

**EFFECTO DE LA RESTAURACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, LOS MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS Y LA RIQUEZA Y ABUNDANCIA DE LA AVIFAUNA EN TRES SECTORES DEL HUMEDAL LA CONEJERA, BOGOTÁ**

**Laura Nataly Galindo Niño**

Trabajo de grado realizado como requisito parcial para optar al título de Bióloga

Director

Efraín Ruíz Sepúlveda, MSc

Codirector

Carlos Daniel Cadena, PhD

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BOGOTÁ D. C., COLOMBIA  
2008**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
Área de estudio	
Composición fisicoquímica del agua.....	11
Estimación cualitativa de macroinvertebrados acuáticos superficiales.....	14
Composición y estructura de la avifauna.....	14
Línea base.....	15
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
Composición fisicoquímica del agua.....	20
Línea base de la composición fisicoquímica del agua.....	24
Estimación cualitativa de macroinvertebrados acuáticos superficiales.....	25
Línea base de los macroinvertebrados acuáticos superficiales.....	26
Composición y estructura de la avifauna.....	26
Línea base de la composición y estructura de la avifauna.....	30
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>REFERENCIAS</b>	

## RESUMEN

La restauración hidrogeomorfológica en ecosistemas de humedal comprende la rehabilitación batimétrica y el restablecimiento de hábitats acuáticos para la conservación de la avifauna, por medio de la extracción de lodos no consolidados, contribuyendo a mejorar la calidad del agua y a incrementar la capacidad de embalsamiento de las áreas intervenidas. En este estudio se evaluó el efecto de la restauración hidrogeomorfológica sobre la calidad del agua, los macroinvertebrados acuáticos y la riqueza y abundancia de la avifauna en tres sectores del Humedal La Conejera, los cuales fueron restaurados en 2004, 2005 y 2007 respectivamente. Se encontró que la calidad del agua de los sectores estudiados mejora luego de los procesos de restauración, en los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fosfatos, nitratos y demanda química de oxígeno). Se encontró que los procesos de restauración favorecen a mediano plazo, el incremento de la diversidad de familias de macroinvertebrados acuáticos como resultado del mejoramiento de la calidad y de las condiciones del cuerpo de agua. Así mismo, se encontró que la riqueza y la abundancia de la avifauna se ve favorecida gradualmente por la restauración hidrogeomorfológica, en la medida que se incrementa la diversidad de hábitats y la oferta alimenticia representada en el incremento de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Se encontró que los procesos de restauración hidrogeomorfológica favorecen el repoblamiento de las poblaciones de especies de aves endémicas que se encuentran en peligro como *Oxyura jamaicensis*, *Gallinula melanops* y *Rallus semiplumbeus*, mostrando que los procesos de restauración en el caso del Humedal La Conejera, es fundamental para su conservación y la preservación de su biodiversidad asociada.

## INTRODUCCIÓN

Según la Convención de Ramsar, los humedales se definen como "cualquier extensión de marisma, pantano o turberas, o superficie cubierta de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" (Ramsar, 2007).

Estos ecosistemas cumplen un sinnúmero de funciones, entre las cuales se destacan: (i) regulación de los flujos hídricos durante épocas de inundaciones y sequías, (ii) recarga y descarga de los acuíferos subterráneos, (iii) estabilización microclimática, dependiendo de los regímenes climáticos regionales y locales (Naranjo et al., 1999), (iv) retención de sedimentos y control de las erosiones (v) sumideros de carbono atmosférico (Canevari et al., 2001; Houlahan et al., 2006).

Los humedales presentan un marcado endemismo con relación a determinados elementos de la biota, convirtiéndolos en escenarios irremplazables en cuanto a atributos biológicos se refiere. Así mismo, estos ecosistemas presentan una biodiversidad especial en cuanto a especies "indicadoras" del estado y calidad del ecosistema (Naranjo et al., 1999). Su alta diversidad biológica está relacionada con su variabilidad en factores ambientales como el nivel del agua, fluctuaciones que permiten albergar una mayor diversidad, incluyendo especies raras o inusuales (Keddy & Fraser, 2000). Así mismo, grandes poblaciones de especies amenazadas confieren a estos ecosistemas un gran valor para la protección de la biodiversidad (Junk et al., 2006; Trepel, 2007).

Atributos como las condiciones topográficas, edáficas e hidrológicas son continuamente moldeados por procesos como la desecación y la sedimentación en los humedales. En estos sistemas las condiciones químicas y biológicas varían de manera gradual, bien sea como producto de la evolución biocenótica o como consecuencia de procesos de eutroficación, acumulación de materia orgánica en

la zona de captación, las cuales modifican la dinámica ecológica del ecosistema, determinando los valores y servicios ambientales del mismo (Naranjo et al., 1999).

Los humedales de la Sabana de Bogotá son ecosistemas de gran importancia, debido a su posición geográfica estratégica, que les permite actuar como paradero para diferentes especies de aves migratorias, tanto del sur como del norte del continente, ya que proveen recursos y una diversidad de hábitats específicos para éstas. A su vez, estos ecosistemas de la altiplanicie tropical andina, han sido considerados como el área más importante de diversificación de especies de aves acuáticas del norte de los Andes (Andrade, 1998). El Humedal La Conejera, ubicado en la localidad de Suba, al noroccidente de Bogotá, es uno de los pocos humedales que ha sobrevivido a la destrucción masiva de este tipo de ecosistemas que ha tenido lugar, como resultado del aumento demográfico y de la intensificación de actividades económicas en esta región (DAMA, 2000). Esta destrucción, trajo consigo la disminución de las poblaciones de especies de aves como *Gallinula melanops*, *Rallus semiplumbeus*, *Oxyura jamaicensis*, *Cistothorus apolinari* (Renjifo et al., 2002) y *Chrysomus icterocephalus bogotensis*, entre otras.

Durante las últimas décadas el Humedal La Conejera recibió aguas residuales, que presentaban altos niveles de sedimentos y materia orgánica, las cuales colmataron y homogenizaron buena parte del cauce del humedal, principalmente en sectores que presentaban aguas abiertas con columna de agua de uno hasta dos metros de profundidad (Fundación Humedal La Conejera [FHLC], 2005b). La disminución de la capacidad de embalsamiento y de espejos de agua trajo consigo la pérdida de biodiversidad, así como la alteración de los atributos funcionales y estructurales (Vargas, 2006). Por tanto, fue necesario realizar una adecuación hidrogeomorfológica orientada a la rehabilitación batimétrica y al restablecimiento de hábitats acuáticos para la conservación de la avifauna endémica y migratoria del humedal. Esta adecuación consistió en la extracción de lodos no consolidados y semiconsolidados, contribuyendo a mejorar la calidad del agua y a incrementar la capacidad de embalsamiento en 53.600 m<sup>3</sup>, con una profundidad que oscila

entre los 0.8 y 2.0 metros, en estos sectores del cauce del humedal, lo cual se evidencia en el tiempo de circulación y en la permanencia del flujo hídrico en el área intervenida antes de continuar su curso hacia otros sectores del Humedal (FHLC et al., 2006).

La rehabilitación de hábitats acuáticos ha contemplado la reconfiguración de islas, con especies vegetales como *Alnus acuminata*, *Myrcianthes leucoxylla*, *Hypericum humboldtianum*, *Scutellaria racemosa* y *Schoenoplectus californicus*, entre otras, favoreciendo el restablecimiento de los diferentes usos de hábitat como percha, forrajeo y nidación para la avifauna. Este proceso ha sido realizado de manera gradual y puntual desde 1999 hasta 2007. Si bien antes de la intervención en cada uno de los sectores se estableció una línea base con la información sobre la calidad fisicoquímica del agua, los macroinvertebrados acuáticos, la avifauna y la vegetación, aún no se cuenta con la información producto del posterior seguimiento y monitoreo riguroso que permita evaluar los efectos en el corto y mediano plazo sobre éstas variables como consecuencia de la restauración hidrogeomorfológica. A pesar del alto grado de deterioro al que han sido sometidos los ecosistemas de humedal, el tema de la restauración ecológica es reciente y sus aplicaciones aún escasas y poco documentado (principalmente en el caso de los humedales de Colombia), lo cual hace necesario evaluar el efecto de este tipo de intervenciones con el fin de contribuir a la definición de parámetros que permitan orientar, evaluar y ajustar futuras intervenciones de este tipo.

Los procesos de restauración hidrogeomorfológica modifican los aspectos hidrológicos y geomorfológicos de las áreas intervenidas, que a su vez determinan el potencial biológico en términos de comunidades de organismos, como resultado de la modificación de las condiciones de hábitat (Cuhaciyán, 2008). Este tipo de intervenciones contribuyen a mejorar la calidad fisicoquímica del agua (Brinson, 1993; Tong, 2007), produciendo cambios en las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades acuáticas (Wetzel, 1983), así como en la estabilidad del ecosistema (Roldán, 1992).

Los macroinvertebrados acuáticos actúan como indicadores del estado ecológico de los ecosistemas de agua dulce ya que muchos de éstos no se encuentran en hábitats degradados (Dodds, 2002). Las variables fisicoquímicas como salinidad y acidez afectan la distribución y riqueza de los macroinvertebrados acuáticos que a su vez son la base de la alimentación de las aves acuáticas, por tanto influyen en la distribución (Liang et al., 2002) y en los hábitos alimenticios de éstas.

Aunque es poco lo que se conoce sobre las cadenas tróficas en humedales (Dodds, 2002), las variables fisicoquímicas del agua que influyen las comunidades de macroinvertebrados y las aves acuáticas se pueden considerar como elementos determinantes en la estructuración de éstas cadenas en los humedales, puesto que conforman unidades funcionales con interdependencia nutricional (Cole, 1988).

Las aves también han sido aprovechadas como bioindicadores del estado de un ecosistema ya que responden a cambios ambientales en la vegetación, profundidad, calidad de agua, duración y frecuencia estacional (Mistry et al., 2008). Algunas especies pueden ser indicadoras de un componente restringido de la comunidad como lo es la abundancia de otros individuos del mismo gremio (Canterbury et al., 2000).

La restauración hidrogeomorfológica incluye una restauración ecológica, buscando llevar un ecosistema degradado o alterado a su condición inicial o a un estado cercano al original (Vargas, 2006; Simmons et al., 2007). Esta restauración pretende mantener la integridad de los ecosistemas protegiendo y recuperando la composición y estructura de la biodiversidad nativa y los procesos ecológicos y evolutivos que crean y mantienen la diversidad. La restauración hidrogeomorfológica y ecológica tienen en cuenta la estructura incluyendo: condiciones abióticas (suelo, clima, hidrología) y elementos bióticos (fauna y flora), la función de los procesos ecológicos y la variabilidad del ecosistema, permitiendo caracterizar las diferencias entre el estado actual y las condiciones deseadas, así

como la definición de indicadores con significado ecológico (Keddy et al., 1993; Simmons et al., 2007). Gawlik (2006) plantea que los procesos de restauración en humedales están orientados a: (i) mejorar la calidad del agua o las propiedades hidrológicas (ii) restaurar los procesos ecosistémicos fundamentales y los regímenes de disturbio como el ciclo de nutrientes, los procesos de sedimentación y las fluctuaciones hidrológicas.

