio espejo de agua. La profundidad máxima corresponde a 1,4 m y la transparencia máxima es de 0,6 m. Se observa vegetación riparia y algunas macrófitas como *Schoenoplectus californicus* y *Typha spp.* (Figura 8)

Figura 8. E5, Afidro



Fuente: Los autores.

- Estación 6, lago EAAB. corresponde a un amplio espejo de agua. La profundidad máxima es de 1,7 m medida con ecosonda y la transparencia máxima es de 1,6 m medida con disco de Secchi. Para la toma de muestras en este punto se requirió de un bote inflable. Se observan macrófitas como *Schoenoplectus californicus*, *Typha* spp. y *Rumex* spp. (Figura 9)

Figura 9. E6, Lago EAAB



Fuente: Los autores.

6.2 FASE DE CAMPO

Inicialmente se hizo un levantamiento de información secundaria sobre estudios realizados en los humedales de Bogotá, en especial del Humedal La Conejera. Es evidente que la mayoría de estudios hacen relación con descripción de fauna, flora, trabajo social y comunitario, orientados a la recuperación y preservación del ecosistema. La información inicial fue proporcionada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y la Fundación Humedal La Conejera.

Se realizaron salidas de reconocimiento al humedal durante el primer semestre del año 2008. Así mismo, se analizó el régimen pluviométrico, según datos del IDEAM para determinar la frecuencia del muestreo. Sin embargo, teniendo en cuenta que el régimen hídrico de este año fue atípico, no se pudieron establecer períodos de aguas altas y aguas bajas, y por lo tanto se decidió hacer el muestreo mensualmente desde septiembre de 2008 a enero de 2009. La variables fisicoquímicas muestreadas y los métodos empleados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Métodos empleados para el análisis Físico-Químico de las aguas del humedal.

VARIABLE	UNIDAD	MÉTODO
Profundidad	m	Electrométrico con ecosonda
Temperatura	°C	Electrométrico
Transparencia	m	Disco Secchi
Conductividad eléctrica	μS/cm	Electrométrico con conductímetro
pH	unidades	Electrométrico con potenciómetro
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	Titulométrico con H ₂ SO ₄
Dureza	mg/L CaCO ₃	Titulométrico con EDTA
Oxígeno disuelto	mg/L O ₂	Titulométrico de Winkler Electrométrico con oxímetro
Porcentaje de saturación	%	Electrométrico con oxímetro

Fuente: Los autores basados en APHA-AWWA-WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España, 1992.

Para la determinación de DQO, las muestras de agua fueron preservadas con 2 mL de ácido sulfúrico, almacenados en recipientes plásticos con capacidad de un litro, se refrigeraron 4°C y posteriormente se analizaron en los laboratorios de Limnología y Ecología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

En las mismas seis estaciones, se tomaron muestras de sedimentos con el tubo Rueda de dos pulgadas de diámetro siguiendo la técnica propuesta por Rueda, (2002). Estas muestras se guardaron en bolsas ziploc previamente rotuladas, se refrigeraron y se analizaron posteriormente en los laboratorios de la Universidad, para la determinación de materia orgánica y carbono orgánico, mediante la metodología de Walkley y Black.

Las muestras de aguas superficiales y las muestras de lodos fueron colectadas entre las 8:00 a.m. y las 2:00 p.m. Para el envasado, la conservación y el transporte se siguieron los protocolos del IDEAM. (IDEAM - MAVDT, 2000)

6.3 FASE DE LABORATORIO

El trabajo se desarrolló en los laboratorios de Limnología y Ecología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Se realizó la valoración para demanda química de oxígeno para agua, materia orgánica y carbono orgánico para sedimentos, siguiendo las técnicas analíticas relacionadas en la Tabla 9. Para determinar el porcentaje de materia orgánica de los sedimentos y calcular el carbono orgánico, se aplicó el método de Walkley & Black; mediante este método se excluye entre 90 y 95% las formas elementales del carbón, como el grafito y el carbón vegetal, y permite diferenciar la materia orgánica en los sedimentos. (Perez, Arencibia, Capetillo, & Isla, 2003)

Tabla 9. Métodos empleados para DQO, % CO, % MO

PARÁMETRO	UNIDAD	TÉCNICA ANALÍTICA
DQO	mg/L O ₂	Reflujo abierto
Porcentaje Carbono orgánico	% CO	Método Walkley y Black
Porcentaje Materia orgánica	% MO	Método Walkley y Black

Fuente: Los autores

Para el análisis de cada una de las variables, tanto *in situ* como en el laboratorio, se realizaron tres repeticiones.

6.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos durante los cinco meses de muestreo para las seis estaciones fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza ANOVA para comparar grupos de variables cuantitativas de las variables fisicoquímicas de acuerdo a las estaciones de muestreo; se realizó la prueba a posteriori DHS de TUKEY para agrupar estaciones por comportamientos con el programa de cómputo *Statistical Package for Social Science* (SPSS versión 13,0).

El análisis de correlación entre las variables se efectuó por medio del análisis de correlación de Pearson y se realizó un análisis canónico discriminante buscando contrastar las hipótesis planteadas. Se aplicaron los índices de ICOMI y Ungemach para evaluar la calidad ambiental del humedal.

Finalmente se realizó una revisión de la normatividad ambiental de Colombia para determinar la calidad ambiental del humedal.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del diseño experimental planteado, se presentan en tres bloques: parámetros fisicoquímicos, materia orgánica en sedimentos, comparación entre estaciones y condición ambiental del humedal

7.1 CONDICIÓN FISICOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL EN EL HUMEDAL LA CONEJERA

La caracterización de las estaciones aparece en la tabla 10., muestra los datos de porcentaje de macrófitas en el espejo de agua, presencia o ausencia de vegetación riparia, porcentaje de espejo de agua libre, caracterización de olores ofensivos y libres acceso al público.

Tabla 10. Caracterización de las seis estaciones de muestreo en el Humedal La Conejera

ESTACIONES	PRESENCIA MACRÓFITAS	PRESENCIA VEGETACIÓN RIPARIA	ESPEJO DE AGUA	PRESENCIA OLORES OFENSIVOS	ACCESO AL PÚBLICO
	%	%	%	Si No	Si No
E1	30	50	70	Si	Si
E2	90	50	10	Si	Si
E3	0	90	100	Si	Si
E4	98	30	2	No	No
E5	2	80	98	No	No
E6	4	80	96	No	No

Fuente: Los autores

Para el Humedal La Conejera se realizaron evaluaciones de ocho variables fisicoquímicas en seis estaciones de muestreo durante cinco meses cada una con tres replicas. En la tabla 11 representan los valores medios y el coeficiente de variación CV de las variables medidas.

Tabla 11. Datos promedio y coeficiente de variación de los valores en agua, obtenidos de seis estaciones durante cinco meses de muestreo en el Humedal La Conejera. Se señalan valores superiores de 20% CV

VARIABLE	E1		E2		E3		E4		E5		E6	
	X	C.V.	X	C.V.	X	C.V.	X	C.V.	X	C.V.	X	C.V.
TEMPERATURA	14,94	4,51	16,20	5,70	16,34	5,84	17,74	5,78	18,82	6,32	18,20	5,61
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	542,40	19,88	429,00	18,79	500,20	5,93	408,80	11,60	310,40	7,67	444,60	4,75
pH	6,78	3,24	6,33	2,10	6,89	3,08	6,43	1,85	6,88	4,00	6,99	6,26
ALCALINIDAD	103,87	43,42	66,44	40,60	98,22	46,84	100,63	36,09	75,64	38,76	89,35	38,57
DUREZA TOTAL	173,00	15,79	228,75	19,61	166,01	31,48	156,50	15,83	84,30	8,50	116,26	24,74
OXIGENO DISUELTO	0,32	88,32	0,66	27,94	0,57	63,12	0,41	112,21	2,21	22,24	3,78	26,90
PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OD	3,32	53,49	7,00	21,95	4,40	51,53	3,40	98,17	15,60	25,83	27,60	30,13
DQO	1102,67	1,01	1073,33	5,10	928,44	14,62	860,00	10,39	709,78	12,50	601,33	23,27

Fuente: Los autores

7.1.1 Temperatura

Los datos de temperatura, corresponde directamente a los periodos de muestreo, los cuales se realizaron entre las 8:00 am y 2:00 pm. En los días de muestreo el cielo estuvo despejado y con el avance del tiempo no se presentó aumento en la nubosidad, por lo tanto la temperatura se elevó al medio día a causa de la luz directa del sol (Tabla 12).

Tabla 12. Datos de Temperatura en aguas, medida en °C, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

TEMPERATURA DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	15,4	16	14,6	14,1	14,6	14,94	0,674	4,51
E2	16,7	16,2	17	14,6	15,1	15,92	0,924	5,80
E3	16,9	17	17,4	15,4	15	16,34	0,954	5,84
E4	17,1	16,8	18,3	17	19,5	17,74	1,025	5,78
E5	17,6	18,5	18,4	18,5	21,1	18,82	1,189	6,32
E6	17,3	17,9	17,8	17,8	20,2	18,2	1,022	5,61

Fuente: Los autores

Según los datos presentados en la Tabla 12, el menor registro en temperatura se dio en el mes de Diciembre de 2008 en la E1 (14.1°C) y la temperatura máxima se determinó en el mes de Enero de 2009 en la E5 (21.1°C), a las 12:30 pm. El análisis de varianza arrojó datos de diferencias significativas para las estaciones de -muestreo, la E1, durante los cinco meses de muestreo, presentó la menor temperatura, con un promedio de 14,9°C, mientras que la E5 presentó los mayores valores con promedio de 18,8°C, presentando una amplitud de 4°C en promedio.

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en dos subconjuntos para la temperatura, separando las estaciones 1, 2, y 3 de las estaciones 4, 5 y 6. (Tabla 13)

Tabla 13. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de temperatura

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO					
			1			2		
Temperatura	9,9	0.01	E1	E2	E3	E4	E5	E6

Fuente: Los autores

Sin embargo, el análisis de varianza no muestra variaciones significativas la temperatura del agua en el humedal con respecto al transcurso de meses de muestreo, indicando un promedio de 16,8°C para septiembre, 17,1°C para octubre, 17,3°C para noviembre, 16,2°C para diciembre y 17,6°C en enero, con una amplitud de 1,4°C.

7.1.2 Conductividad eléctrica

Según la Tabla 14., la conductividad más baja se registró en el mes de Diciembre de 2008 en la E5 (277 µs/cm) y el valor de la mayor conductividad se registró en el mes de noviembre en la E1 (720 µs/cm).

Tabla 14. Registro de la Conductividad eléctrica en aguas, medida como $\mu\text{S}/\text{cm}$. Promedio \bar{x} , desviación estándar sd y coeficiente de variación cv .

CONDUCTIVIDAD DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	\bar{x}	sd	cv
E1	560	407	720	568	457	542,4	107,83	19,88
E2	459	429	561	576	363	477,6	80,60	16,88
E3	508	515	544	467	467	500,2	29,67	5,93
E4	415	368	355	490	416	408,8	47,42	11,60
E5	296	336	304	277	339	310,4	23,82	7,67
E6	426	425	432	475	465	444,6	21,11	4,75

Fuente: Los autores

Según el análisis de varianza existen diferencias significativas en los datos obtenidos de la medición de la conductividad respecto a las estaciones, durante los cinco meses de muestreo la E5 presentó los valores más bajos en conductividad, con un promedio de $310.4 \mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la E1 presentó los mayores valores con promedio de $542,4 \mu\text{S}/\text{cm}$., con una amplitud de $232 \mu\text{S}/\text{cm}$ en promedio.

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en tres subconjuntos para la conductividad, separando la estación 1, de la estación 5 y las estaciones 2, 4 y 6 respectivamente. (Tabla 15)

Tabla 15. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de conductividad eléctrica

PARÁMETRO	F_c	P	SUBCONJUNTO		
			1	2	3
Conductividad	7,7	0.01	E1	E5	E2, E4, E6

Fuente: Los autores

El análisis de varianza no muestra variaciones significativas la conductividad de la columna de agua en el humedal con respecto al transcurso de meses de muestreo, indicando un promedio de $444 \mu\text{S}/\text{cm}$, para septiembre, $413.3 \mu\text{S}/\text{cm}$

para octubre, 485 $\mu\text{s/cm}$ para noviembre, 475 $\mu\text{s/cm}$ para diciembre y 417,8 $\mu\text{s/cm}$ en enero, con una amplitud de 72 $\mu\text{s/cm}$.

7.1.3 pH

El pH o potencial de hidrogeniones, para el agua del humedal La Conejera, fluctúa muy cerca de valores neutros, encontrándose un valor máximo en la E6 – septiembre de 7.8 y el valor mínimo de 6,25 en la E2 – enero. (Tabla 16)

Tabla 16. Datos de pH en aguas. Humedal La Conejera promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

pH DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009									
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv	
E1	6,9	6,7	7,1	6,8	6,4	6,8	0,2	3,2	
E2	6,4	6,3	6,3	6,6	6,3	6,4	0,1	2,1	
E3	6,9	6,9	7,0	7,1	6,5	6,9	0,2	3,1	
E4	6,6	6,5	6,3	6,5	6,3	6,4	0,1	1,8	
E5	7,4	6,9	6,8	6,8	6,6	6,9	0,3	4,0	
E6	7,8	7,0	6,9	6,5	6,7	7,0	0,4	6,3	

Fuente: Los autores

El análisis de varianza arrojó datos de diferencias significativas para la estaciones de muestreo, al comparar los valores de pH evaluando las estaciones de muestreo se evidencia que la E6 en promedio presenta el mayor valor de pH con 7; y, el menor valor de pH lo presenta la E4 con un valor de 6.4 y una amplitud de 0.6 unidades de pH. La prueba DHS de Tukey organiza los datos en dos subconjuntos para el pH, separando las estaciones 2, y 4 de las estaciones 1, 3, 5 y 6. (Tabla 17)

Tabla 17. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de pH

PARÁMETRO	Fc	P	SUBCONJUNTO	
			1	2
pH	5,8	0.01	E2 E4	E1 E3 E5 E6

Fuente: Los autores

El pH, no presenta variaciones importantes con respecto al transcurso de meses de muestreo, indicando un promedio de 7.0 para septiembre, 6.7 para octubre, 6.7 para noviembre, 6.7 para diciembre y 6.5 en enero, con una amplitud de 0.5 unidades de pH. Solo en el muestreo de septiembre el pH presentó una variación con una amplitud de 1.6 unidades de pH.

7.1.4 Alcalinidad

La alcalinidad, para el agua del humedal La Conejera, se encuentra fluctuando entre un valor máximo en la E3 – diciembre de 173.4 mg/L de CaCO₃ y el valor mínimo de 20.16 en la E2 – enero. (Tabla 18) con una amplitud considerable de 153 mg/L de CaCO₃.

Tabla 18 Alcalinidad en aguas, medida como mg/L de CaCO₃. Se señalan valores superiores de 20% CV

ALCALINIDAD DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	151,2	120,16	66,53	145,15	36,29	103,87	45,10	43,42
E2	70,56	66,44	62,09	104,83	20,16	64,82	26,98	41,62
E3	76,61	116,12	90,72	173,38	34,27	98,22	46,00	46,84
E4	133,05	130,24	70,54	124,99	44,35	100,63	36,32	36,09
E5	90,72	110,08	74,6	80,64	22,18	75,64	29,32	38,76
E6	116,93	114,12	78,62	110,88	26,21	89,35	34,47	38,57

Fuente: Los autores

El análisis de varianza muestra diferencias significativas de los valores de la alcalinidad con respecto a las estaciones con el siguiente comportamiento: estación de mayor promedio se presentó en la E1 con 103.9 mg/L de CaCO₃ y el menor promedio se presentó en la E2 con 64.8 mg/L de CaCO₃. Con una amplitud de 39 mg/L de CaCO₃. La prueba DHS de Tukey organiza los datos en dos subconjuntos para la alcalinidad, separando las estaciones 1, 3, y 4 de las estaciones 2, 5 y 6. (Tabla 19)

Tabla 19. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de alcalinidad

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO	
			1	2
Alcalinidad	3,035262327	0.01	E1 E3 E4	E2 E5 E6

Fuente: Los autores

En el análisis de varianza los datos de alcalinidad, no presenta variaciones importantes con respecto al transcurso de meses de muestreo, indicando un promedio de 106.5 mg/L de CaCO₃ para septiembre, 109.5 mg/L de CaCO₃ para octubre, 73.8 mg/L de CaCO₃ para noviembre, 123.3 mg/L de CaCO₃ para diciembre y 30.58 mg/L de CaCO₃ en enero, con una amplitud de 93 mg/L de CaCO₃. Es importante resaltar que el muestreo realizado en el mes de enero las diferencias pueden considerarse relevantes sin embargo, las diferencias están enmarcadas dentro de los límites apropiados para la conservación de la vida acuática.

7.1.5 Dureza total

La dureza, para el agua del humedal La Conejera, se encuentra fluctuando entre un valor máximo en la E3 – noviembre de 106.25 mg/L de CaCO₃ y el valor mínimo de 68.75 en la E6 – septiembre, con una amplitud considerable de 38.5 mg/L de CaCO₃. (Tabla 20)

Tabla 20. Dureza total en aguas, medida como mg/L de CaCO₃, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

DUREZA TOTAL DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	136,25	207,5	175	197,5	148,75	173,00	27,32	15,79
E2	112,5	228,75	200	207,5	135	176,75	44,86	25,38
E3	106,25	118,75	231,3	223,75	150	166,01	52,26	31,48
E4	148,75	162,5	187,5	170	113,75	156,50	24,77	15,83
E5	93,75	88,75	85	81,5	72,5	84,30	7,16	8,50
E6	68,75	132,5	143,8	138,75	97,5	116,26	28,77	24,74

Fuente: Los autores

El análisis de varianza muestra la existencia de diferencias significativas entre los datos de dureza total con respecto a las estaciones se evidencia el siguiente comportamiento: estación de mayor promedio se presentó en la E2 con 176.5 mg/L de CaCO₃ y el menor promedio se presentó en la E5 con 84.3 mg/L de CaCO₃. Con una amplitud de 92.5 mg/L de CaCO₃

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en cuatro subconjuntos para la dureza total, separando las estaciones 1 y 2, estaciones 3 y 4, de la estación 5 y la estación 6. (Tabla 21)

Tabla 21. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de dureza total

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO			
			1	2	3	4
Dureza Total	8,7	0.01	E1 E2	E3 E4	E5	E6

Fuente: Los autores

El análisis de varianza no demuestra la existencia de variaciones importantes con respecto al transcurso de meses de muestreo, indicando un promedio de 111 mg/L de CaCO₃ para septiembre, 156.5 mg/L de CaCO₃ para octubre, 170.4 mg/L de CaCO₃ para noviembre, 169.8 mg/L de CaCO₃ para diciembre y 119.6 mg/L de CaCO₃ en enero, con una amplitud de 59 mg/L de CaCO₃.

7.1.6 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto OD, para el agua del humedal La Conejera, se encuentra fluctuando entre un valor máximo en la E6 – diciembre de 5.4 mg/L y el valor mínimo de 0.06 en la E4 – octubre, con una amplitud considerable de 5.4 mg/L. (Tabla 22)

Tabla 22. Datos de Oxígeno Disuelto OD en aguas, medida mg/L, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

OXÍGENO DISUELTO DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	0,06	0,16	0,42	0,83	0,13	0,32	0,28	88,32
E2	0,8	0,66	0,5	0,9	0,4	0,65	0,18	28,29
E3	0,4	0,26	0,2	1,1	0,9	0,57	0,36	63,12
E4	0,33	0,06	0,15	1,32	0,2	0,41	0,46	112,21
E5	2,06	2,5	1,53	2,98	1,99	2,21	0,49	22,24
E6	2,8	2,6	3,9	5,4	4,2	3,78	1,02	26,90

Fuente: Los autores

Los resultados del análisis de varianza muestran variaciones significativas en los datos de oxígeno disuelto con respecto a las estaciones se evidencia el siguiente comportamiento: estación de mayor promedio se presentó en la E6 con 3.78 mg/L y el menor promedio se presentó en la E1 con 0.3 mg/L, con una amplitud de 3.7 mg/L (Tabla 22).

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en tres subconjuntos para el oxígeno disuelto, separando las estaciones 1 y 2, estaciones 3 y 4, de la estación 5 y la estación 6. (Tabla 23)

Tabla 23. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de oxígeno disuelto

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO			
			1	2	3	4
Oxígeno disuelto	47,8	0.01	E1 E2	E3 E4	E5	E6

Fuente: Los autores

7.1.7 Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto %OD para el agua del humedal La Conejera, se encuentra fluctuando entre un valor máximo en la E6 –

diciembre de 40.5% y el valor mínimo de 1% en la E4 – octubre, con una amplitud considerable de 39%. (Tabla 24).

Tabla 24 Porcentaje (%) de saturación de oxígeno disuelto, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

% SATURACIÓN OXÍGENO DISUELTO DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	3,5	1,5	3,8	6,3	1,5	3,32	1,78	53,49
E2	6	7	4	6,5	3	5,30	1,54	28,99
E3	2,5	2	3,5	8	6	4,40	2,27	51,53
E4	2	1	1,5	10	2,5	3,40	3,34	98,17
E5	11	18,5	11,5	21,5	15,5	15,60	4,03	25,83
E6	20	17,5	28	40,5	32	27,60	8,32	30,13

Fuente: Los autores

Los resultados del análisis de varianza muestran variaciones significativas estadísticamente con un alfa 95 para los datos de % de saturación de oxígeno, donde la estación de mayor promedio es la E6 y la de menor promedio es la estación E1.

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en tres subconjuntos para el oxígeno disuelto, separando las estaciones 1 y 2, estaciones 3 y 4, de la estación 5 y la estación 6. (Tabla 25)

Tabla 25. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de oxígeno disuelto

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO			
			1	2	3	4
% de saturación oxígeno disuelto	34,0	0.01	E1 E2	E3 E4	E5	E6

Fuente: Los autores

7.1.8 Transparencia

Se determinó con el Disco de Secchi. Para las estaciones de muestreo E1, E2, E3 y E4 no se pudo determinar la transparencia; en E1 y E4 durante los meses de muestreo siempre estuvo cubierta la superficie por plantas flotantes como *Lemna minor* (lenteja de agua), *Lemna sp.* (sombriilla) y otras. En E2 y E3, la superficie se presenta parcialmente cubierta y se observa una coloración oscura. En E5 y E6 se observa despejada la superficie destacándose así los espejos de agua; en estos dos puntos se pudo determinar la transparencia con Secchi. La mayor transparencia se determinó en E6 durante el muestreo de octubre (1.6 m).