El efecto cascada en la restauración de un ecosistema es precursor del restablecimiento de las funciones naturales como el control de las poblaciones, el flujo de energía a través de las cadenas tróficas, los cuales son esenciales para la sostenibilidad al largo plazo del ecosistema (Gawlik, 2006).

El reducir los efectos negativos de la degradación de los humedales sobre la diversidad de especies y el funcionamiento del ecosistema es el principal objetivo de la restauración y la rehabilitación (Trepel, 2007), debido a la pérdida acelerada de estos sistemas naturales a nivel mundial.

Con base en lo anterior, este trabajo pretende evaluar el efecto de la restauración hidrogeomorfológica sobre la calidad del agua, los macroinvertebrados acuáticos y la riqueza y abundancia de la avifauna en tres sectores del Humedal La Conejera restaurados en diferentes años, permitiendo a su vez, establecer parámetros que aporten al conocimiento aplicado a la restauración, conservación y manejo sostenible de los ecosistemas de humedal de la sabana de Bogotá.

## METODOLOGIA

### Área de Estudio

El Humedal La Conejera se encuentra entre los 4° 45' latitud norte y 74° 6' longitud oeste en la Sabana de Bogotá, a una altura promedio de 2542 msnm. Presenta una extensión aproximada de 65 ha, de las cuales 30 ha corresponden al Área Forestal Protectora y 35 ha al cauce (FHLC & EAAB, 2005b).

La biozona 4 del Humedal La Conejera, corresponde a uno de los sectores del cauce más anchos y es un sector estratégico para la reproducción de aves acuáticas (FHLC & EAAB, 2005b). Este sector se colmató como consecuencia de la acumulación de lodos y del vertimiento de aguas residuales, conllevando a la desaparición de la columna de agua y de la cobertura vegetal nativa (principalmente *Schoenoplectus californicus*), la cual fue reemplazada por *Rumex crispus* como vegetación invasora predominante.

Esta biozona fue sometida a procesos de adecuación hidrogeomorfológica durante los años 2004, 2005 y 2007, extrayendo los lodos no consolidados y semiconsolidados, restableciendo áreas de embalsamiento, praderas de *Schoenoplectus californicus* y jarillones e islotes con vegetación de matorral en las que predominan *A. acuminata*, *M. leucoxylla*, *H. humboldtianum* y *S. racemosa*.

Se escogieron tres transectos en sectores del cauce del humedal (Fig. 1): **Sector 1** que corresponde a la Unidad 4.1a sector 1 (Fig. 1a); **Sector 2** que corresponde a la Unidad 4.1a sector 2 (Fig. 1b) y el **Sector 3** que comprende las Unidades 4.2c, 4.3, 4.5 y 4.6 (Fig. 1c). Estos sectores fueron restaurados hidrogeomorfológicamente en 2004, 2005 y 2007, respectivamente. Los transectos se establecieron bajo el criterio de tener una composición florística similar antes de haber sido restaurados en los respectivos años.

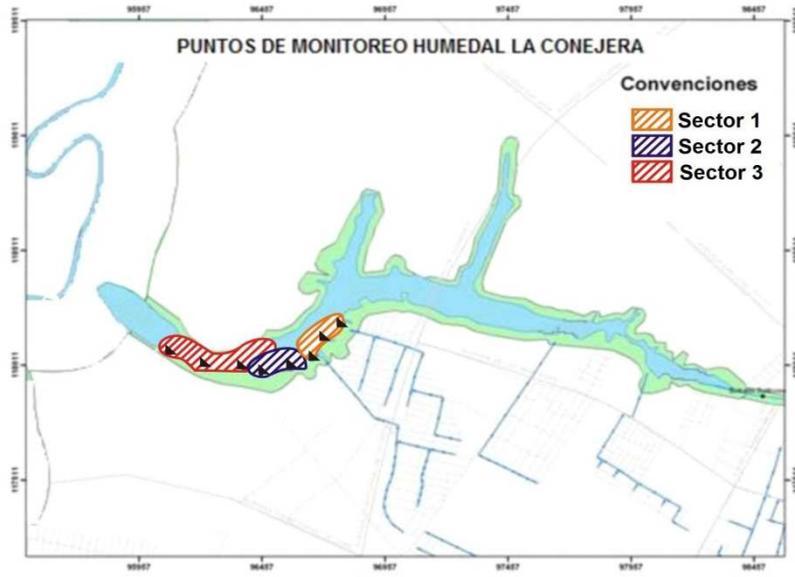


Fig. 1. Mapa del Humedal La Conejera mostrando la ubicación de los tres sectores de muestreo.



a



b



c

Fig. 2. Sectores estudiados, Humedal La Conejera (a) Sector 1 (b) Sector 2 (c) Sector 3.

## **Métodos de campo**

El trabajo de campo se desarrolló en un período de cuatro meses (agosto – noviembre de 2008).

### **Composición fisicoquímica del agua**

Para la determinación de las variables fisicoquímicas del agua se hizo un muestreo una vez al mes durante cuatro meses en cada uno de los tres transectos. Algunas pruebas fueron realizadas directamente en el campo mientras que otras se realizaron en el laboratorio.

#### *Oxígeno disuelto (OD)*

La determinación de este parámetro se realizó directamente en campo por medio de un oxímetro (handylab Ox 12/SET SCHOOTT), cuyo electrodo se sumergía en el agua, indicando la concentración (mg/L) de oxígeno.

#### *Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*

Este indicador se determinó por el método de la fenolftaleína, que consiste en tomar una determinada cantidad de agua (50 ml), a la cual se le agregan tres o cuatro gotas de fenolftaleína. Si la muestra se torna rosada, esto indica que no hay CO<sub>2</sub> libre, pero si la muestra permanece incolora, se procede a titular con hidróxido de sodio (NaOH, 0.025 N), hasta obtener una coloración rosada (Roldán, 1992).

#### *Dureza*

Este indicador se determinó por medio de una titulación con EDTA (ácido etilendiaminotetracético), que consiste en tomar una determinada muestra de agua (50 ml) a la cual se le adiciona 1 o 2 ml de NH<sub>4</sub>OH al 25% y un indicador de pH. Posteriormente esta muestra se titula con EDTA (Roldán, 1992).

### *Temperatura*

Este parámetro se midió por medio de un pHchímetro digital (WTW pH 320), cuyo electrodo era sumergido en el cuerpo de agua, arrojando los valores correspondientes a la temperatura del agua.

### *Conductividad Eléctrica (CE)*

La determinación de este parámetro se realizó directamente en campo por medio de un conductímetro (LF513T SCHOOTT), cuyo electrodo se sumergía en el agua, indicando la conductividad ( $\text{us cm}^{-1}$ ) del agua.

### *pH*

Este indicador se determinó utilizando un pHchímetro digital (WTW pH 320), cuyo electrodo era sumergido en el agua, arrojando el valor correspondiente al pH del cuerpo de agua.

### *Transparencia de Secchi*

Este indicador se determinó utilizando el disco Secchi, que consta de un plato metálico de 20 a 25 cm de diámetro, de color blanco, el cual estaba sujetado al centro por una cuerda graduada en metros (Roldán, 1992). Inicialmente se introduce el disco en el agua, dejándolo caer al fondo, hasta el punto en el que el observador lo pierda de vista. Posteriormente, el disco se sube hasta el punto en el que se visualiza nuevamente, sin sacarlo del agua. Se determinó la distancia a la cual el observador vé de nuevo el disco y este valor se multiplicó por la constante de Pool & Atkins (2.7), obteniéndose la profundidad de la zona fótica (Roldán, 1992).

### *DQO (Demanda Química de oxígeno)*

La determinación de este parámetro se realizó en el laboratorio por el método colorimétrico – Reflujo Cerrado (SM 5220 d Modificado), que consiste en tomar cuatro tubos de DQO de 16 \* 100 ml, a los cuales se les agrega 5.0 ml de reactivo de digestión y 2.5 ml de muestra. Los tubos se tapan, se agitan y se colocan en el

reactor por 2 horas a 150°C. Este reactor debe tener un calentamiento previo de 15 minutos. Al finalizar las dos horas, se dejan enfriar los tubos y posteriormente se leen las absorbancias de las muestras de agua en el espectrofotómetro (Thermo Electron Corporation Genesys 10V) con una longitud de onda de 420 nm (para la curva de concentraciones menores a 90 mg/L). De manera alterna se realiza el blanco de reactivos (Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 2005).

### *Nitratos*

La determinación de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) se realizó en el laboratorio por medio del método colorimétrico de reducción de Cadmio - (Standard Methods: 4500 -  $\text{NO}_3^-$ -E), que consiste en tomar 100 ml de muestra, los cuales son filtrados a través de filtros de membrana con poros de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro, para remover los sólidos suspendidos. Posteriormente se toman 50 mL de la muestra filtrada a los cuales se les agrega 1 mL de HCl (1N). Finalmente se determina la absorbancia de la muestra de agua a 220 y a 275 nm con un espectrofotómetro (Thermo Scientific Aquamate V7.09). De manera alterna se realiza el blanco de reactivos (Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 2005).

### *Fosfatos*

Este parámetro se determinó en el laboratorio por el método colorimétrico (SM 4500 -P-C) en el cual una muestra de 100 mL es filtrada por una membrana de 0.45 micras de poro. Posteriormente se toman 35 mL de muestra filtrada y se le adicionan 5 ml de agua destilada y 10 ml de reactivo vanadio – molibdato. Se dejan pasar 20 minutos y se procede a leer la absorbancia a 400 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Aquamate V7.09). De manera alterna se realiza el blanco de reactivos (Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 2005).

## **Estimación cualitativa de macroinvertebrados acuáticos superficiales**

Para hacer la estimación cualitativa de macroinvertebrados acuáticos se siguió la metodología propuesta por Rueda et al. (2002), que consiste en la recolección de individuos en la zona litoral y en la parte limnética, para lo cual se utiliza como herramienta de muestreo una red cuadrangular de 20 cm de lado, con una malla de 250  $\mu$ m, la cual está unida a un mango rígido de aproximadamente un metro de largo. Esta red se sumerge y desplaza lentamente un metro desde afuera hacia adentro del punto donde se obtiene la muestra. Una vez allí, la red se sube cuidadosamente de manera que los organismos no se escapen. Los individuos recolectados en campo se guardan en bolsas con alcohol al 76% y posteriormente son llevados al laboratorio, en donde las muestras son lavadas e introducidas en frascos de vidrio, con alcohol al 76 %. Finalmente se hace la identificación hasta el mínimo nivel taxonómico posible usando claves taxonómicas.

Se hizo un muestreo en los meses de agosto y noviembre en cada uno de los tres transectos en estudio.

## **Composición y estructura de la avifauna**

Para determinar la riqueza y abundancia de la avifauna se siguió la metodología sugerida por Bibby et al. (1992), la cual consiste en un conteo por puntos.

En dos transectos (Sector 1 y Sector 3) se establecieron tres puntos, mientras que en el Sector 2 se establecieron dos puntos debido a que el área de este sector es más pequeña. Estos puntos se establecieron en el transecto, teniendo entre sí una distancia mínima de 150 metros.

En cada punto, se registró el número de especies y el número total de individuos observados y escuchados dentro de un radio de 50 m, durante un lapso de tiempo de diez minutos. Las observaciones se realizaron con ayuda de binoculares (7x50)

marca Konus. Para la identificación de las especies de aves se utilizaron guías de campo especializadas (ABO, 2000; Hilty & Brown, 1986).

La observación de aves se realizó en las horas de la mañana (6:00 - 8:00 AM) y hacia el final de tarde (4:00 – 6:00 PM), ya que estas son las horas de mayor actividad de las aves (Álvarez et al., 2006).

En el registro se tenían en cuenta la localidad, transecto, número de punto de muestreo, coordenadas, altitud, fecha y hora de toma de datos (inicio y finalización), tipo de registro (visual o auditivo) y especie (Álvarez et al., 2006). Este registro se llevó a cabo dos veces al mes, durante cuatro meses.

### **Línea base**

Para efectos de la línea base relacionada con la calidad fisicoquímica del agua, los macroinvertebrados acuáticos y la avifauna, se tomó la información que reposa en los documentos (FHLC & FWS, 2005; FHLC & EAAB, 2005a; FHLC & EAAB, 2005b & FHLC & CI, 2007) correspondiente a los informes de los proyectos de restauración hidrogeomorfológica de los sectores objeto de estudio de este trabajo. Dicha información fue tomada por los ejecutores de los proyectos antes de las respectivas intervenciones. Estos documentos reposan en el centro de documentación de la Fundación Humedal La Conejera.

Los datos de la línea base correspondientes a la calidad fisicoquímica del agua fueron tomados en el campo de manera puntual y las muestras de agua fueron analizadas en laboratorios. En los tres sectores se tomaron dos muestras en los puntos de entrada y de salida de agua. Los parámetros fisicoquímicos analizados a partir de las muestras de agua fueron: nitrógeno y fósforo total, DBO, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, pH, alcalinidad, DQO y turbidez.

Los datos correspondientes a la abundancia y riqueza de la avifauna en estos sectores, fueron obtenidos a partir de conteos por puntos que se realizaban en las diferentes áreas, meses antes de ser intervenidas. Los valores de abundancia se registraron a partir del número total de individuos observados y escuchados.

Los datos de la línea base correspondientes a la identificación de las familias de macroinvertebrados acuáticos, fueron obtenidos a partir de recolecciones de individuos, los cuales posteriormente eran identificados taxonómicamente.

La información obtenida a partir de la línea base se comparó con los datos obtenidos a partir del presente estudio.

## **Análisis de resultados**

### Composición fisicoquímica del agua

Se realizó una prueba exploratoria de Análisis de Componentes Principales (ACP) por medio del programa Statistica 6.0 (StatSoft, Inc, 1993) para examinar la variabilidad de la composición fisicoquímica del agua e identificar las relaciones entre los sitios de estudio y los parámetros fisicoquímicos (Pavé & Marchese, 2005; Badosa et al., 2007).

### Riqueza y abundancia de la avifauna

Para el análisis de riqueza y abundancia de la avifauna se hizo un diseño de bloques completos al azar, donde el factor de diseño corresponde al sector y las variables de respuesta corresponden al número de especies y al número de individuos por sector.

Se hizo un ANOVA de medidas repetidas para comparar la riqueza de la avifauna entre los tres sectores. Se probaron los supuestos requeridos por la prueba: prueba de normalidad de Shapiro Wilk, prueba de Bartlett para determinar si existe homogeneidad de varianzas y prueba de aditividad de Tukey para determinar si hay interacción entre los valores de riqueza. Para comparar la abundancia de individuos entre los tres sectores restaurados se aplicó un ANOVA de medidas repetidas y se probaron los supuestos de la prueba. Se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar entre cuales transectos hay diferencias significativas en cuanto al número de individuos por especie. Las anteriores pruebas se realizaron por medio del programa RGui 2.4 (The R Project for Statistical Computing, 2003). Con el coeficiente de Pearson se correlacionaron los atributos de la comunidad (riqueza y abundancia) con las variables fisicoquímicas (Pavé & Marchese, 2005), por medio del programa Statistica 6.0 (StatSoft, Inc, 1993). Se trabajó con una probabilidad de cometer error tipo 1 ( $\alpha$ ) igual a 0.05.

#### Diversidad beta de macroinvertebrados acuáticos

Similitud o Disimilitud: Se calculó el índice de Jaccard para determinar el grado de similitud en cuanto a la composición de familias de macroinvertebrados acuáticos entre los diferentes transectos. Este índice relaciona el número de especies con el número total de especies exclusivas (Álvarez et al., 2006):

$$I_J = \frac{c}{a+b-c}$$

Donde:

$I_J$  = Coeficiente de similitud de Jaccard.

a = número de especies en el sitio A.

b = número de especies en el sitio B.

c = número de especies presentes en ambos sitios A y B, es decir que están compartidas.

## Diversidad alfa para la avifauna

**Riqueza específica:** Para analizar la riqueza se calculó el índice de riqueza de Margalef ( $D_{Mg}$ ). El índice relaciona el número de especies de acuerdo con el número total de individuos (Álvarez et al., 2006):

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$

Donde:

$D_{Mg}$  = Índice de Margalef.

S = número de especies.

N = número total de individuos.

**Estructura:** Para la caracterización de la avifauna se calculó el índice de dominancia de Simpson y el índice de equidad de Shannon.

El índice de dominancia de Simpson ( $\lambda$ ) muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie (Álvarez et al., 2006):

$$D = \sum \{(n_i^2 - n_i) / (N^2 - N)\}$$

Donde:

$D$  = Índice de dominancia de Simpson.

$n_i$  = número de individuos en la  $i$ ésima especie.

N = número total de individuos en la misma especie.

El índice de equidad de Shannon asume que todas las especies están representadas en las muestras, indica qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas (Álvarez et al., 2006):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \text{ y } \sum p_i = 1$$

Donde:

$H'$  = índice de equidad de Shannon.

$p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , lo cual implica obtener el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Los anteriores índices se determinaron por medio del programa PAST versión 1.86b (Hammer et al., 2001).

## RESULTADOS

### Composición fisicoquímica del agua

El oxígeno disuelto presentó en general mayores concentraciones en los Sectores 2 y 3, mientras que en el Sector 1 presentó concentraciones menores (0.06 – 0.5) mg/l (Fig. 2a). El dióxido de carbono presentó valores más bajos en el Sector 2 (entre 8.8 y 26.4 mg), mientras que el Sector 1 presentaba valores entre 46.2 y 81.4 mg (Fig. 2b).

La dureza del agua presentó valores similares en los distintos sectores que variaban entre 80 mg/L y 106 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Fig. 2c). La temperatura del agua fue más baja para el Sector 1, presentando valores que oscilaban entre 14.1°C y 16.4°C, mientras que para los Sectores 2 y 3 la temperatura osciló entre 16.8°C y 21°C (Fig. 2d).

La conductividad eléctrica presentó valores similares en los Sectores 1 y 2, mientras que para el Sector 3 este parámetro presentó valores más altos, entre 337 us cm<sup>-1</sup> y 476 us cm<sup>-1</sup> (Fig. 2e).

El pH estuvo entre 6.3 y 7.8, obteniéndose en general valores bajos en el Sector 1, más influenciado por la presencia de macrófitas acuáticas (Fig. 2f). La transparencia Secchi, presentó mayores valores en el Sector 3, a diferencia del Sector 1 donde no fue posible medir este parámetro debido a que el cuerpo de agua se encuentra cubierto por macrófitas acuáticas como *A. filiculoides* e *H. ranunculoides* (Fig. 2g).

La DQO presentó valores más altos en el Sector 1, que oscilaban entre 65.6 mg/L y 85.9 mg/L, mientras que en el Sector 3 este parámetro presentó los valores más bajos que oscilaban entre 32.7 mg/L y 71.2 mg/L indicando que la carga orgánica

es baja para este último sector (Fig. 2h). Sin embargo, estos valores son altos en términos generales para estos sectores.

La concentración de nitratos registrada para el Sector 3 fue la más alta, mostrando valores entre 0.61 mg/L y 1 mg/L de nitrógeno, mientras que los Sectores 1 y 2 presentaron concentraciones más bajas de nitratos entre 0.2 mg/L y 0.4 mg/L de nitrógeno (Fig. 2i). La concentración de fosfatos fue mayor en el Sector 3 presentando valores entre 0.96 y 1.9 mg/L  $PO_4$ , mientras que el Sector 1 presentó concentraciones menores que variaban entre 0.75 mg/L y 1.14 mg/L  $PO_4$  (Fig. 2j) (Anexo 1).

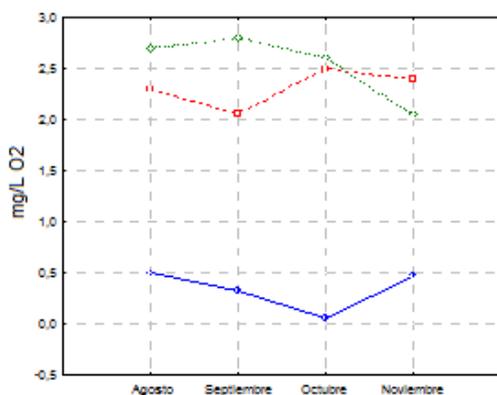


Fig. 2a. Oxígeno disuelto en los Sectores 1, 2 y 3.

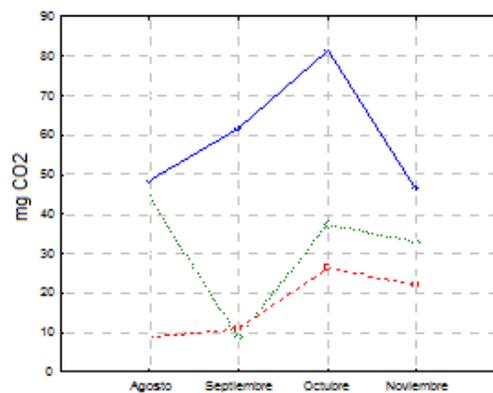


Fig. 2b. Dióxido de carbono en los Sectores 1, 2 y 3.

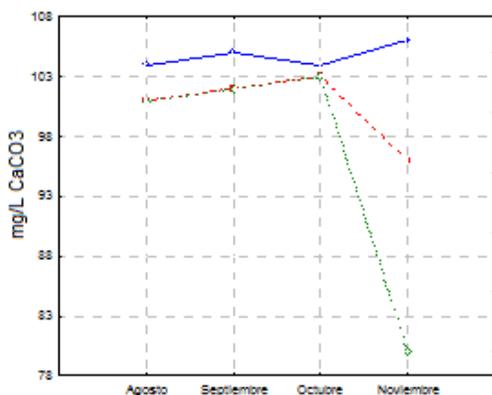


Fig. 2c. Dureza en los Sectores 1, 2 y 3.

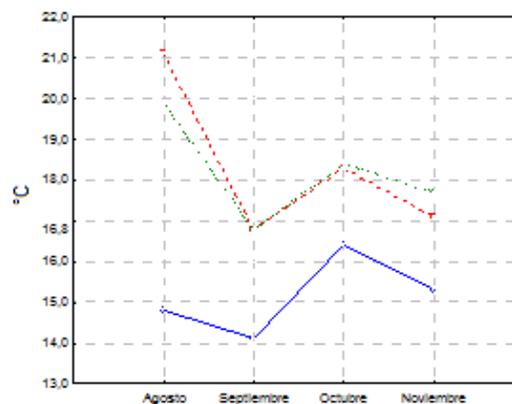


Fig. 2d. Temperatura en los Sectores 1, 2 y 3.