7.1.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la determinación de la demanda química de oxígeno se puede medir el contenido de materia orgánica presente en el agua, mediante la oxidación química. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica existente en una muestra de agua y oxidable mediante la reacción con un oxidante fuerte. Los compuestos orgánicos pueden ser oxidados a CO₂ y agua (Romero, 2005).

En el Humedal La Conejera, la DQO fluctuó entre 353.33 y 1113.33 mg/L. El valor mínimo se encontró en E6 (Lago EAAB), en Octubre de 2008 y el máximo en E1 (Descarga Quebrada La Salitrosa) en Enero de 2009.

En la determinación de la demanda química de oxígeno se puede medir el contenido de materia orgánica presente en el agua, mediante la oxidación química. La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica existente en una muestra de agua y oxidable mediante la reacción con un oxidante fuerte. Los compuestos orgánicos pueden ser oxidados a CO₂ y agua (Romero, 2005).

La DQO en las aguas del humedal es igualmente diferente entre las estaciones (ANOVA $F=56.950$, $p < 0.001$). Esta se reduce de manera significativa en las estaciones E5 y E6 en donde la recuperación del espejo de agua permite el ingreso de oxígeno.

Tabla 26. Demanda química de oxígeno, medida como mg/L de OD, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20% CV

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	1108,9	1082,2	1100,0	1108,9	1113,3	1102,7	11,1	1,0
E2	1104,4	1073,3	962,2	1095,6	1108,9	1068,9	54,7	5,1
E3	868,9	713,3	913,3	1068,9	1077,8	928,4	135,7	14,6
E4	860,0	708,9	860,0	882,2	988,9	860,0	89,4	10,4
E5	780,0	548,9	682,2	788,9	748,9	709,8	88,7	12,5
E6	708,9	353,3	624,4	753,3	566,7	601,3	139,9	23,3

Fuente: Los autores

Los resultados del análisis de varianza muestran variaciones significativas estadísticamente con un alfa 95 para los datos de DQO, donde la estación de mayor promedio es la E1 y la de menor promedio es la estación E6.

La prueba DHS de Tukey organiza los datos en cuatro subconjuntos para la DQO, separando las estaciones 1 y 2, estaciones 3 y 4, de la estación 5 y la estación 6. (Tabla 27)

Tabla 27. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de demanda química de oxígeno

PARÁMETRO	F _c	P	SUBCONJUNTO							
			1		2		3		4	
Demanda química de oxígeno	34,0	0.01	E1	E2	E3	E4	E5	E6		

Fuente: Los autores

7.2 MATERIA ORGÁNICA Y CARBONO ORGÁNICO EN SEDIMENTOS DEL HUMEDAL LA CONEJERA

En la tabla 28, se presentan los valores de materia orgánica para el Humedal La Conejera en las seis estaciones de muestreo, presenta los valores de Promedio, Desviación Estándar y Coeficiente de variación.

Tabla 28. Materia orgánica en sedimentos, medida como %MO, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20 CV

MATERIA ORGÁNICA DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	13,62	13,48	13,68	13,41	13,68	13,6	0,1	0,8
E2	13,21	13,21	13,21	13,55	13,62	13,4	0,2	1,4
E3	12,18	12,53	12,93	13,62	13,55	13,0	0,6	4,3
E4	9,93	9,59	9,8	10,21	9,39	9,8	0,3	2,9
E5	8,57	7,48	7,07	8,78	8,09	8,0	0,6	8,1
E6	7,48	5,03	6,19	8,23	5,3	6,4	1,2	19,2

Fuente: Los autores

Tabla 29. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de materia orgánica

PARÁMETRO	Fc	P	SUBCONJUNTO			
			1	2	3	4
Materia orgánica	117,7	0.01	E1 E2 E3	E4	E5	E6

Fuente: Los autores

Las concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos del humedal, oscilan entre 2.91 y 7.94% (Tabla 30). La concentración mínima se encontró en el punto 6 (E6, Lago EAAB), cerca de la desembocadura al río Bogotá y la concentración máxima se determinó en el punto 1 (E1, Descarga Quebrada La Salitrosa).

Tabla 30. Carbono orgánico en sedimentos, medida como %CO, promedio desviación estándar y coeficiente de variación. Se señalan valores superiores de 20 CV

CARBONO ORGÁNICO DESDE SEPTIEMBRE 2008 HASTA ENERO 2009								
E	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	x	sd	cv
E1	7,9	7,82	7,94	7,78	7,94	7,9	0,1	0,8
E2	7,66	7,66	7,66	7,86	7,9	7,7	0,1	1,4
E3	7,07	7,26	7,5	7,9	7,86	7,5	0,3	4,3
E4	5,76	5,56	5,68	5,92	5,44	5,7	0,2	2,9
E5	4,97	4,34	4,1	5,09	4,69	4,6	0,4	8,0
E6	4,34	2,91	3,59	4,77	3,07	3,7	0,7	19,2

Fuente: Los autores

Tabla 31. Valores obtenidos del Análisis de Varianza y la Prueba DHS de Tukey para los datos de carbono orgánico

PARÁMETRO	Fc	P	SUBCONJUNTO			
			1	2	3	4
Carbono orgánico	117,6	0.01	E1 E2	E3 E4	E5	E6

Fuente: Los autores

El análisis de varianza muestra diferencias significativas para una $P= 0.05$ para los datos de MO y consecuentemente de CO debida a las estaciones de muestreo y la prueba de DHS de Tukey reúne en cuatro subgrupos distanciando las estaciones E1 E2, de las estaciones E3 E4, de la estación E5 y la Estación E6.

7.3 VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN AGUAS Y SU RELACIÓN CON LA MATERIA ORGÁNICA Y EL CARBONO ORGÁNICO EN SEDIMENTOS

La correlación entre parámetros fisicoquímicos arroja los mayores valores significativos directos entre profundidad y transparencia (0,921), entre DQO y %MO-%CO (0,902) y entre OD y transparencia (0,885). Se observa en la tabla 31 los mayores coeficientes significativos inversos se observan entre %MO-%CO

y transparencia (-0,8), entre %MO-%CO y profundidad (-0,8) y entre DQO y transparencia (-0,7).

Se determinaron las correlaciones directamente significativas y las correlaciones inversamente significativas para 9 variables en aguas (conductividad, pH, dureza, DQO, OD - % saturación O₂, alcalinidad, profundidad, transparencia) y 2 parámetros en sedimentos en el Humedal La Conejera (%de materia orgánica y % de carbono orgánico).

Tabla 32. Correlaciones de Pearson y su nivel de significancia para las variables fisicoquímicas analizadas

PARÁMETRO	CORRELACIONES DIRECTAS		CORRELACIONES INVERSAS	
	p<0.01	p<0.05	p<0.01	p<0.05
Conductividad eléctrica	Dureza DQO % MO - %CO		Profundidad	OD-% saturación O ₂
pH	Alcalinidad Profundidad Transparencia	OD-% saturación O ₂	DQO	Dureza % MO - %CO
Alcalinidad	pH Dureza			
Dureza total	Conductividad Alcalinidad DQO % MO - %CO		OD-% saturación O ₂ Profundidad Transparencia	pH
OD-% saturación O₂	Profundidad Transparencia	pH	Dureza DQO % MO - %CO	Conductividad
DQO	Conductividad Dureza % MO - %CO		pH OD-% saturación O ₂ Profundidad Transparencia	
%MO - %CO	Conductividad Dureza DQO		OD-% saturación O ₂ Profundidad Transparencia	pH
Profundidad	pH OD-% saturación O ₂ Transparencia		Conductividad Dureza DQO % MO - %CO	
Transparencia	pH		Dureza	Conductividad

OD-% Saturación O ₂ Profundidad	DQO % MO - %CO
--	-------------------

Fuente: Los autores

En este análisis se excluye la temperatura debido a que sus variaciones, pueden deberse a las condiciones climáticas durante los meses de muestreo y las horas de muestreo, ya que estos se realizaron entre las 8:00 am y las 2:00 pm.

7.4 CARACTERIZACIÓN POR EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN

Es resultado de las medidas de conductividad evidencia la concentración de los sólidos disueltos, la dureza que recoge los cationes calcio y magnesio y la alcalinidad que considera los iones carbonatos y bicarbonatos. (Ramírez, Restrepo , & Viña, 1997)

Tabla 33. Índice conjugado de Contaminación por Mineralización ICOMI

ESTACIO NES	Índice De Conductividad	Índice de Dureza	Índice de Alcalinidad	ICOMI
E1	1	1	0,26	0,75
E2	1	1	0,07	0,69
E3	1	1	0,23	0,74
E4	1	1	0,25	0,75
E5	1	0,2	0,12	0,44
E6	1	1	0,19	0,73

Fuente: Los autores

7.5 FUNCIONES CANÓNICA DISCRIMINANTE

Se pretende encontrar relaciones lineales entre las variables fisicoquímicas que mejor discriminen en los grupos las estaciones analizadas.

Tabla 34. Correlaciones entre estaciones combinada entre las variables discriminantes y las funciones discriminantes canónicas estandarizadas

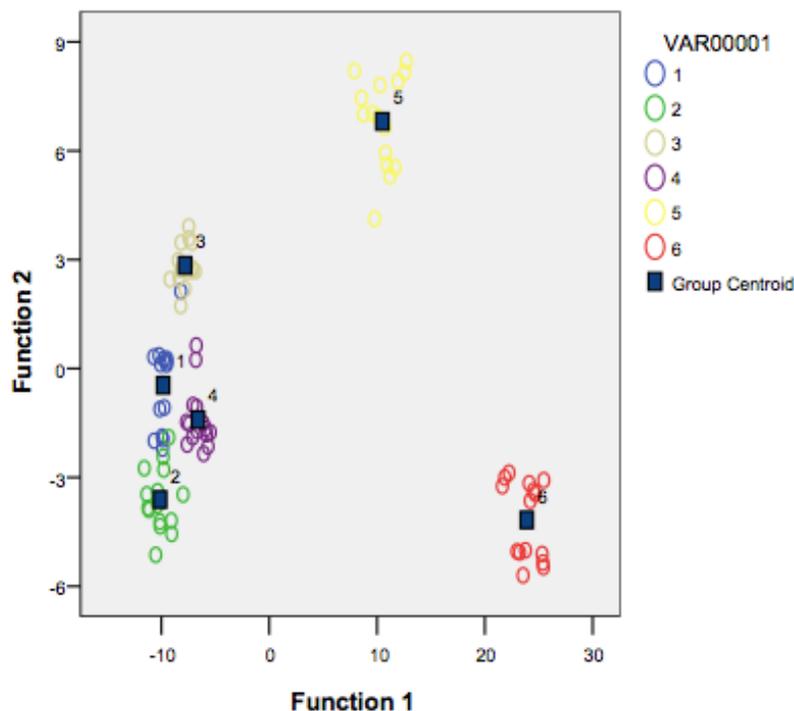
	Función				
	1	2	3	4	5
Transparencia (cm)	,542(*)	-,331	,263	,076	,262
Profundidad (cm)	,259	,304(*)	-,056	,223	-,076
%MO	-,297	-,065	,608(*)	-,045	-,251
%CO(a)	-,297	-,065	,608(*)	-,045	-,251
Temperatura	,078	,103	-,265(*)	-,245	,004
Conduc. eléct.	-,047	-,158	,261	,185	,615(*)
DQO	-,128	-,070	,180	,204	-,559(*)
pH	,041	,082	,162	,128	,499(*)
Alcalinidad	-,004	-,002	-,010	,188	,486(*)
Dureza total	-,062	-,123	,070	-,013	,307(*)
OD	,165	-,048	,072	-,027	-,191(*)
% Saturación	,158	-,057	,081	-,086	-,187(*)
Pluviosidad	,000	,000	,000	,000	,000(*)

Variables ordenadas por el tamaño absoluto de la correlación dentro de la función.

Mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante

Fuente: Los autores

Figura 10. Funciones Canónicas Discriminantes



Fuente: Los autores

7.6 CARACTERIZACIÓN DE UNGEMACH

Se basa en la caracterización de los sedimentos lacustres y su contenidos de materia orgánica.

Figura 11. Clasificación del contenido de materia orgánica según Ungemach en las estaciones de muestreo en el humedal La Conejera

Fuente: Los autores

8. DISCUSIÓN

8.1 CONDICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SEDIMENTO

La condición fisicoquímica del agua superficial del Humedal La Conejera se presentará de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos en agua y la materia orgánica en sedimento.

- Temperatura. Los valores de temperatura se ajustan a los modelos esperables para ecosistemas acuáticos alto andinos y no presentan valores que indiquen algún tipo de contaminación térmica pero sí influyen en los valores de concentración de oxígeno disuelto y en las velocidades de descomposición de la materia orgánica, los resultados obtenidos a partir de la prueba de Tukey donde se forman dos grupos, uno con las estaciones E1, E2 y E3 otro con las estaciones E4, E5 y E6 se puede explicar a partir del cambio de la radiación solar con el transcurrir del día las tres primeras estaciones se muestrearon antes de las 10:00 am mientras que las siguientes se muestrearon entre las 10:00 y 12:00 am.

- Conductividad eléctrica. Las estaciones se organizan en tres grupos de diferente comportamiento respecto a la conductividad, la estación 1 presenta los mayores registros durante todo el muestreo y está claramente relacionado con la desembocadura de la quebrada La Salitrosa. El grupo número 2 organiza las estaciones E3 (500,2 $\mu\text{s/cm}$), E2 (477,6 $\mu\text{s/cm}$), E6 (444,6 $\mu\text{s/cm}$) y E4 (408,8). Mientras que la estación E5 con su valor promedio de 310,4 $\mu\text{s/cm}$ presentando los valores más bajos de conductividad se asocia a los procesos de recuperación del humedal y a sus condiciones particulares de espejo de agua libre de macrófitas y una penetración efectiva de la luz de 0,6 m, puede ser clasificada como de conductividad media.

A pesar de las diferencias significativas entre las estaciones de muestreo respecto a los valores de conductividad todas las estaciones pueden ser catalogadas como de alta conductividad eléctrica (Donato, 2008)., o de alta riqueza iónica asociada a altas tasas de contaminación y escasa biodiversidad (Pinilla, Duarte Coy, & Vega Mora, 2010).

- pH. Los valores de pH están entre 6,3 y 7,8 unidades que se considera en el intervalo de pH de 6.0 a 9.0 que es apropiado para la conservación de la vida acuática propia de humedales. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

En general, el pH en el agua de humedales tiende a ser levemente ácido, lo que indica mayor presencia de iones hidrogeniones H⁺, las estaciones E1, E3, E5 y E6 se pueden considerar neutras; mientras que, las E2 con un valor de 6.4 y E4 un valor de 6.4 se pueden clasificar como débilmente ácidas, estos valores de pH inferiores a 7 indican procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. En ecosistemas acuáticos generalmente estos ácidos disueltos corresponden a ácidos húmicos provenientes de la descomposiciones de vegetación acuática, de bajo peso molecular y persistentes. (Abarco, 2005)

- Alcalinidad. De acuerdo con los valores obtenidos de la prueba de alcalinidad, dividen las estaciones en dos grupos diferenciables estadísticamente así: E1, E3, E4 presentan alcalinidades mayores a 98,2 mg/L CaCO₃ mientras que las demás estaciones pertenecen a un grupo de valores comparativamente menores, este hecho puede estar asociado para las estaciones 5 y 6 a ser el resultado de acciones de recuperación del humedal. (75,64 mg/L CaCO₃)

En general, los valores de alcalinidad medidos en el Humedal de La Conejera, en todas las estaciones pueden ser consideradas como aguas dulces blandas con datos de alcalinidad inferiores a 200 mg/L de CaCO₃, según (Ramírez

González & Viña Vizcaíno, 1998), estos valores de alcalinidad permiten el establecimiento de poblaciones ícticas en ecosistemas acuáticos dulces, sin embargo esta situación no es posible en el Humedal La Conejera explicable al revisar los demás parámetros fisicoquímicos específicamente el oxígeno disuelto.

Las aguas con un pH ácido pueden ser altamente alcalinas y resisten cambios de pH; en el caso del Humedal La Conejera, que presenta un pH levemente ácido en las E2 y E4 los valores de alcalinidad son suficientes para amortiguar los cambios en el potencial de hidrogenación. En ciertas condiciones, las aguas naturales pueden ser alcalinas debido a cantidades apreciables de hidróxidos y carbonatos; esto sucede particularmente en aguas superficiales con algas en crecimiento, pues las algas toman el CO₂ que se encuentra en forma libre y combinada. (Sawyer, McCarter, & Parkin, 2001)

- Dureza total. Todos los valores promedio de la dureza medidos en las estaciones del Humedal La Conejera, superan los 80 mg/L de CaCO₃ lo que las clasifica dentro de aguas eutróficas; sin embargo la prueba tukey separa los datos de Dureza en 4 grupos diferentes para las seis estaciones, de mayor a menor dureza están en el grupo 1 las E1 y E2, en el grupo 2 las E3 y E4 en el grupo 3 la E5 y el grupo 4 la E6, notando una clara relación con los procesos de recuperación que se han establecido en el Humedal de La Conejera.

Al contrastar los valores de dureza medidos en las estaciones del Humedal La Conejera, clasifican las estaciones E5 y E6 como moderadamente duras con valores inferiores a 120 mg/L de CaCO₃, evidenciando una probable recuperación en estas estaciones que están dentro de la zona de protección del humedal; mientras las estaciones E1, E2, E3 y E4 pueden clasificarse como aguas duras; con lo que se evidencia la presencia de altos contenidos de magnesio y calcio. (Ramírez González & Viña Vizcaíno, 1998)

- Oxígeno disuelto. El incremento en el crecimiento de plantas acuáticas y la alta concentración de materia orgánica afectan negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el humedal. La prueba Tukey separa los datos obtenidos de para OD en cuatro los mismos grupos que lo hace para dureza grupo 1 las E1 y E2, en el grupo 2 las E3 y E4 en el grupo 3 la E5 y el grupo 4 la E6, desde las estaciones con anoxia hasta estaciones levemente oxigenadas, encontrando una relación con los procesos de recuperación del Humedal.

En las estaciones E1 y E2, el incremento en el crecimiento de plantas acuáticas y la alta concentración de materia orgánica proveniente de la Quebrada La Salitrosa, afectan negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el humedal, y oscurecen totalmente el espejo de agua. De acuerdo con los resultados obtenidos en el parámetro dureza total, donde clasifican las aguas como eutróficas y considerando que los procesos de eutrofización de ecosistemas acuáticos influyen directamente en los niveles de oxígeno disuelto ya que para que ocurra la oxidación de la materia orgánica es necesario consumir oxígeno, es claro que las estaciones E1, E2, se pueden clasificar como anóxicas.

Las estaciones E3 y E4 son estaciones cubierta por macrófitas acuáticas y con un olor a sulfuro de hidrógeno característico evidenciando la presencia de microorganismos anaerobios de que realizan procesos de descomposición de materia orgánica. Estas estaciones muestran un estado de eutrofia, generando un mayor nivel de productividad y de biomasa, favoreciéndose así un crecimiento de plantas acuáticas superficiales (Margalef, 1983).

En las estaciones E5 y E6 las concentraciones de OD aumentan hecho relacionado con la recuperación del espejo de agua y la penetración efectiva de la luz que favorece la fotosíntesis del fitoplancton presente, el ingreso de oxígeno favorece una mayor remoción aerobia de materia orgánica (Ramos, 2004).

- Porcentaje de saturación de oxígeno. El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es bastante bajo y característico de los cuerpos de agua eutróficos, ya que si este se encuentra por debajo de 100% el agua del humedal está subsaturada, indicando así una baja concentración de oxígeno disuelto, situación que se relaciona con la presencia de materia orgánica en descomposición (Vásquez et al, 2006).

- Transparencia. En general se puede señalar un intervalo de transparencia entre 0 m y 1.6 m. Según Henao (1987), los valores de transparencia Secchi mayores a 1,6 m indican un ecosistema en estado de oligotrofia, entre 1,6 y 0,8 m, el estado es mesotrófico y cuando son menores a 0,8 m la condición es de eutrofia. Por lo tanto se concluye que el estado en E1, E2, E3 y E4 es eutrófico con una columna de agua oscura; la condición en E5 varía entre 0.4 y 0.6 m indicando un estado eutrófico y por último en E6 en donde la transparencia varía entre 1.0 y 1.2 m, es un sistema mesotrófico,, este proceso de aumento en la penetración efectiva de la luz está claramente relacionado con las actividades de recuperación del humedal específicamente con el dragado, característico en las E5 y E6 únicas estaciones donde se presenta espejo de agua libre de macrófitas.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DQO aparece muy relacionada con el OD y la dureza considerando la separación en subconjuntos que realiza la prueba Tukey con las mismas estaciones, así: grupo 1 las E1 y E2, en el grupo 2 las E3 y E4 en el grupo 3 la E5 y el grupo 4 la E6.

Se puede observar que los valores de DQO son altos en las estaciones 1 y 2 debido a la gran cantidad de materia orgánica presente, la cual requiere de grandes cantidades de oxígeno disuelto para degradarse.

La reducción de la DQO ocurre lentamente en el humedal, pero si se observa una disminución considerable en las estaciones 5 y 6, en donde la recuperación del espejo de agua permite el ingreso de oxígeno a las aguas y la fotosíntesis de fitoplancton.

Sin embargo en la estación 6, durante el mes de diciembre, se observa un leve incremento de DQO debido a que durante esta época, aves migratorias como las garzas canadienses ocupan los juncales, para reproducirse; estas aves hacen un aporte alto de materia orgánica, representado en excrementos y en la gran cantidad de aves que mueren al llegar.

- Materia orgánica (%MO) y carbono orgánico (%CO) en sedimentos. La materia orgánica que está presente en el Humedal La Conejera proviene de dos fuentes claramente diferenciadas, alóctonas y autóctonas. La quebrada la Salitrosa es el mayor aportante de materia orgánica al humedal, pero otra cantidad nada despreciable es la entra disuelta proveniente de los suelos de las riberas, estos suelos ricos en nutrientes del plano de inundación del Río Bogotá. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007) El sedimento, rico en materia orgánica, del humedal La Conejera, es producto de la degradación microbiana la biomasa, de residuos domésticos, industriales y del aporte de escorrentía de las riberas. (Zarza, 2010)

La actividad de un cuerpo de agua léntico como receptor en una cuenca hidrográfica, como ocurre en los humedales, está relacionada con la velocidad de acumulación y la composición de materiales que se reciben. (Ramírez & Noreña, 2004) Se puede inferir entonces, que las partículas sedimentables de mayor tamaño y masa, se precipitan a mayor velocidad que las de menor tamaño y que aquellos sólidos con diámetros menores a 0,01 mm quedan suspendidas. (Romero J. A., 2005) Estos materiales suspendidos son transportados según la dirección de las corrientes y finalmente depositados en las orillas. (Wetzel, 1981).