— Sector 1 — Sector 2 — Sector 3

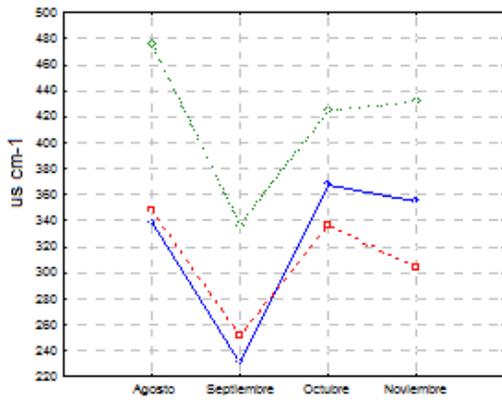


Fig. 2e. Conductividad eléctrica en los Sectores 1, 2 y 3.

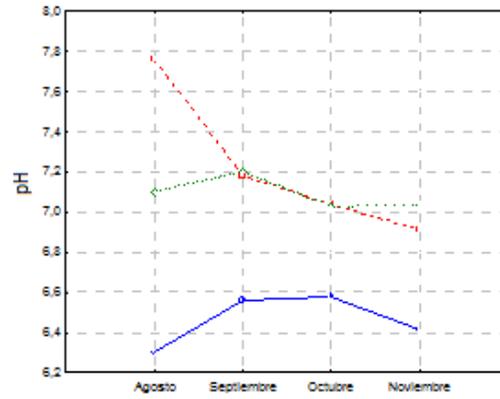


Fig. 2f. pH en los Sectores 1, 2 y 3.

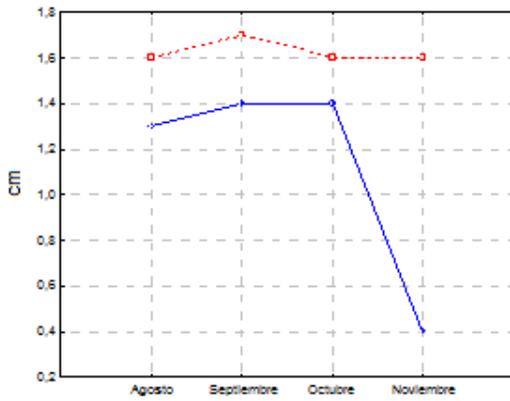


Fig. 2g. Transparencia en los Sectores 1, 2 y 3.

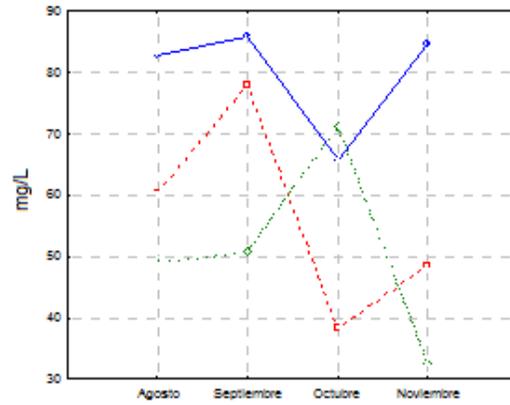


Fig. 2h. DQO en los Sectores 1, 2 y 3.

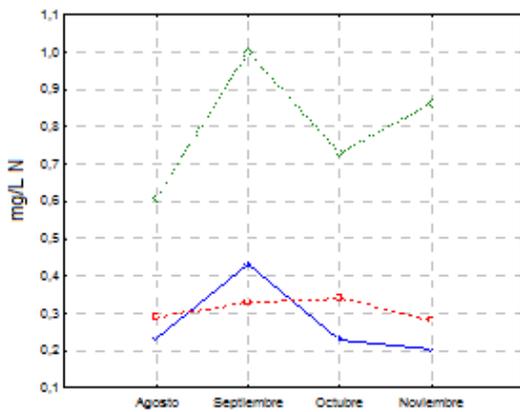


Fig. 2i. Nitratos en los Sectores 1, 2 y 3.

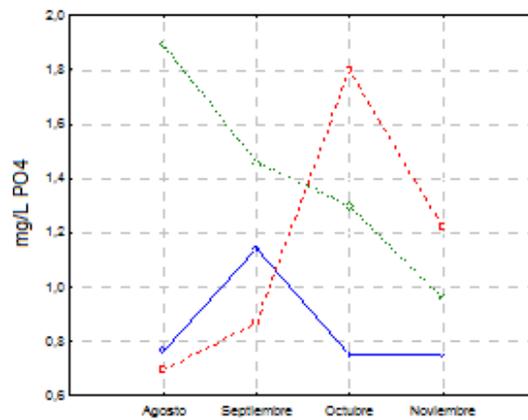
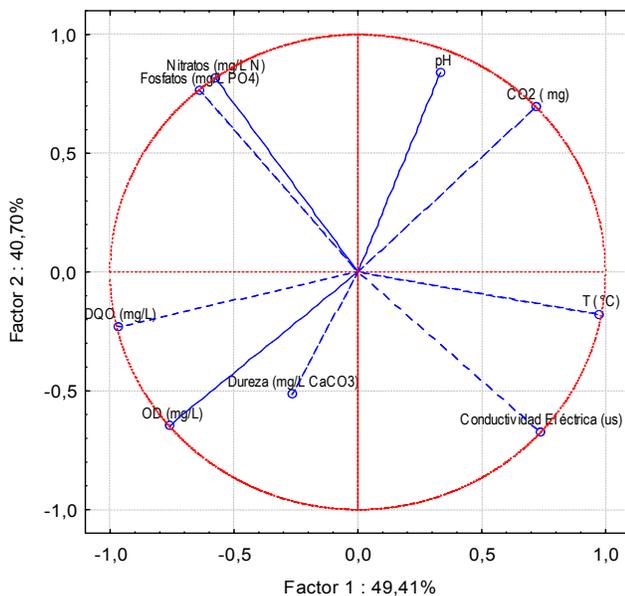


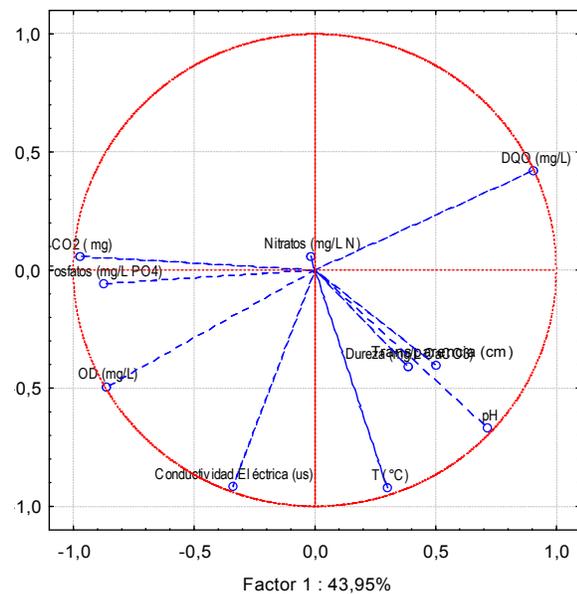
Fig. 2j. Fosfatos en los Sectores 1, 2 y 3.

— Sector 1 — Sector 2 — Sector 3

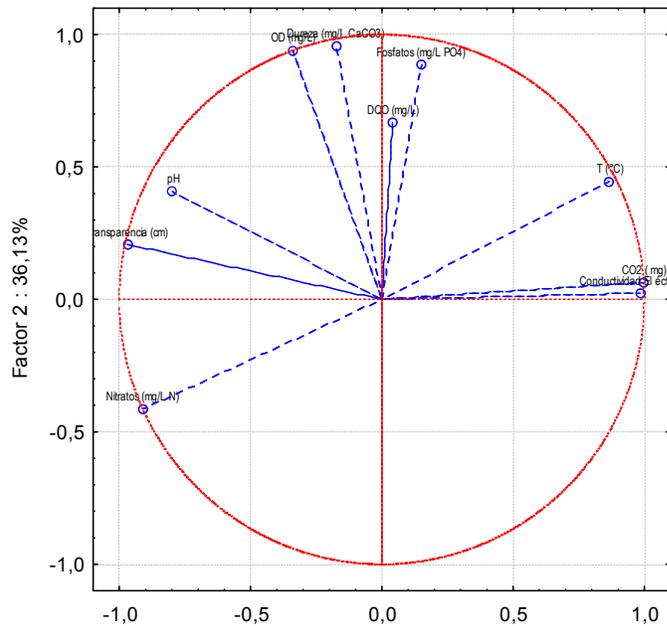
Con el Análisis de Componentes Principales (ACP) para el Sector 1, los dos primeros factores explican el 90% de la varianza total de los datos (Fig. 3a), donde el primer componente principal (CP1) representa las variables de oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO) y temperatura. El segundo componente principal (CP2) explica la variabilidad de los sectores en términos de pH, nitratos y fosfatos. Para el Sector 2, los dos primeros factores del ACP explican el 73% de la varianza (Fig. 3b), donde el (CP1) corresponde al CO<sub>2</sub>, OD, DQO y fosfatos. El (CP2) representa la temperatura y la conductividad eléctrica. Para el Sector 3, los dos primeros factores del ACP explican el 89 % de la varianza de los datos fisicoquímicos (Fig. 3c), el (CP1) incluye las variables CO<sub>2</sub>, temperatura, CE, transparencia y, nitratos. El (CP2) representa el OD y la dureza.



**Fig. 3a. Ordenación de acuerdo a las variables fisicoquímicas aplicando el ACP. Sector 1.**



**Fig. 3b. Ordenación de acuerdo a las variables fisicoquímicas aplicando el ACP. Sector 2.**



**Fig. 3c. Ordenación de acuerdo a las variables fisicoquímicas aplicando el ACP. Sector 3.**

### **Línea base de la composición fisicoquímica del agua**

Al comparar la calidad fisicoquímica del agua de la línea base con los datos obtenidos a partir del presente estudio se encontró que el Sector 1, se encontró una disminución en la concentración de nitratos de 2.63 mg/l N después de la intervención, mientras que la concentración de oxígeno se mantuvo constante. La conductividad disminuyó en 2  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , luego de la restauración, mientras que la concentración de fosfatos aumentó en 0.44 mg/l  $\text{PO}_4$  (FHLC & FWS, 2005).

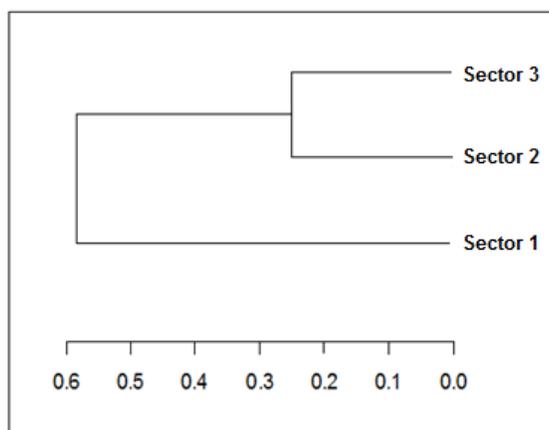
En el Sector 2, se encontró que la calidad del agua ha mejorado notablemente luego de la restauración: se registró una disminución en la concentración de nitratos de 13.34 mg/l N, al igual que en la concentración de fosfatos (0.45 mg/l  $\text{PO}_4$ ). La demanda química de oxígeno disminuyó en 134.83 mg/l. Además, se encontró un aumento del 2.1 mg/l  $\text{O}_2$  en la concentración de oxígeno disuelto (FHLC & EAAB, 2005a).

En el Sector 3 se encontró que luego de la restauración la concentración de oxígeno disuelto aumentó notablemente en 2.03 mg/l de O<sub>2</sub>, mientras que la concentración de nitratos aumentó en 0.75 mg/ l de nitrógeno. Los valores de pH se mantuvieron constantes (FHLC & EAAB, 2005b).

### Estimación cualitativa de macroinvertebrados acuáticos superficiales

Para el Sector 1 se registraron nueve familias de macroinvertebrados acuáticos superficiales: Naididae, Libellulidae, Aeshnidae, Coenagrionidae, Notonectidae, Hydrophilidae, Culicidae, Chironamidae y Hyalellidae. En el Sector 2 se reportaron ocho familias: Physidae, Aeshnidae, Coenagrionidae, Notonectidae, Corixidae, Hydrophilidae, Dytiscidae y Hyalellidae. En el Sector 3, se registraron seis familias: Physidae, Coenagrionidae, Notonectidae, Corixidae, Dytiscidae y Hyalellidae.

El índice de Jaccard muestra una mayor entre los Sectores 2 y 3 en cuanto a familias de macroinvertebrados acuáticos, mientras que el Sector 1 y el Sector 3 son altamente disímiles (Fig. 4).



**Fig. 4.** Dendrograma del coeficiente de similitud de Jaccard entre los Sectores 1, 2 y 3, que agrupa las familias de macroinvertebrados acuáticos a partir de la disimilaridad. 1 – coeficiente de similitud Jaccard. Método de agrupamiento (Single).

## **Línea base de los macroinvertebrados acuáticos superficiales**

Al analizar los datos de la línea base con relación al número de familias de macroinvertebrados acuáticos reportadas, se encontró que en el Sector 1 se habían registrado seis familias (Hyalellidae, Naididae, Notonectidae, Planaridae, Tubificidae y Scirtidae), mientras que en el Sector 2 se tenían registradas ocho familias (Coenagrionidae, Scirtidae, Naididae, Notonectidae, Tipulidae, Physidae, Planaridae y Unionidae) (FHLC & EAAB, 2005b).

Al comparar estos datos con los resultados obtenidos a partir de este estudio, se encuentra que en el Sector 1 se aumentó el número de familias, mientras que en el Sector 2 el número de familias se mantuvo constante después de los procesos de restauración. Cabe resaltar que en los registros de la línea base se reportan cinco familias (Planaridae, Tubificidae, Scirtidae, Tipulidae y Unionidae), que en los muestreos realizados con el presente estudio no fueron registradas. Así mismo, en el presente estudio se encontraron siete familias de macroinvertebrados que no habían sido reportadas para estos sectores en la línea base (Libellulidae, Aeshnidae, Hydrophilidae, Dytiscidae, Corixidae, Culicidae y Chironamidae).

## **Composición y estructura de la avifauna**

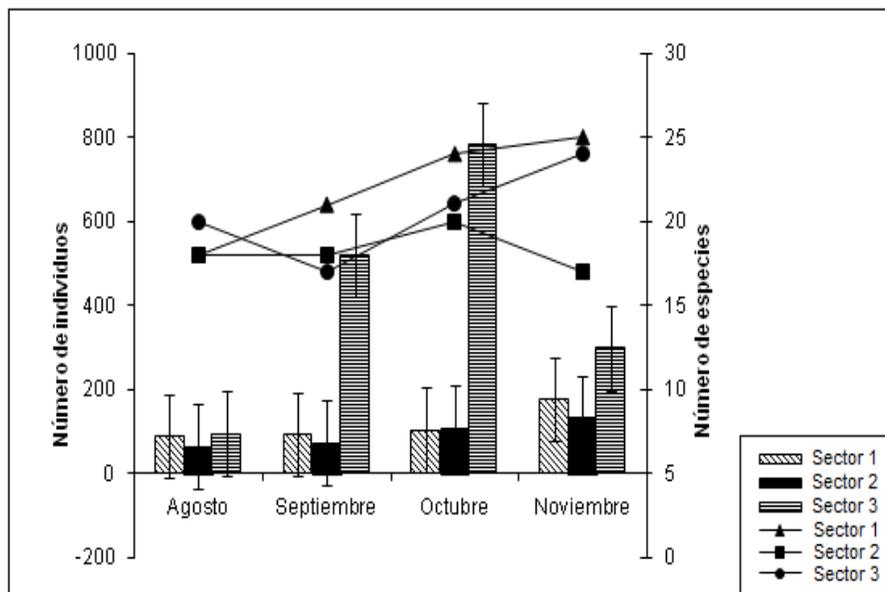
En los tres sectores restaurados se registraron un total de 39 especies de aves, de las cuales cinco especies son migratorias boreales (*Anas discors*, *Pandion haliaetus*, *Porzana carolina*, *Tringa solitaria* y *Empidonax alnorum*), dos especies son endémicas (*Rallus semiplumbeus* y *Synallaxis subpudica*) y cuatro subespecies son endémicas (*Oxyura jamaicensis andina*, *Gallinula melanops bogotensis*, *Chrysomus icterocephalus bogotensis*, *Fulica americana columbiana*) de los humedales de la región altoandina colombiana. En el Sector 1 se registraron 36 especies, en el Sector 2 se registraron 26 especies y en el Sector 3

se registraron 29 especies de aves. Se registraron un total de 23 familias (Anexo 2).

No se encontraron diferencias significativas en cuanto a riqueza de avifauna entre los tres sectores restaurados (ANOVA de dos vías:  $F_{2,6} = 3.03$ ,  $p > 0.05$ ).

Se encontraron diferencias significativas en cuanto a abundancia entre los tres sectores restaurados (ANOVA de dos vías:  $F_{2,6} = 7.17$ ,  $p < 0.05$ ). Con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey se encontraron diferencias significativas entre los Sectores 2 y 3 al igual que entre los Sectores 1 y 3. Entre los Sectores 1 y 2 no se encontraron diferencias significativas (Fig. 5).

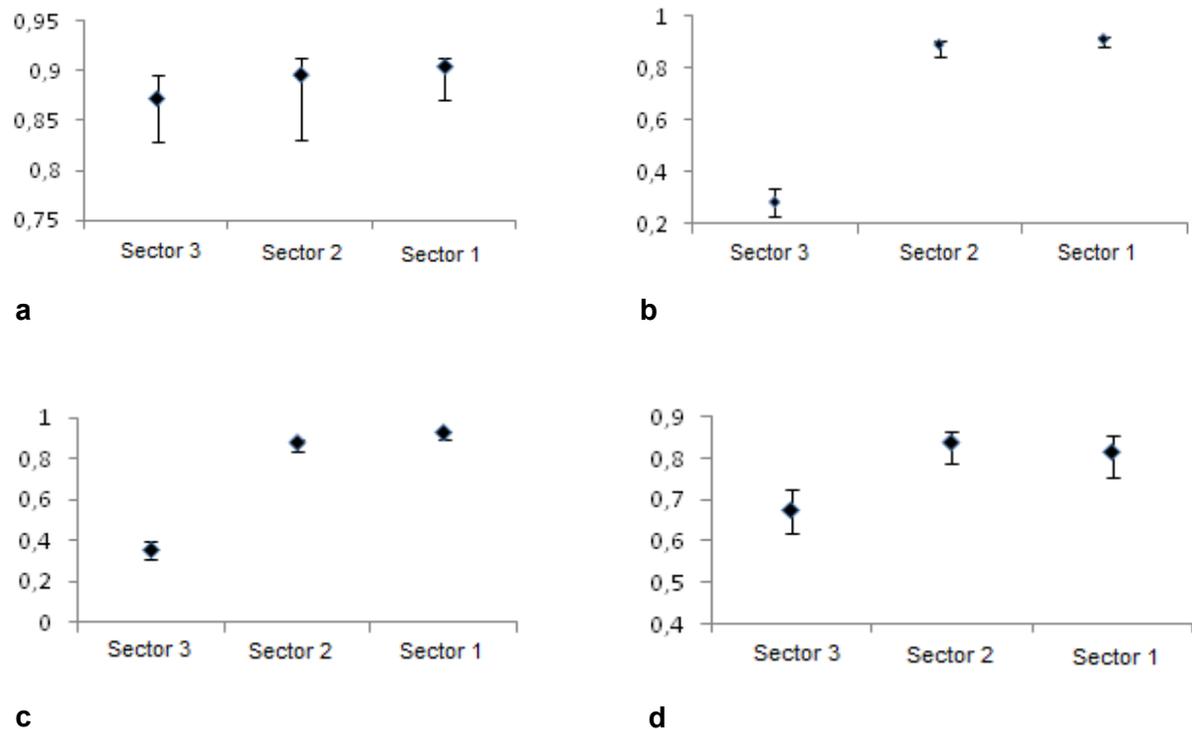
No se encontró una correlación significativa entre las variables fisicoquímicas y la riqueza de especies de aves. El parámetro de dureza fue la única variable que presentó una correlación significativa con la abundancia ( $r = 0.96$ ).



**Fig. 5.** Abundancia (histograma) y riqueza de especies (líneas) de aves registradas en cada mes en los Sectores 1, 2 y 3.

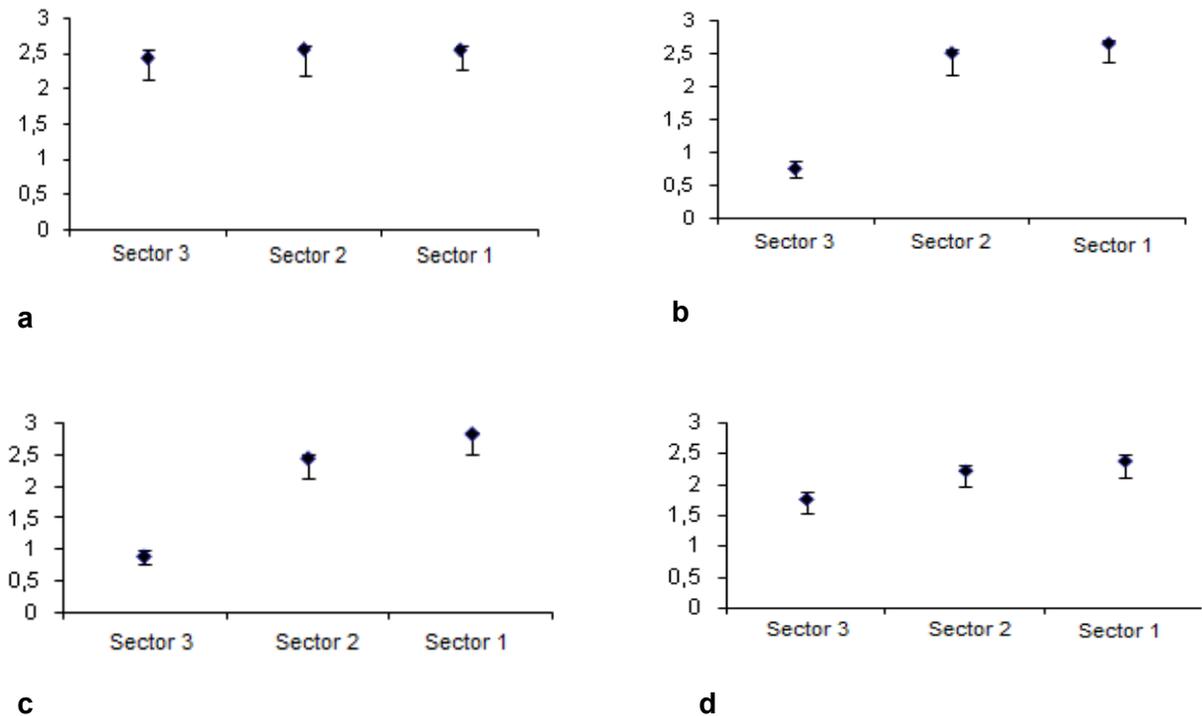
La diversidad alfa representada en la cantidad de especies por individuos observados se expresó con el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) con un mayor valor ( $D_{Mg}= 4.96$ ) para el Sector 1, en el mes de octubre. El Sector 2 presentó un mayor valor de riqueza ( $D_{Mg}= 4.08$ ) en el mes de septiembre. El Sector 3 presentó una gran variación en cuanto a riqueza durante los diferentes meses, teniendo un mayor valor de este índice en el mes de agosto ( $D_{Mg}= 4.18$ ).