Los contenidos de materia orgánica en los sedimentos del Humedal La Conejera, varían entre 5.03 y 13.68 %. La concentración máxima se determinó en el punto de muestreo 1 (E1, Descarga Quebrada La Salitrosa) La mínima concentración se estableció en el punto de muestreo 6 (E6, Lago EAAB).

Las mayores concentraciones de materia orgánica y carbono orgánico, determinadas en la E1, son producto de las descargas directas de la Quebrada La Salitrosa con aguas provenientes de 14 barrios aledaños, haciendo descargas directas de aguas residuales y residuos sólidos desde hace varios años; la comunidad no cuenta en su totalidad con un sistema de alcantarillado suficiente y por lo tanto los aportes de residuos y materia orgánica a la quebrada son altos (Fundación Humedal La Conejera, 2005).

Humedales como el de La Conejera sirven de depósito de sedimentos y su acumulación puede alterar el almacenamiento de aguas de inundación, no obstante, estos depósitos de sedimentos en la parte alta de un cuerpo de agua pueden servir de filtros para retener sustancias contaminantes, como: sólidos suspendidos, sustancias tóxicas, nitrógeno y fósforo, entre otros, haciendo que aguas abajo la calidad del cuerpo de agua mejore y el tiempo y volumen de retención se aumente. Este mismo proceso favorece la reducción de carga de nutrientes lo cual puede contribuir con el proceso de autodepuración del agua aguas abajo.

La concentración de MO y CO en los sedimentos del humedal de La Conejera se relaciona con los valores del OD, DQO y dureza y la prueba Tukey separa sus resultados, en los mismos cuatro grupos, así: grupo 1 las E1 y E2, en el grupo 2 las E3 y E4 en el grupo 3 la E5 y el grupo 4 la E6 evidenciando una disminución progresiva de la materia orgánica que se incorpora en el humedal en sus primeras estaciones de muestreo. La variación en concentración de materia

orgánica está claramente influenciada con los procesos de recuperación del Humedal La Conejera, principalmente el rescate del espejo de agua.

Las E1 y E2 se caracterizan por la presencia de abundante vegetación riparia y flotante; sedimentos de textura fina, de color negro con olor característico del ácido sulfhídrico. La vegetación riparia aporta al cumplimiento de las funciones ecológicas del humedal, como estabilización de cambios de temperatura del agua por el sombrero en el litoral, el mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto, la provisión de refugio contra la depredación y, disminución de la velocidad de la corriente, el transporte de materia orgánica y nutrientes a las corrientes adyacentes, la captura y fijación de nutrientes del agua, su posterior liberación, la asociación importante con insectos acuáticos y otros invertebrados, especialmente en sus fases larvales, y la provisión de hábitat para vertebrados terrestres, en particular aves. Todo esto hace de la vegetación de ribera un importante ecotono, de alta diversidad biológica y que es empleado por la fauna como corredor migratorio. (UNAL - CORMAGDALENA, 2007)

Los sedimentos de la E3 se encuentran mezclados con residuos de escombros; son de color negro y olor a ácido sulfhídrico. El porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico en esta estación, se relaciona directamente con la disminución del nivel del agua durante los meses de diciembre y enero. Los sedimentos de E4, presentan mayor consistencia, debido al enraizamiento de las plantas macrófitas y al igual que la E3 aumenta el contenido de materia orgánica en los meses de verano. Plantas emergentes como el *Scirpus* (juncos) son característicos de estas estaciones, según Allen (1971) estos son fuente de sustancias orgánicas disueltas. (Cole, 1988).

Los sedimentos de la estación E5, son de textura arcillosa y color café grisáceo. se presenta menor concentración de materia orgánica (menor al subconjunto 1 y

2) y carbono orgánico. La profundidad es de 0.8 m. Ácido sulfhídrico imperceptible

Para la E6, la concentración de materia orgánica varía entre 5.03% y 8.23% y la concentración de carbono orgánico varía entre 2.91% y 4.77%. La profundidad es de 1.5 m. El olor a ácido sulfhídrico es imperceptible.

La concentración de materia orgánica en E6 es inferior a E5, sin embargo son similares en la presencia de amplios espejos de agua, menor cantidad de plantas flotantes y aumento de profundidad y penetración efectiva de la luz, Estas zonas corresponden a espacios de recuperación, en donde se han retirado basuras, escombros y se ha recuperado el espejo de agua (FHLC, 1995).

8.2 CORRELACIONES DIRECTAS

Se realizó la jerarquización de las correlaciones directas significativas y muy significativas. (Tabla 31)

- *Correlación entre profundidad y transparencia. Correlacion directa muy significativa.* $R=0.921$. La transparencia en los cuerpos de agua lénticos, depende de la concentración de sólidos suspendidos, de la cantidad de algas y de otros elementos asociados a las dinámicas propias de estos ecosistemas. Por consiguiente, en el humedal La Conejera, la transparencia puede variar estacionalmente según las variaciones de los sólidos suspendidos, por las tasas de crecimiento de las diferentes formas de vida (Vasquez, Ariza, & Pinilla) o según la profundidad.

Durante el periodo analizado, la transparencia varió entre 0,4 y 1,6 m en las estaciones E5 y E6, que a su vez son las estaciones con mayor profundidad, variando esta entre 116 y 170 cm respectivamente.

En las demás estaciones, E1, E2, E3 y E4, la transparencia fue menor al igual que la profundidad. Las plantas macrófitas en estas estaciones, poco profundas, encuentran un medio apropiado para aumentar su densidad poblacional, obstruyendo así, en algunos sectores, los espejos de agua, condición que limita el ingreso de la luz solar en estas aguas.

Los valores de transparencia de Secchi registrados para las estaciones E1, E2, E3 y E4 es nulo y la estación E5, se encuentran en un rango entre 0,4 y 0,6 m, de donde se deduce que corresponden a un cuerpo de agua eutróficos. La estación E6 registra una transparencia entre 1,2 y 1,6 m, de donde se deduce que corresponde a una condición mesotrófica (Henaó, 1987).

- *Correlación entre DQO y %MO - %CO. Correlación directa muy significativa.* $R=0.902$, esto indica un comportamiento muy definido de la materia orgánica del sedimento al degradarse y de su relación con el consumo de oxígeno de la columna de agua para tal efecto; al realizar el análisis espacial, se evidencia una proporcionalidad en su descomposición, lo cual puede depender de los factores bióticos y abióticos de la columna de agua del humedal. La DQO fue mayor en las estaciones E1, E2, E3 y E4 en donde el aporte de materia orgánica proveniente de diferentes fuentes es mayor.

Cuando las descargas de materia orgánica son altas como ocurre en las estaciones mencionadas, se observa que la DQO aumenta, mientras que en las E5 y E6 son menores como consecuencia de la disminución del aporte de sustancias contaminantes y de la degradación de la materia orgánica. Los humedales acumulan materia orgánica en sus sedimentos y a su vez también liberan materiales desde los sedimentos. Este proceso se conoce como recarga interna. (SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO, 2006)

- *Correlación entre oxígeno disuelto – porcentaje de saturación de oxígeno y transparencia. Correlación directa muy significativa. $R=0.885$* , las dos fuentes de OD en los cuerpos de aguas naturales son la atmósfera y la fotosíntesis. El *oxígeno atmosférico* en contacto con el agua es una fuente ilimitada de oxígeno; la principal fuente de OD es la fotosíntesis. El proceso fotosintético depende de la cantidad de luz de la cual pueden disponer los organismos fotosintetizadores. Es por esta razón que se observa una correlación directa y altamente significativa entre estos dos parámetros, puesto que se evidencia una mejor concentración de OD en las estaciones del humedal La Conejera en donde se tiene una mejor transparencia como ocurre en las estaciones E5 y E6. En las estaciones carentes de transparencia como en E1, E2 y E3, las concentraciones de OD son escasas y en la estación E4 el OD es nulo.

En relación con los materiales en suspensión, si la concentración de estos aumenta, la penetración de la luz será menor. A medida que se avanza en profundidad en un cuerpo de agua, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye. Los microorganismos fotosintéticos como las cianobacterias, por lo general abundan en las capas superficiales de los humedales debido a su necesidad de luz y por lo tanto, pueden contribuir en el incremento de los niveles de oxígeno disuelto. Pero si por el contrario, al disminuir la transparencia por obstrucción de sólidos suspendidos, también disminuye la capacidad fotosintética y por lo tanto disminuye la concentración de oxígeno disuelto.

El humedal La Conejera, en sus estaciones menos transparentes, se caracterizan por una escasa o nula oxigenación. Esta condición puede indicar un alto grado de contaminación, en especial en aquellas estaciones que reciben las descargas de la quebrada La Salitrosa y de conexiones herradas del alcantarillado.

- *Correlación entre oxígeno disuelto – porcentaje de saturación de oxígeno y Profundidad. Correlación directa muy significativa. $R=0.834$.* El mejor ingreso de oxígeno en las aguas ocurre a nivel superficial, este aportado por la atmósfera. A medida que se profundiza en la columna de agua, el aporte de oxígeno depende de la tasa fotosintética, siempre y cuando la transparencia lo permita. La concentración de OD disminuye progresivamente a medida que decrece la luminosidad, o sea a medida que se desciende en la columna de agua.

El oxígeno disuelto en el agua proviene de la fotosíntesis que realizan organismos que poseen clorofila. Como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración será mayor a este nivel. En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica.

Según Margalef (1989), en una columna de agua en quietud relativa y en contacto con la atmósfera, la difusión del oxígeno hacia abajo es muy lenta. También se puede detectar anoxia en el fondo de los humedales y puede estar asociada a los procesos de descomposición de materia orgánica en los sedimentos.

8.3 CORRELACIONES INVERSAS

Se realizó la jerarquización de las correlaciones inversas significativas y muy significativas. (Tabla 31)

- *Correlación entre %MO-%CO y transparencia.* Al analizar la correlación entre porcentaje de materia orgánica y transparencia, es necesario deducir que los cuerpos de agua lénticos con abundantes sedimentos poseen aguas con baja o nula transparencia y por lo tanto es más difícil la penetración de la luz, lo cual favorecería la fotosíntesis y por lo tanto el aporte de oxígeno disuelto de los

organismos fotosintetizadores. Un valor mínimo de transparencia, es una indicación de presencia de materia orgánica.

En las estaciones E1, E2, E3 y E4 no se registra transparencia debido al alto contenido de materia orgánica presente. También se debe a la presencia de plantas macrófitas que cubren la mayor parte del espejo de agua. En las estaciones E5 y E6 se registran valores de transparencia y se pueden asociar a los niveles de degradación de la materia orgánica del sedimento.

- *Correlación entre %MO-%CO y profundidad* $R = -0.814$. Los lagos con pocos sedimentos tienen aguas transparentes que dejan penetrar profundamente la luz. Pero en el caso de los humedales como el humedal La Conejera, abunda la materia orgánica que se va depositando como sedimento.