El índice de dominancia de Simpson no se diferenció significativamente durante los diferentes meses en los Sectores 1 y 2. El mayor valor de dominancia se observó en el mes de octubre ( $\lambda= 0.92$ ) para el Sector 1 y en el mes de septiembre ( $\lambda= 0.89$ ) para el Sector 2. El Sector 3 no presentó uniformidad en los valores del índice de Simpson durante los diferentes meses (Fig. 6).



**Fig. 6. Intervalos de confianza del 95% (Bootstrap con 1000 iteraciones) del índice dominancia de Simpson para los Sectores 1, 2 y 3. (a) agosto (b) septiembre (c) octubre (d) noviembre.**

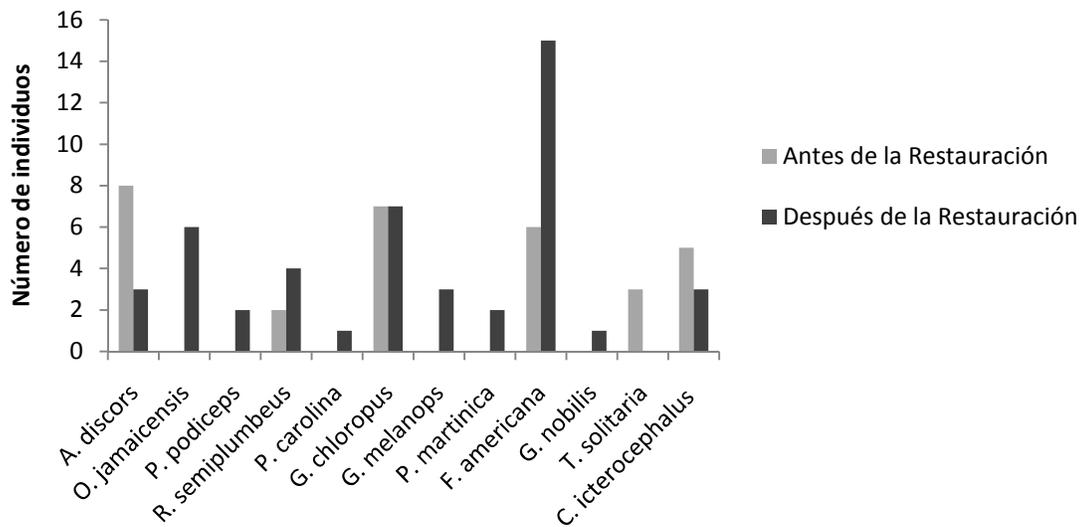
El índice de equidad de Shannon y sus intervalos de confianza no mostraron diferencias durante los diferentes meses para los Sectores 1 y 2. Se obtuvo la equidad más alta ( $H' = 2.56$ ) en el mes de agosto para el Sector 2 y en el mes de octubre para el Sector 1 ( $H' = 2.82$ ). El Sector 3 presentó un mayor valor del índice de Shannon ( $H' = 2.44$ ) en el mes de octubre (Fig. 7).



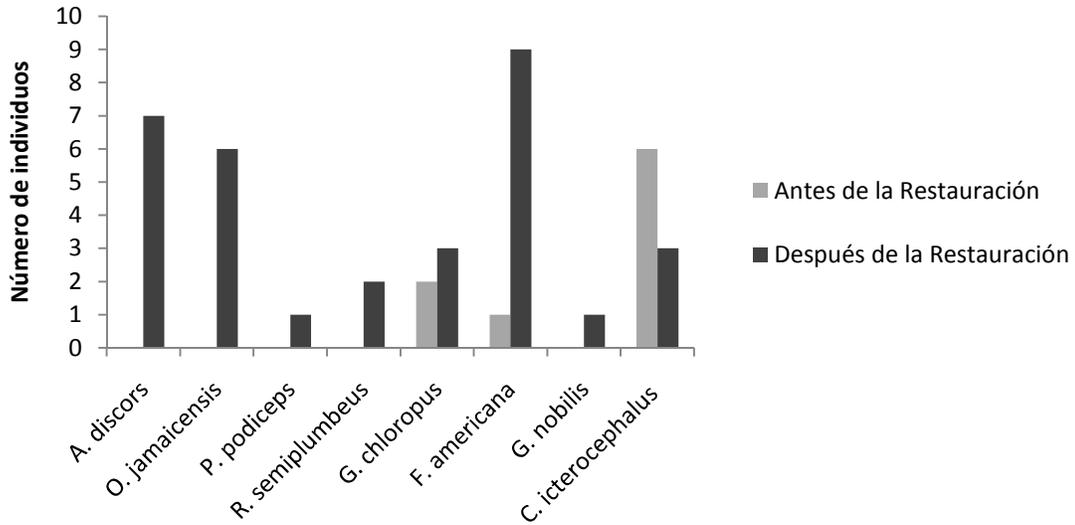
**Fig. 7. Intervalos de confianza del 95% (Bootstrap con 1000 iteraciones) del índice de equidad de Shannon para los Sectores 1, 2 y 3. (a) agosto (b) septiembre (c) octubre (d) noviembre.**

## Línea base de la composición y estructura de la avifauna

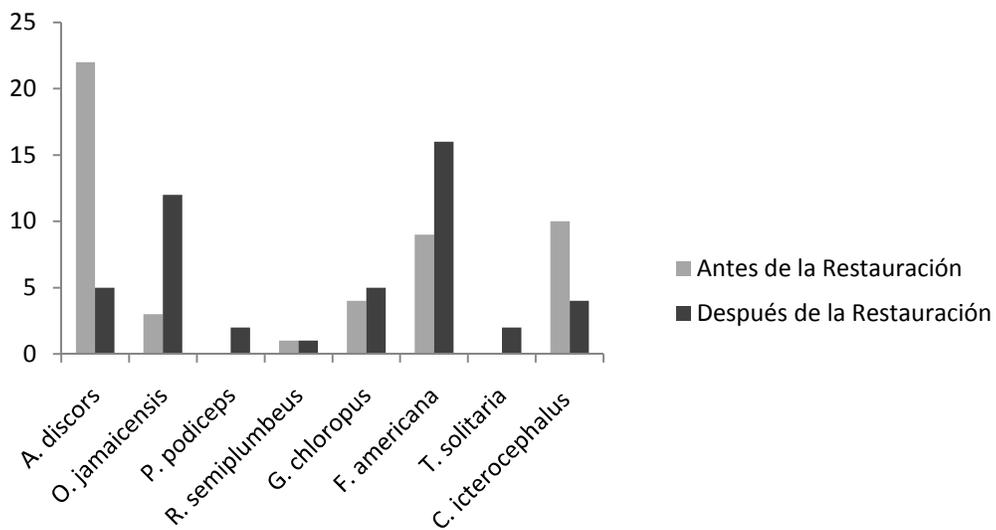
Al comparar los valores de abundancia de la línea base con los datos obtenidos a partir del presente estudio se encontró que en el Sector 1 las especies: *O. jamaicensis*, *P. podiceps*, *R. semiplumbeus*, *F. americana*, *G. melanops*, *P. carolina*, *P. martinica* y *G. nobilis* mostraron un aumento en su densidad poblacional luego de la restauración. En el sector 2 y en el Sector 3 las especies: *A. discors*, *O. jamaicensis*, *P. podiceps*, *R. semiplumbeus*, *G. chloropus*, *F. americana* y *G. nobilis* fueron favorecidas significativamente con la restauración debido al restablecimiento de la diversidad de hábitats y al aumento de la oferta alimenticia (Fig. 8, Fig. 9 y Fig. 10).



**Fig. 8. Abundancia de especies de aves Sector 1.** Antes (2004) y después (2008) de la Restauración Hidrogeomorfológica.



**Fig. 9. Abundancia de especies de aves Sector 2.** Antes (2005) y después (2008) de la Restauración Hidrogeomorfológica.



**Fig. 10. Abundancia de especies de aves Sector 3.** Antes (2007) y después (2008) de la Restauración Hidrogeomorfológica.

Con relación a la riqueza de la avifauna, en la línea base se registraron 22 especies en el Sector 1, 8 especies en el Sector 2 y 22 especies en el Sector 3, antes de la restauración de cada uno de los respectivos sectores. A partir del

presente estudio en el Sector 1 se registraron 36 especies, en el Sector 2 se registraron 26 especies mientras que en el Sector 3 se reportaron 29 especies. Lo anterior indica que en el Sector 1 hay un incremento del 63.6% en términos de riqueza de la avifauna cuatro años después de realizarse la restauración, del 225% en el Sector 2, tres años después de realizarse la intervención y del 31.8% en el Sector 3, un año después de realizada la restauración hidrogeomorfológica.

## DISCUSIÓN

El recuperar las condiciones iniciales en ecosistemas de humedales, no es tarea fácil debido a que cambios y variaciones en la topografía y en las condiciones ecológicas pueden condicionar los nuevos hidroperíodos en estos ecosistemas, así como en la biodiversidad asociada (Boswell & Olyphant, 2007).

Los procesos de restauración de humedales en muchos casos incluyen la remoción de lodos implicando cambios a nivel topográfico, lo cual modifica el movimiento y flujo del agua (Boswell & Olyphant, 2007), que a su vez determina la distribución de las comunidades, ya que controla características ecológicas tales como los procesos de sucesión (Zhou et al., 2008a).

Al comparar la calidad del agua de los sectores estudiados en términos fisicoquímicos, antes y después de la restauración, se encuentra que esta mejora notablemente, como resultado de la extracción de lodos y de la suspensión de los vertimientos de aguas residuales, lo cual ha favorecido el aumento en las concentraciones de oxígeno disuelto y la disminución de las concentraciones de: nitratos, fosfatos y DQO, como se observa en los sectores 2 y 3.