Realmente en este ecosistema, en las estaciones E1, E2, E3 y E4 es mínima la profundidad debido a los procesos de acumulación de materia orgánica tanto de origen natural como de origen antropogénico.

En cuerpos de agua en donde la profundidad permite la penetración de la luz solar, se puede establecer un equilibrio entre la producción de materia orgánica por fotosíntesis y la pérdida de sustancias por respiración, dependiendo de la transparencia del agua (Cifuentes, Torres, & Frias, 1997) (R, Roldán, & Ramirez, 2010) En estas aguas se reciben de las capas superficiales a los organismos muertos y los restos de materia orgánica que expulsan durante su metabolismo, los cuales se van desintegrando a medida que descienden y se depositan en el fondo.

En las estaciones E5 y E6 la relación es inversa, es mayor la profundidad y menor la concentración de materia orgánica. Wakeham & Lee (1993) muestran que la materia orgánica presente en la columna de agua y que finalmente es

acumulada en los sedimentos marinos, está compuesta por material orgánico autóctono y alóctono que es sometido a una intensa degradación durante su descenso por la columna de agua y sólo una pequeña fracción (< 10%) alcanza el piso marino (Guiñez, Valdes, & Sifeddine, 2010). Según los resultados obtenidos en este estudio, es similar el comportamiento de la materia orgánica de los humedales aunque las condiciones son totalmente diferentes.

- *Correlación entre DQO y profundidad.* La intensidad de la luz decrece con la profundidad y después de varios centímetros en los humedales, resulta insuficiente para que se realice la fotosíntesis, disminuyéndose así el oxígeno disuelto y por lo tanto aumentando la demanda química de oxígeno.

La degradación de la materia orgánica ocurre en su mayoría en la columna de agua. En las estaciones menos profundas en el humedal La Conejera es mayor la DQO debido a la alta concentración de materia orgánica. En las estaciones más profundas, caracterizadas por una mayor transparencia, es menor el requerimiento de oxígeno, pues en estas zonas se observa una menor concentración de materia orgánica.

Correlación entre DQO y transparencia $R = -0.772$, En los humedales existen muchos materiales en suspensión, representados por materiales muy finos, entre ellos partículas de material orgánico las cuales obstruyen la penetración de la luz y por consiguiente la transparencia.

Si la obstrucción en la transparencia del agua proviene de la concentración de los seres fotosintetizadores, la productividad puede ser mayor; pero si la obstrucción de la transparencia está representada en materiales en descomposición, estos requerirán de mayor demanda de oxígeno, por lo tanto se deduce que entre menor sea la transparencia, mayor será la DQO.

- *Correlación entre oxígeno disuelto – porcentaje de saturación de oxígeno y %MO-%CO* $R = -0.722$. Los sedimentos de un cuerpo de agua léntico son parte del ecosistema acuático, así es que se deben considerar y analizar las interacciones entre el sedimento y el agua en el Humedal La Conejera, ya que tienen un alto significado en la valoración trófica de estos cuerpos de agua (Gukel, 2003).

Al realizar la correlación entre el oxígeno disuelto y el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico, se observa una reducción del consumo de oxígeno debido a la descomposición de la materia orgánica. El oxígeno favorece los procesos de descomposición y mineralización de la materia orgánica. La baja concentración de oxígeno disuelto en el humedal puede estar provocada por una alta presencia de materia orgánica, cuya descomposición requiere de este gas, lo cual produce una desoxigenación en el agua. (R, Roldán, & Ramirez, 2010)

El humedal La Conejera es alimentado por la quebrada La Salitrosa la cual presenta alta contaminación por materia orgánica; esta condición se ve reflejada en la baja concentración de porcentaje de saturación de oxígeno en las estaciones E1, E2, E3 y E4, que varía entre 1,0% en E4 y 6,6% en E2, mientras que en las estaciones E5 y E6 varía entre 11,0% para E5 y 40,5% en E6. Para el porcentaje de materia orgánica, el valor mínimo se registra en E5, que corresponde a 1,18%, y el valor máximo en E1, 13,68% correspondiente a una alta concentración de materia orgánica.

En las estaciones en donde se registran altos contenidos de materia orgánica y muy bajos contenidos de oxígeno disuelto, probablemente se generan condiciones para la proliferación de olores ofensivos, proliferación de vectores de enfermedades y que posteriormente se den las condiciones para el desarrollo de bacterias anaeróbicas. Esto podría explicar el olor pútrico en las estaciones E1, E2 y E3.

La baja concentración de oxígeno disuelto también puede estar explicada por la presencia de plantas macrófitas, las cuales obstruyen el ingreso de oxígeno de la atmósfera y a su vez, aportan materia orgánica por sus procesos metabólicos, sumándose como una fuente más de materia orgánica.

El contenido de oxígeno disuelto en el agua, permite conocer de manera aproximada, el grado de contaminación. Cuando el oxígeno está por debajo de 1 mg/L indica muy fuerte contaminación, si el valor se encuentra entre 1 y 9 mg/L indican fuerte contaminación y finalmente si los valores son superiores a 9 mg/L indica débil o nula contaminación.

Por consiguiente se puede deducir que en el humedal La Conejera las estaciones E1, E2, E3 y E4 en la mayoría de los análisis el contenido de oxígeno disuelto estuvo por debajo de 1 mg/L indicando una muy fuerte contaminación. En las estaciones E5 y E6 el oxígeno disuelto estuvo entre 1 y 9 mg/L indicando una fuerte contaminación.

Se ha demostrado la existencia de una estrecha relación entre la distribución de oxígeno y la productividad de materia orgánica, viva o muerta. Por otro lado, la cantidad de OD en un cuerpo de agua está relacionada con su capacidad de autodepuración (Barremechea)

- *Correlación entre oxígeno disuelto – porcentaje de saturación de oxígeno y DQO.* $R = -0.611$. El crecimiento característico de algas y plantas macrófitas en los humedales y la alta concentración de materia orgánica pueden afectar negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua, aumentando la demanda química de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica.

El aumento de la DQO supera la producción de OD, generando un déficit que conduce a la anaerobiosis de los sedimentos, por lo tanto las bajas concentraciones de oxígeno disuelto están condicionadas por la alta demanda química de oxígeno. Cuando la DQO es muy alta, esta demanda puede superar la producción de oxígeno, generando un déficit que conduce a la anaerobiosis de los sedimentos, que posteriormente generarán malos olores. El oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la DQO. Al disminuir el oxígeno, refleja problemas de eutroficación como consecuencia de las altas concentraciones de materia orgánica.

8.4 CONDICIÓN AMBIENTAL

La condición ambiental del humedal La Conejera se puede analizar a partir de dos enfoques: *El enfoque ecológico*, en el que se considera que un ecosistema tiene calidad ambiental cuando muestra una coincidencia plena entre calidad que presenta en el momento del análisis y la calidad que se considera propia de cada ecosistema en términos ecológicos llamados estados de clímax. Derivado de ello, cualquier intervención humana modifica ese equilibrio y no es aceptable. *El enfoque antropológico*, que considera que un ecosistema tiene calidad ambiental cuando satisface las expectativas que genera sobre habitantes y visitantes de ese espacio desde el punto de vista de disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y la presencia o ausencia de agentes nocivos. Por ejemplo, la calidad bacteriológica del agua del mar, la calidad de las playas, la calidad organoléptica del agua potable, etc.

8.4.1 Caracterización por el Índice de Contaminación por Mineralización

A partir de los datos obtenidos de ICOMI (Tabla 32), los datos permiten inferir:

- De acuerdo con el Índice de Conductividad todas las estaciones de muestreo se ubican como aguas contaminadas eutróficas.
- De acuerdo con el Índice de Dureza las estaciones E1, E2, E3, E4, y E6 se consideran de aguas eutróficas, mientras que la estación E5 puede considerarse como de media a alta productividad.
- De acuerdo con el Índice de Alcalinidad todas las estaciones son de mediana productividad.
- El Índice conjugado de Contaminación ICOMI por mineralización muestra que las estaciones E1, E2, E3, E4, y E6 son aguas con alta contaminación por mineralización y la E5 se clasifica de moderada contaminación por mineralización.

8.4.2 Caracterización a través del Análisis Discriminante

Con el análisis discriminante se buscaron las diferencias significativas entre las estaciones respecto a los parámetros fisicoquímicos de agua y a la materia orgánica de sedimento, se desestimó el carbono orgánico al asumirse como un valor resultado de la materia orgánica medida.

Así pues, como resultado del análisis discriminante se encontró que las variables canónicas que definen las funciones canónicas son la transparencia y la profundidad. (Tabla 32 y Figura 10)

- Mostrando claramente que las E1, E2, E4 forman un grupo donde se presenta la menor transparencia y profundidad.
- La Estación 3, E3 forma un grupo se separado levemente del anterior, alejándose en el eje de la profundidad
- La Estación 5, E5 forma un grupo separado de las anteriores estaciones alejándose significativamente en los ejes de las dos funciones principales
- La estación 6, E6, también, en un grupo separado se separa principalmente en el eje de la profundidad.

Así pues, el análisis discriminante muestra una clara tendencia de recuperación del humedal permitiendo aceptar las hipótesis de trabajo planteadas.

8.4.3 Caracterización de Ungemach

Al analizar el contenido de materia orgánica según la clasificación propuesta por Ungemach (Ramírez & Noreña, 2004), se dividen los sedimentos lacustres en dos categorías: sedimentos orgánicos del tipo *gyttja* con porcentaje de materia orgánica mayor del 10%, también llamado sedimento copropélicos, y sedimentos minerales los que presentan porcentajes menores del 10%.

En la figura 11 se representa con la línea roja la división entre los sedimentos orgánicos y los sedimentos minerales. Las estaciones que presentan sedimentos orgánicos son E1, E2 y E3, con los mayores porcentajes en E1, estación característica por represar la mayor cantidad de materia orgánica de diferentes fuentes. Las estaciones E4, E5 y E6 presentan sedimentos minerales.

Las altas concentraciones de DQO a su vez están asociadas al proceso de oxidación de la materia orgánica. La degradación de la materia orgánica en los sedimentos depende de la concentración de oxígeno disuelto evaluado mediante la demanda química de oxígeno.

Según Ramírez & Noreña (2004), el porcentaje de materia orgánica en el agua es 5.07 veces mayor que el del sedimento, relación que es superada en una proporción mucho mayor si se compara con la DQO. El porcentaje de materia orgánica es consistente con las altas concentraciones de DQO y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto observadas en las estaciones.

8.4.4 Caracterización según uso

La presente caracterización se realiza a la luz de los decretos reglamentarios para recursos hídricos:

- Decreto 3930 de 2010. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Según el artículo 9 del Decreto 3930 de 2010, sobre usos del agua, los humedales pueden tener los siguientes usos:

- Preservación de fauna y flora entendiéndose su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.
- Estético entendiéndose el uso para la armonización y embellecimiento del paisaje. (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA , 2010)

El decreto no es más específico al respecto, por lo tanto se puede decir que el humedal La Conejera cumple con los dos usos específicos descritos.