El aumento en las concentraciones de oxígeno disuelto en los sectores estudiados es un indicador importante de que la calidad fisicoquímica del agua ha mejorado luego de las intervenciones, ya que un aumento de tal magnitud en un ecosistema como éste no es común, puesto que éstos ecosistemas tienden a terrarizarse, debido a la sedimentación, en los cuales las concentraciones de oxígeno tienden a disminuir. Estas nuevas condiciones del agua se reflejan en el incremento de la diversidad biológica registrada a partir del presente estudio.

Al analizar el número de familias de macroinvertebrados acuáticos reportados para estos sectores, antes y después de la restauración, se encontró que hay un aumento en el número de familias, lo cual es favorecido por el mejoramiento de la

calidad fisicoquímica del agua, como lo es el caso de las familias: Libellulidae, Aeshnidae, Dytiscidae y Corixidae, que son propias de aguas moderadamente contaminadas, las cuales fueron registradas a partir del presente estudio, mientras que familias como Tubificidae y Tipulidae son típicas de aguas fuertemente contaminadas (Roldán, 2003), las cuales se encontraban registradas en la línea base y actualmente no se encontraron en los sectores estudiados. Lo anterior indica que los procesos de restauración favorecen a mediano plazo, el incremento de la diversidad de familias de macroinvertebrados acuáticos, como resultado de la extracción de los lodos contaminados que permitieron el mejoramiento de la calidad y de las condiciones del cuerpo de agua en el Humedal La Conejera.

Al comparar los valores de riqueza de especies de aves de los diferentes sectores antes de ser restaurados con los valores de riqueza de estos mismos sectores después de ser restaurados, se encontró que hay un aumento del 63.6% en el Sector 1 y del 225% en el Sector 2 en el número de especies de aves registradas. Este aumento en el Sector 2, se debe a que antes de realizar la restauración en el año 2005, el área de cuerpo de agua de este sector era muy reducida y adicionalmente a este se le vertían aguas procedentes de un colector pluvial, así como la basura y las aguas provenientes de un antiguo lavadero de papa de una finca colindante, factores que afectaron la calidad del agua y consiguieron las poblaciones de diferentes especies de aves. Lo anterior muestra que la restauración hidrogeomorfológica en sectores del Humedal La Conejera ha favorecido significativamente el repoblamiento por parte de nuevas especies que en estos sectores no habían sido registradas: *P. carolina*, *G. nobilis* y *P. podiceps* y el aumento de la densidad poblacional de ciertas especies de aves: *O. jamaicensis*, *R. semiplumbeus*, *G. melanops*, *G. chloropus*, *A. discors* y *F. americana*, ya que con estas intervenciones se restablece la diversidad de hábitats tanto para la avifauna endémica como para la migratoria. Siendo esto facilitado por los procesos de sucesión vegetal que con el tiempo favorecen la consolidación de la vegetación flotante y de litoral, mejorándose a su vez la calidad del agua y la

oferta de recursos como los macroinvertebrados acuáticos, que hacen parte de la dieta nutricional de la avifauna.

Para el caso los Sectores 2 y 3, se registraron mayores concentraciones de oxígeno disuelto, debido a que el agua que llega a estos sectores es filtrada previamente en el Sector 1, mejorándose su calidad, lo cual se evidencia en las concentraciones de oxígeno. Por otro lado en los Sectores 2 y 3 el pulso del nivel del agua es mayor, permitiendo una mayor oxigenación (Junk et al., 2006) a diferencia del Sector 1 donde el pulso del agua es menor debido a su poco movimiento y a la presencia de macrófitas acuáticas que cubren la totalidad del espejo de agua.

Al comparar los valores de conductividad de los Sectores 1 y 2, encontramos que la conductividad eléctrica es mayor para el Sector 1 que para el Sector 2, lo cual puede explicar el hecho de que las concentraciones de oxígeno sean más altas para el Sector 2, ya que según Roldán (1992) y Wetzel (1983), la solubilidad del oxígeno aumenta a medida que la conductividad disminuye. Los valores bajos de conductividad registrados en los tres sectores probablemente se deban a la dilución por la lluvia, aunque para el caso del Sector 3 se registraron valores más altos, los cuales se pueden deber a que en este sector el agua presenta un mayor movimiento debido a la acción del viento, lo que permite la degradación rápida de la materia orgánica, la liberación de iones de los lodos, el movimiento de los nutrientes y el aumento de la productividad (Junk et al., 2006).

En los diferentes sectores restaurados se encontraron concentraciones de nitratos y fosfatos bajas, aunque el Sector 3, registró mayores concentraciones de nitratos, producto de la escorrentía de aguas de uso agrícola provenientes de un cultivo de flores (Flores Sagaro) y de potreros con ganadería normando de la hacienda Las Mercedes. Aunque estas aguas son filtradas por el mismo humedal aguas arriba, llevan consigo una alta carga iónica que se evidencia en los altos valores de conductividad eléctrica para este sector. Las aguas de uso agrícola y las aguas

lluvias presentan una concentración alta de nutrientes (Moreno et al., 2007), las cuales pueden llegar a afectar la flora y la fauna del área donde estas son vertidas (Junk et al., 2006). El Sector 1 presentó concentraciones de fosfatos y nitratos bajas con relación a los otros sectores, lo que podría estar indicando que con el paso del tiempo la restauración favorece la remoción de nutrientes como ha sido reportado para humedales artificiales (Moreno et al., 2007), en donde factores como la estacionalidad, la carga hidráulica, el tiempo de retención, el tipo de suelo y el tipo de vegetación asociada juegan un papel determinante en la retención de fosfatos y nitratos que a su vez son determinados por las interacciones con la biota acuática y terrestre (Dodds, 2002). No se encontró correlación alguna entre las concentraciones de fosfatos y nitratos con la riqueza de la avifauna, lo cual también fue reportado por Junk et al. (2006) para diferentes humedales (Pantanal, Okango y Everglades), en donde se encontró que las bajas concentraciones de nutrientes no afectan la diversidad de especies.

Se registraron mayores valores de DQO en el Sector 1, indicando que este sector presenta un mayor grado de contaminación que resulta en el déficit de oxígeno debido a la degradación de la materia orgánica (Gao et al., 2007) y al vertimiento de aguas lluvias y residuales. En este sector a diferencia de los otros sectores estudiados el área fótica de la columna de agua se encuentra cubierta por macrófitas acuáticas flotantes y por fitoplancton, que en estos ecosistemas producen y acumulan materia orgánica (Kawabe & Kawabe, 1997), aumentando la demanda de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica particulada y disuelta (Gao et al., 2007). Se observó que la concentración de DQO disminuye con el aumento de la conductividad en cada uno de los sectores.

Según diferentes estudios (Colwell & Landrum, 1993; Liston, 2006; Wang et al., 2008), se ha encontrado que los principales factores ambientales que determinan las comunidades de macroinvertebrados acuáticos son el tipo de sustrato, la velocidad de flujo, la profundidad y la calidad del agua. De acuerdo con Leland & Fend (1998) y Liang et al., (2002), uno de los parámetros fisicoquímicos que más afecta las comunidades de invertebrados acuáticos en términos de estructura de

comunidades y de riqueza de taxa es la conductividad eléctrica o salinidad debido a las diferencias en tolerancia salina de cada uno de los diferentes taxa, como se ha observado en invertebrados pequeños en los cuales su densidad poblacional decrece a medida que la salinidad aumenta. En los transectos estudiados se observó que el Sector 1, presenta un mayor número de familias de macroinvertebrados, lo cual se debe en parte a que este transecto tiene los menores valores de salinidad o conductividad y a su vez que cuenta con una vegetación asociada que permite la heterogeneidad de microhábitats, favoreciendo la diversidad de taxa allí presentes (Leland & Fend,1998), a diferencia de los otros transectos donde se registró un menor número de familias, como es el caso del Sector 3, el cual registró los valores más altos de conductividad viéndose esto reflejado en la poca diversidad de familias de macroinvertebrados.

Se encontró una mayor similitud en cuanto a la composición de familias de macroinvertebrados entre los Sectores 2 y 3, lo cual se puede deber a que estos sectores presentan una dinámica hidrológica similar en términos fisicoquímicos y a su vez porque estos sectores cuentan con espejos de agua los cuales no están cubiertos por vegetación flotante, por tanto ofrecen características de microhábitats similares, haciendo que la diversidad de taxa no difiera significativamente entre sí.

El ambiente fisicoquímico puede afectar directa e indirectamente la abundancia y composición de las comunidades de aves (Paillisson et al., 2002). Las fluctuaciones del nivel del agua influyen en la estructura física de los diferentes tipos de hábitats (zonación de la vegetación), y en la disponibilidad y accesibilidad a los recursos (Paillisson et al., 2002). Según Liang et al. (2002) y Zhou et al. (2008b), las aves adquieren nutrientes a partir de la alimentación de macroinvertebrados bentónicos como isópodos, anfípodos, mísidos y poliquetos entre otros, los cuales ejercen una fuerte influencia sobre la distribución de estas, como ha sido reportado para aves zancudas y para patos de la familia Anatidae,

cuya distribución es determinada por la abundancia de larvas de quironómidos, debido a que son parte fundamental de su dieta como fuente de proteína, útil para su crecimiento y reproducción. De acuerdo con Colwell et al. (1993), diferentes estudios han demostrado la correlación positiva entre la abundancia de aves playeras y las densidades de invertebrados, en donde se ha encontrado que factores como la distribución de presas (invertebrados), variaciones en el sustrato, salinidad y otros parámetros físicos del ambiente, influyen en la abundancia y disponibilidad de las presas afectando la distribución de este tipo aves.

Conforme a lo planteado anteriormente y a las familias de macroinvertebrados acuáticos registradas en los diferentes sectores, se puede inferir que el tiempo que transcurre después de realizar los procesos de restauración, es un factor que determina la diversidad de taxa de macroinvertebrados, puesto que el paso del tiempo favorece la consolidación de la vegetación flotante y de litoral, mejorándose de ésta forma las condiciones de hábitat y de oferta de recursos para estos organismos, que a su vez hacen parte de la dieta alimenticia de la avifauna, por tanto influyen en la distribución, abundancia y riqueza de las aves. En el Sector 1, se registró un mayor número de familias de invertebrados así como un mayor número de especies de aves, lo cual estaría indicando que la riqueza de especies de aves en los sectores estudiados, probablemente esté siendo determinada por la oferta de recursos en este caso la diversidad de invertebrados acuáticos.

Al analizar la diversidad alfa de la avifauna de los sectores estudiados encontramos que el Sector 1 presenta una mayor uniformidad en cuanto a la representatividad de las especies de aves (riqueza específica) en comparación con los otros transectos estudiados debido a que este sector es el que tiene más años de haber sido restaurado, lo cual ha permitido la consolidación de los procesos de sucesión vegetal, que con el paso del tiempo han permitido el aumento de la diversidad de hábitats y a su vez la oferta de recursos como lo son las macrófitas sumergidas (*L. minor*, *A. filiculoides* e *H. ranunculoides*) que constituyen una base nutricional para las aves en la zona litoral de estos

ecosistemas (Schmieder et al., 2006), lo cual favorece la diversidad de especies en este sector. En este transecto se observó con regularidad *R. semiplumbeus* y *G. melanops*, especies que requieren un hábitat heterogéneo, con áreas de vegetación baja flotante mezcladas con áreas de vegetación alta y densa como lo son las asociaciones de *S. californicus* y macrófitas acuáticas como: *Azolla sp.*, *Ludwigia peploides* y *Limnobium stoloniferum* (Renjifo et al., 2002; ABO, 2000). Este tipo de vegetación caracteriza el Sector 1 a diferencia de los Sectores 2 y 3, que presentan islotes de juncuales con parches reducidos de macrófitas acuáticas como *Hydrocotyle ranunculoides*. En estos últimos sectores no se observaron con regularidad estas especies, lo cual indica que la composición y estructura florística es un factor que influye en la riqueza específica y composición de las comunidades de aves (Simmons et al., 2007; Mistry et al., 2008), puesto los requerimientos diferenciales de las especies determinan la ocurrencia de las mismas en un área (Canterbury et al., 2000).