- Decreto 1594 de 1984. Derogado por el artículo 79 del Decreto Nacional 3930 de 2010, salvo los artículos 20 y 21, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Aunque el Decreto 1594 de 1984 fue derogado por el artículo 79 del Decreto 3930 de 2010, a excepción de los artículos 20 y 21, de todas maneras se usa en este trabajo como referente en cuanto a parámetros cuantitativos. En el artículo

31 del Decreto 1594 de 1984 se especifica el uso del agua para preservación de flora y fauna, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 1984)

En el único párrafo del artículo 29 se especifica el uso estético como importante para contribuir a la armonización y embellecimiento del paisaje.

Según el artículo 44 del Decreto 1594 de 1984 se especifica que los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso estético son los siguientes:

- Ausencia de material flotante y de espumas, provenientes de actividad humana.
- Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- Ausencia de sustancias que produzcan olor.

Al analizar la información cualitativa obtenida en la presente investigación, se puede inferir para cada uno de los criterios anteriores lo siguiente:

- En las estaciones analizadas no se observa material flotante a excepción de las plantas macrófitas presentes. No se observan espumas.
- No se observa una película visible de grasas y aceites en las estaciones analizadas.
- Si se presenta olor pútrico en las estaciones E1, E2 y E3 debido a la fuente principal de alimentación del humedal, que es la quebrada La Salitrosa, la cual capta aguas residuales en su mayoría domésticas.

Por lo tanto se concluye que el humedal La Conejera cumple parcialmente con las exigencias de la norma para las estaciones E1, E2 y E3, para las estaciones E4, E5 y E6 se puede concluir que cumplen con los criterios de calidad admisibles para uso estético.

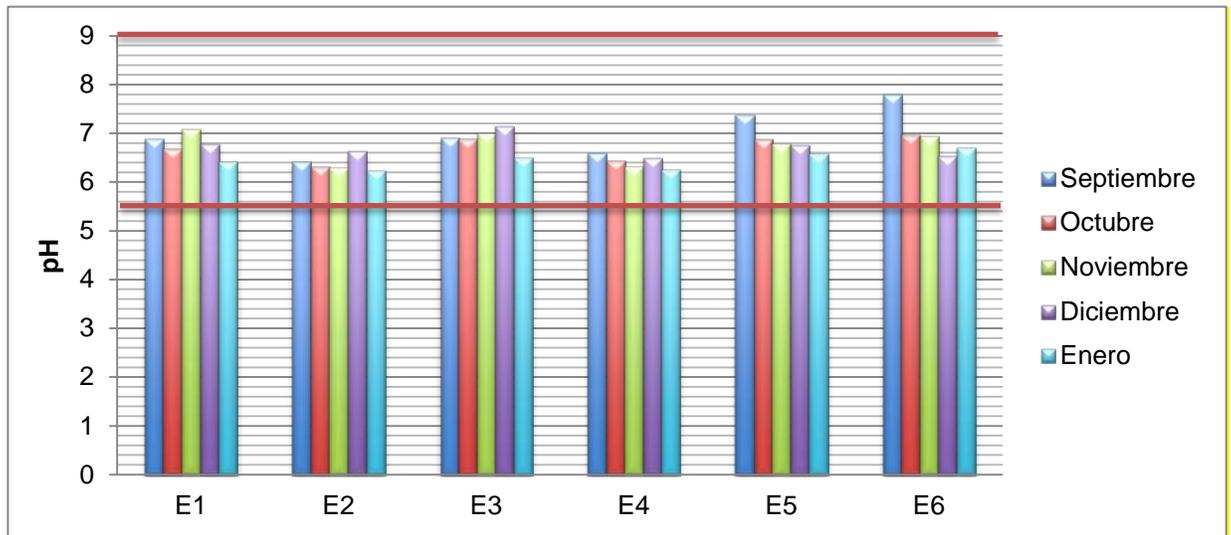
En el artículo 45, también se especifican los criterios admisibles de los humedales para preservación de fauna y flora. Entre ellos, puntualiza parámetros como la presencia clorofenoles, difenil, sulfuro de hidrógeno, amoniac, arsénico, bario, berilio, cadmio, cianuro, zinc, cloro, cobre, cromo hexavalente, fenoles, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, plaguicidas organoclorados y organofosforados, todos estos correspondientes a sustancias de interés sanitario.

También se hace referencia a las sustancias de interés ambiental como oxígeno disuelto, pH, grasas y aceites y tensoactivos. Para estos parámetros en particular, se pueden analizar dentro del presente estudio, los dos primeros parámetros.

Para pH la norma dice que el valor permisible es 5,5 y 9,0. Al analizar el pH de las 6 estaciones muestreadas durante los 5 meses de estudio, se observa que cumple con los valores que se encuentran en el rango requerido.

En la figura 12 se compara temporal y espacialmente el comportamiento del pH; las líneas rojas de la figura indican el intervalo permisible para este parámetro y como se observa, los valores de pH se encuentran en el intervalo exigido, indicando que es apropiado para la preservación de la fauna y la flora del humedal La Conejera.

Figura 12. Comparación espacio temporal del pH con el nivel permisible según el Decreto 1594 de 1984

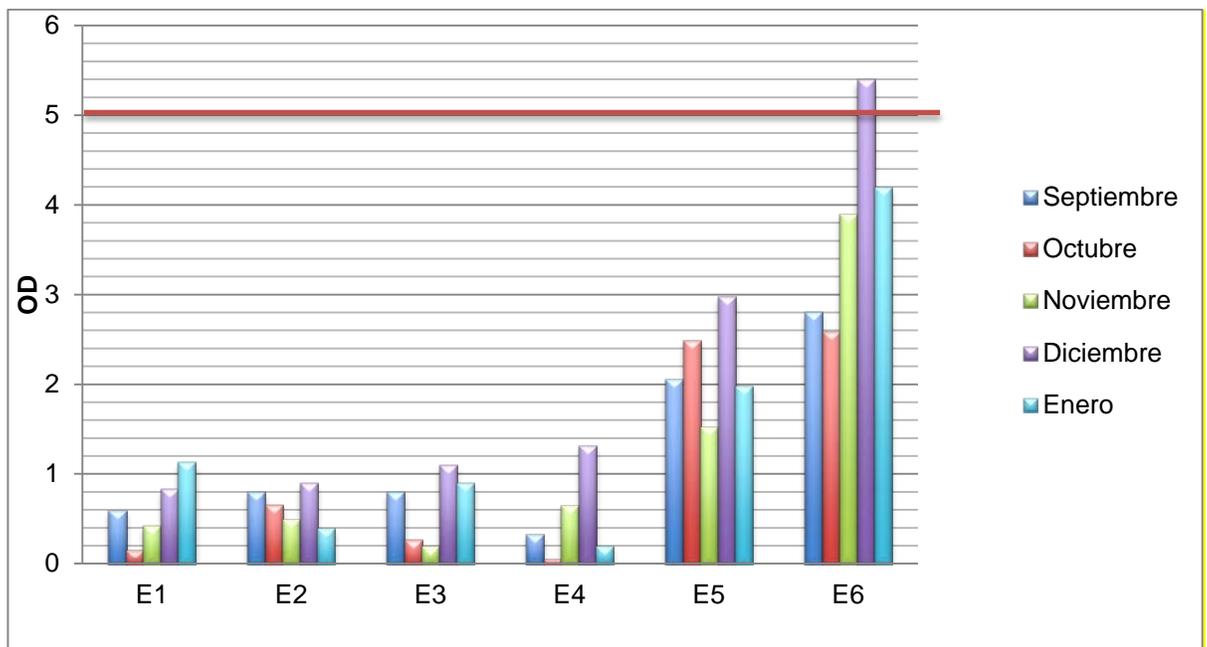


Fuente: Los autores

Otro parámetro de análisis en este artículo es el oxígeno disuelto. Para oxígeno disuelto la norma dice que el valor permisible es 5,0 mg/L. Al analizar el oxígeno disuelto de las 6 estaciones muestreadas durante los 5 meses de estudio, se observa que no cumple con lo requerido.

En la figura 13 se compara temporal y espacialmente el comportamiento del oxígeno disuelto; la línea roja de la figura indica el nivel permisible para este parámetro y como se observa, los valores se encuentran por debajo de lo exigido, indicando que no es apropiado para la preservación de la fauna y la flora del humedal La Conejera.

Figura 13. Comparación espacio temporal del oxígeno disuelto con el nivel permisible según el Decreto 1594 de 1984



Fuente: Los autores

En el único párrafo del artículo 45 del Decreto 1594 de 1984, se especifica que no se deben presentar sustancias que produzcan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética. Según lo observado durante los meses de muestreo, en las estaciones E1, E2 y E3, durante los 5 meses de muestreo, presentaban olor pítrico, correspondiente a la presencia de materia orgánica en descomposición. Se puede concluir que para estas estaciones no se cumple con la norma para la presencia de olor.

- Resolución 5731 de 2000. Por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital.

En la Resolución 5731 de 2008 se adoptan nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital. Sin embargo

en los “considerando” especifica que no se pueden establecer los criterios de calidad de los humedales de Bogotá para la preservación de fauna y flora.

También dice que no se tiene un modelo de calidad para los humedales que permita predecir cómo una mejora en la calidad del agua afecta los ecosistemas en los humedales. Así es que en esta resolución no se establecen los objetivos de calidad para los humedales de Bogotá y en este se propone aplicar los parámetros asociados al uso estético dispuestos en el artículo 44 del Decreto 1594 de 1984. (SECRETARIA DISTRITAL DE MEDIO AMBIENTE, 2008)

Sin embargo, teniendo en cuenta que no se tienen especificaciones sobre criterios de calidad de las aguas de los humedales, se toma como referente lo existente en materia legal y por ello se compara con los valores establecidos en el Decreto 1594 de 1984.

9. CONCLUSIONES

Se corrobora de hipótesis sobre la relación directa entre la materia orgánica y el carbono orgánico del sedimento con relación a la DQO del agua ya que se determina:

- Recuperación E5-E6 con espejo de agua despejado, sin cobertura ribereña y sin descargas de aguas servidas; con diferencias sigficativas entre E5 y E6
- Alta intervención en espejo de agua cubierto por macrófitas flotantes y enraizadas, escasa cobertura ribereña y aporte de aguas servidas en E1, E2 y E4.
- Escombros con abundante cobertura ribereña y pastos, y con espejo de agua libre de macrófitas en E3.

Se demostró la existencia de heterogeneidad espacial en cuanto a las concentraciones de OD, DQO, dureza total, conductividad eléctrica en el agua, y materia orgánica y carbono orgánico en los sedimentos, lo que implica que las acciones de manejo del humedal muestran un inicio de proceso de recuperación.

Las mayores concentraciones de materia orgánica y carbono orgánico, determinadas para las E1, E2, E3 y E4 están directamente relacionadas con los vertimientos de la quebrada La Salitrosa, la presencia de macrófitas enraizadas y flotantes, la activa descomposición anaerobia de materia orgánica, siendo estaciones de alta conductividad, anoxia y nula productividad primaria en la columna de agua.

Los parámetros fisicoquímicos, medidos en la columna de agua y los sedimentos, para las seis estaciones y durante los 5 meses de muestreo evidencian la existencia de una clara heterogeneidad espacial probada a partir de las diferencias estadísticas significativas de las concentraciones de oxígeno

disuelto, DQO, la dureza total, la conductividad eléctrica y la materia orgánica y carbono orgánico en los sedimentos del humedal.

Las E5 y E6 muestran el positivo efecto de los procesos de recuperación del humedal presentando parámetros fisicoquímicos más acordes con los esperados para este tipo de ecosistemas, donde se establece una penetración efectiva de la luz que permite una zona fótica que favorece la productividad primaria en el ecosistema, disminución significativa de conductividad y dureza y progreso a la mesotrofia en la E6.

La variabilidad espacial de la DQO del agua del humedal genera diferencias significativas en el porcentaje de materia orgánica del sedimento. Los resultados muestran que los factores más importantes que afectan los procesos de degradación de la materia orgánica son la transparencia, la profundidad, el oxígeno disuelto.

A pesar de efectos positivos de los procesos de recuperación en el Humedal La Conejera, demostrables a partir de los resultados obtenidos, la elevada tasa de acumulación de materia orgánica genera un proceso de eutroficación que supera al natural esperado para este tipo de ecosistemas y el manejo solo contribuye a disminuir la velocidad con la que el humedal continua en el proceso de deterioro ambiental.

10. RECOMENDACIONES

- Formular un modelo de calidad para los humedales que permita predecir cómo mejorar la calidad de estos ecosistemas tan sensibles.
- Evaluar otros parámetros de calidad de aguas que permitan aplicar y comparar diversos índices de calidad.
- Tomar como referente este documento para la toma de decisiones con respecto a las actividades antrópicas que pueden causar impactos negativos en el Humedal La Conejera.
- Realizar nuevos monitoreos que permitan evaluar los cambios que ha sufrido este humedal en los últimos años.
- Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos en esta investigación indican que la estación Afidro es la que ha logrado una mejor recuperación de su estado ecológico, es necesario analizar los impactos negativos que se pueden producir por el proceso de urbanización y a partir de ello, posteriormente tomar medidas que prevengan el deterioro de esta zona.

BIBLIOGRAFÍA

Abarca, F. (2007). *Técnicas para Evaluación y Monitoreo del Estado de los Humedales y Otros Ecosistemas Acuáticos*. (I. N. MEXICO, Ed.) México DF, México.

Aguillar Ibarra, A. (2005). *Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua* (Vol. 6). México, México: Revista Digital Universitaria.

Alcaldía Mayor de Bogotá EEAB SDA. (2010). *IX Fase del Programa de Seguimiento y Monitoreo de Efluentes Industriales y Afluentes del Recurso Hídrico de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Alcaldía Mayor de Bogotá. *Análisis de la Determinación Social de las Relaciones Territorio - Población - Ambiente*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá - Hospital de Suba.

Astorga, M., & Silva, N. (2002). Textura, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total, en sedimentos marinos superficiales de la X región. *Ciencias y Tecnología del Mar*, 25, 89-108.

Barremechea, M. (s.f.). *Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua*. Obtenido de <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/2/CDAM0000012-2.pdf>

Berlanga Robles, C., & Ruiz Luna, A. (2004). *Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de Humedales*. Instituto Nacional de Ecología Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental. Sinaloa, México.

CAR. (2011). *Humedales del Territorio CAR: Consolidación del Sistema de Humedales del Territorio CAR*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

Cifuentes, J. L., Torres, P., & Frias, M. (1997). El cuadro ambiental del fitoplancton. México: Fondo de Cultura Económica.

CONSORCIO G. X. SAMPER ARQUITECTOS. (1999). *Memorias de Diseño. Diseño Paisajístico para la Rehabilitación de Zonas de Ronda y Zonas de Manejo y Preservación Ambiental del Sistema Córdoba, Juan Amarillo y*

Jaboque, Canales Córdoba y Molinos. Humedal Córdoba. (Vol. EAAB). Bogotá, Colombia.

Departamento Técnico Administrativo del Medio . (2003). *Ecosistemas Estratégicos.* Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA. (2006). *Política de Humedales del Distrito Capital.* Bogotá, Colombia: Giro Editores.

Diaz Espinoza, A., Diaz Triana, J., & Vargas Ríos, O. (2012). *Catálogo de Plantas Invasoras de los Humedales de Bogotá.* (U. N.-S. Bogotá, Ed.) Bogotá.

EAAB FHLC. (2005). *Plan de Manejo Ambiental del Humedal La Conejera.* Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá.

EEAB - Fundación Humedal La Conejera. *Informe de Gestión 4 Convenio de Administración 9-07-24100-062-2006.* Bogotá, Colombia.

EI/HIDROMECÁNICAS LTDA. (1997). *Estado de los Humedales de Bogotá.* Bogotá, Colombia.

Gómez Baggethun , E. (2013). *La función de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los espacios urbanos.* Bogota, Colombia: Instituto de Ciencia I Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona.

Guiñez, M., Valdes, J., & Sifeddine, A. (2010). VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTARIA, ASOCIADA A LA ZONA DE MÍNIMO OXÍGENO (ZMO), EN UN AMBIENTE COSTERO DEL NORTE DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT, BAHÍA DE MEJILLONES,. *Latin American Journal of Aquatic Research* , 38 (2), 242-.

Henao, U. (1987). El Disco de Shechi y el Estado Trófico. *Ainsa* (12), 67-113.

IDEAM - MAVDT. (2000). *Demanda Química de Oxígeno. Método de Reflujo Abierto.* Bogotá, Colombia: IDEAM.

Instituto Humbolt. (2013). *Declaración Comunitaria Humedales para la Vida.* Villa de Leyva, Colombia.

Kolthoff, L., & Sandell, E. (1965). *Tratado de Química Analítica Cuantitativa.*

Buenos Aires, Argentina: Nigar S. R. L.

Ministerio de Medio Ambiente. (2002). *Política Nacional para Humedales interiores de Colombia. Estrategias para su Conservación y Uso Sostenible*. Bogotá, Colombia: Panamericana Formas e Impresos.

Ministerio de Agricultura. (2006). *Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales*. (S. A.-C. Aplicada, Ed.) Chile.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2002). *Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia: Estrategias para su Conservación y Uso Sostenible*. Bogotá, Colombia: MAVDT.

Mohammad H. Badii Zabeh, R. G. (2005). *Los Indicadores Biológicos en la Evaluación de la Contaminación por Agroquímicos en Ecosistemas Acuáticos y Asociados* (Vol. 2). Monterrey, México: CULCyT.

Montoya Villarreal, S. (2011). Instrumentos de Política para la Conservación de Ecosistemas: Caso Protocolo Distrital de Recuperación y Rehabilitación de Humedales en Centros Urbanos - Bogotá Colombia. En O. Vargas Ríos, *Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica en la Práctica*. Bogotá: Universidad Nacional.

Naciones Unidas ONU. (2012). El Futuro que queremos... Documento final de la Conferencia Río +20.

Navas, G., Zea, S., & Campos, N. (2003). Flujo de Nitrógeno y Fósforo en la Interfase Agua - Sedimento, en una Laguna Cosera Tropical (Ciénaga Grande de Santa Martha, Caribe Colombiano). *CICIMAR Ocamides*, 18 (2), 45-65.

Ortiz, J. (1999). *Análisis de Agua para Consumo Humano*. (L. R. Ambiental, Ed.) Bogotá, Colombia: Ministerio de Salud .

Paez Osuna, F. (1983). *Comparación de tres Técnicas para Analizar Materia Orgánica en Sedimentos*. México DF, México: UNAM Instituto de Ciencias del Mar y Limnología .

Perez, I. E., Arencibia, G., Capetillo, N., & Isla, M. (2003). INFLUENCIA DEL CULTIVO DEL CAMARÓN BLANCO (LITOPENAEUS SCHMITTI) SOBRE LOS ECOSISTEMAS COSTEROSINFLUENCIA DEL CULTIVO DEL CAMARÓN BLANCO (LITOPENAEUS SCHMITTI) SOBRE LOS ECOSISTEMAS

COSTEROS. *Centro Investigaciones Pesqueras* , 12.

Pinilla, G., Duarte Coy, J., & Vega Mora, L. (2010). Índice de Estado Limnológico para Evaluar las Condiciones Ecológicas de las Ciénagas del Canal de Dique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* , 15 (2), 169-188.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA . (2010). *Decreto 3930 de 2010*. Colombia.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. (1984). *Decreto 1594*. Colombia.

R, Roldán, G., & Ramirez, J. (2010). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

Ramírez González, A., & Viña Vizcaíno, G. (1998). *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadística de análisis*. Bogotá, Colombia: BP Exploration Company.

Ramírez, A., Restrepo , R., & Viña, G. (1997). Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales . *Ciencia Tecnología y Futuro* , 1 (3), 135-150.

Ramírez, J. J., & Noreña, J. F. (2004). Caracterización del sedimento de una Laguna Tropical Rasa. *Caldasía* , 1 (26), 173-184.

Reche, I. (2003). Sensibilidad de los Ecosistemas Acuáticos a la Radiación Ultra Violeta: el papel de la materia orgánica disuelta. (A. E. Terrestre, Ed.) *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente* , 12 (1), 1-11.

Rodriguez M, J. (1999). *Fisicoquímica de Aguas*. Madrid, España: Diaz Santos S.A.

Romero, J. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero, J. A. (2005). *Calidad de Agua*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.

Rueda Delgado, G. (2002). *Métodos para el Estudio de Comunidades Bénticas Fluviales. Manual de Métodos de Limnología*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Limnología.

Rueda Delgado, G., Sanabria , G., & Calvo , A. J. (2002). *Protocolo para la Ejecución de Estudios de Comunidades Bénticas*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Limnología.

Ruiz, J. (2002). *Métodos para el Estudio de las Caracterísitcas Físicoquímicas del Agua. Manual de Métodos de Limnología*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Limnología ACL limnos.

Ruiz, J. E. (2002). *Métodos para el Estudio de las Características Físicoquímicas del Agua. Manual de Métodos de Limnología* . Bogotá, Colombia: ACL limnos Asociación Colombiana de Limnología.

Sawyer, C., McCarter, P., & Parkin, G. (2001). *Química para Ingeniería Ambiental*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

Secretaría de la Convención Ramsar. (2010). *Políticas Nacionales de Humedales. Elaboración y aplicación de Políticas Nacionales de Humedales. Manuales Ramsar para el Uso Racional de los Humedales* (4 ed., Vol. 2). Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.

SECRETARIA DISTRITAL DE MEDIO AMBIENTE. (2008). *Resolución 5731*. Bogotá, Colombia.

SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO. (2006). *Conceptos y Criterios paa la Evaluación Ambiental de Humedales*. Chile: Centro de Ecología Aplicada .

Suarez, A. J. (1998). *Calidad del Agua*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

UNAL - CORMAGDALENA. (2007). *Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegacion del Canal del Dique*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

UNAL, C. . (2007). *Estudios e investigaciones de las obras de restauración ambiental y de navegacion del Canal del Dique* . Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Van Der Hammen, T. (2003). *Los Humedales de la Sabana: Origen, Evolución, Degradación y Restauración*. Bogotá, Colombia: EAAB.

Vargas, O. (2006). *En busca del bosque perdido. Una experiencia de Restauración Ecológica en predios del Embalse de Chisacá, Localidad de Usme, Bogotá, D.C.* . Bogotá, Colombia: UNAL DAMA.

Vasquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (s.f.). *Descripción del Estado Trófico de Diez Humedales del Altiplano Cundiboyacense.*

Wetzel, R. (1981). *Limnología.* Barcelona, España: Omega S.A.

Zarza, A. M. (2010). Petrología Sedimentaria. *Petrología Sedimentaria* , 2, 125-134.

ANEXOS