En diferentes estudios se ha reportado que la diversidad de aves acuáticas es mayor en aguas que tienen poca profundidad, lo cual se encuentra estrechamente relacionado con la diversidad hidrológica (Shimada et al., 2000; Maheswaran & Rahmani, 2001; Paillisson et al., 2002; Kingsford et al., 2004; Bolduc & Afton, 2008), como se observó en el Sector 1, el cual presenta menores profundidades debido a los procesos de sedimentación propios de estos ecosistemas. Por tanto se puede asumir que las comunidades de aves acuáticas difieren entre áreas que presenten diferentes regímenes hidrológicos en un tiempo dado, ya que estas diferencias determinan en gran parte la disponibilidad y abundancia de recursos.

Por otro lado las aves también son afectadas directa e indirectamente por los cambios hidrológicos, tendiendo a ser más sensibles las especies que (i) anidan a lo largo del cuerpo de agua (ii) se alimentan en la zona litoral (iii) requieren una combinación particular de hidroperíodos (Mistry et al., 2008). En el caso de *R. semiplumbeus*, las fluctuaciones del nivel del agua y su efecto negativo sobre la vegetación de aguas poco profundas, son factores que amenazan las poblaciones

de esta especie (Renjifo et al., 2002). Con este estudio se observó que la rehabilitación de praderas de juncal favorece las poblaciones de *R. semiplumbeus*, ya que su tamaño poblacional ha aumentado luego de la restauración en los Sectores 1 y 2 (L. Galindo, obs. pers.).

El Sector 3, fue el que presentó un mayor número de individuos por especie (Fig. 3), debido a que este sector se caracteriza por presentar áreas de aguas abiertas, en donde es común encontrar especies como *A. discors*, *O. jamaicensis*, *B. ibis*, las cuales generalmente se encuentran en grupos grandes (ABO, 2000) y son favorecidas por estas condiciones espaciales.

Los procesos de restauración ecosistemas de humedales, no sólo dependen de los cambios que se realizan dentro del cauce sino también del tipo de actividades que se realizan en las zonas aledañas y del manejo integral del humedal (Badosa et al., 2007), ya que estos factores pueden afectar la recuperación del ecosistema.

En los procesos de restauración, la revegetalización con especies nativas contribuye a la diversidad y al funcionamiento ecológico, aumentando los servicios ambientales del ecosistema y más aún cuando se establecen islas que sirvan de hábitat para la fauna (Simmons et al., 2007), ya que las áreas transicionales son más diversas y pueden brindar un mejor hábitat para las diferentes especies asociadas (Oja et al., 2005).

La restauración hidrogeomorfológica de sectores del Humedal La Conejera es fundamental para su conservación y para la preservación de su biodiversidad asociada.

## CONCLUSIONES

- La restauración hidrogeomorfológica favorece el repoblamiento de ciertas especies de aves (*O. jamaicensis*, *P. podiceps*, *R. semiplumbeus*, *G. melanops*, *A. discors* y *F. americana*), ya que se restablece la diversidad de hábitats tanto para la avifauna endémica como para la migratoria.
- La calidad del agua de los sectores estudiados mejora luego de los procesos de restauración, en los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, fosfatos, nitratos y demanda química de oxígeno).
- Los procesos de restauración favorecen a mediano plazo, el incremento de la diversidad de familias de macroinvertebrados acuáticos, como resultado de la extracción de los lodos contaminados que permitieron el mejoramiento de la calidad y de las condiciones del cuerpo de agua.
- La riqueza y abundancia de la avifauna se ve favorecida gradualmente por la restauración hidrogeomorfológica, en la medida que se incrementa la diversidad de hábitats y la oferta alimenticia representada en el incremento de la diversidad de macroinvertebrados acuáticos.
- La restauración hidrogeomorfológica de sectores del Humedal La Conejera es fundamental para su conservación y para la preservación de su biodiversidad asociada.

## RECOMENDACIONES

- Se podría hacer uso de los modelos hidrológicos sugeridos por Boswell y Olyphant (2007), como herramienta, para hacer proyecciones sobre los hidroperíodos en áreas de humedales que van a ser restauradas. Esta modelación incluye las aguas subterráneas y puede ser usada para reproducir las condiciones hidrológicas durante períodos largos de tiempo, permitiendo hacer inferencias sobre las distribuciones espaciales y temporales de la humedad del suelo y de los niveles de agua sobre el área total del humedal.
- El tener conocimiento sobre la dinámica de los ecosistemas de humedal, permite diseñar proyectos de preservación, restauración y rehabilitación que incluyen programas de monitoreo para el manejo de estos ecosistemas.
- Los sistemas de información geográfica (SIG), pueden ser usados para caracterizar los regímenes hidrológicos y geomorfológicos, antes de realizar una restauración hidrogeomorfológica con el objetivo de evaluar la distribución de las especies y su éxito en términos reproductivos, para así estimar su sostenibilidad al largo plazo, la cual es condicionada por la calidad del hábitat.
- Elaborar un plan de monitoreo en donde se evalúen los parámetros fisicoquímicos del agua, las poblaciones de invertebrados, la avifauna y la vegetación asociada, con el objetivo de analizar como el humedal responde a los procesos de restauración hidrogeomorfológica al largo plazo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer al profesor Efraín Ruíz Sepúlveda, director de este estudio, por sus valiosos aportes y asesoría. Al profesor Dániel Cadena Ordóñez, codirector, por sus oportunos comentarios. Al profesor Emilio Realpe por su amable y siempre presta colaboración en este estudio. Al equipo de la Fundación Humedal La Conejera por todo el apoyo que me brindaron para la realización de este estudio. Al Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Universidad de Los Andes y al Departamento de Química de la Universidad de Los Andes. Al biólogo Andrés Morales por su apoyo en el diseño experimental de este estudio. A mis amigos y familia que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de la carrera.

## REFERENCIAS

**ABO.** 2000. Aves de la Sabana de Bogotá, Guía de campo. Asociación Bogotana de Ornitología y Corporación Autónoma Regional. Bogotá D.C., Colombia.

**Álvarez, M.; Córdoba, S.; Escobar, F.; Fagua, G.; Gast, F.; Mendoza, H.; Ospina, M.; Umaña, A. & Villarreal, H.** 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia.

**Andrade, G.** 1998. Los humedales del Altiplano de Cundinamarca y Boyacá: Ecosistemas en peligro de desaparecer. Una aproximación a los Humedales en Colombia. Fondo FEN, UICN. Bogotá D. C., Colombia.

**Badosa, A.; Boix, D.; Brucet, S.; López, R. & Quintana, X.** 2007. Short-term effects of changes in water management on the limnological characteristics and zooplankton of a eutrophic Mediterranean coastal lagoon (NE Iberian Peninsula). *Marine Pollution Bulletin*, 54: 1273-1284.

**Bibby, C.; Burgess, N. & Hill, D.** 1992. Bird Census Techniques. British Trust for Ornithology and the Royal Society for the protection of Birds. Academic Press. (pp. 85- 104). London.

**Bolduc, F. & Afton, A.** 2008. Monitoring waterbird abundance in wetlands: The importance of controlling results for variation in water depth. *Ecological modeling*, 216: 402- 408.

**Boswell, J. & Olyphant, G.** 2007. Modeling the hydrologic response of groundwater dominated wetlands to transient boundary conditions: Implications for wetland restoration. *Journal of Hydrology*, 332: 467- 476.

**Brinson, M.** 1993. A hidrogeomorphic classification for wetlands. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA, Wetlands Research Technical Report WRP-DE-11.

**Canevari, P.; Davidson, I.; Blanco, D.; Castro, G. & Bucher, E.** 2001. Los humedales de América del Sur. Una Agenda para la Conservación de la Biodiversidad y las Políticas de Desarrollo.

**Canterbury, G.; Martin, T.; Petit, D.; Petit, L. & Bradford.** 2000. Bird communities and habitat as ecological indicators of forest condition in regional monitoring. *Conservation Biology*, 14 (2): 544 – 558.

**Cole, G.** 1988. Manual de Limnología. Editorial Hemisferio Sur S. A. Uruguay.

**Colwell, M. & Landrum, S.** 1993. Nonrandom shorebird distribution and fine-scale variation in prey abundance. *The Condor*, 95: 94 -103.

**Cuhaciyan, C.** 2008. Hydrogeomorphic characterization and classification of Pacific Northwest mountain streams for biomonitoring. Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University.

**DAMA.** 2000. Historia de los Humedales de Bogotá: Con énfasis en cinco de ellos. Bogotá D. C., Colombia.

**Dodds, W.** 2002. Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications. Academic Press. USA.

**Fundación Humedal La Conejera & Conservación Internacional.** 2007. Cuarta fase de la reconfiguración hidrogeomorfológica del cauce y rehabilitación de los hábitats acuáticos del Humedal La Conejera, subunidades 3.3c, 4.2b, 4.2c y 4.3 de las Biozonas 3 y 4. Bogotá, D.C., Colombia.

**Fundación Humedal La Conejera & EAAB.** 2005a. Fase III del Convenio de Cooperación científica y técnica. Bogotá, D.C., Colombia.

**Fundación Humedal La Conejera & EAAB.** 2005b. Plan de manejo ambiental Humedal La Conejera. Bogotá, D.C., Colombia.

**Fundación Humedal La Conejera & U. S. Fish and Wildlife Service.** 2005. Proyecto: Restauración de hábitats para aves acuáticas migratorias del Humedal La Conejera. Bogotá, D.C., Colombia.

**Fundación Humedal La Conejera; Fondo para la Acción Ambiental & Conservación Internacional Colombia.** 2006. Proyecto: Restauración de hábitats acuáticos en el Humedal La Conejera para la protección de aves endémicas y en peligro de extinción y fortalecimiento de la apropiación social territorial con la comunidad local en Bogotá, D.C., Colombia.

**Gao, X.; Song, J.; Li, N. & Li, X.** 2007. Spatial distribution and diurnal variation of chemical oxygen demand at the beginning of the rainy season in the Changjiang (Yangtze) River Estuary. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 25(3): 254 – 260.

**Gawlik, D.** 2006. The role of wildlife science in wetland ecosystem restoration: Lessons from the Everglades. *Ecological engineering*, 26: 70 – 83.

**Hammer, O; Harper, D & Ryan, P.** 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1):9 pp.

**Hilty, S. & Brown, W.** 1986. A guide to the birds of Colombia. Princeton, N. Y., USA.

**Houlahan, J.; Keddy, P.; Makkay, K. & Findlay, S.** 2006. The effects of adjacent land use on wetland species richness and community composition. *Wetlands*, 26 (1): 79-96.

**Junk, W.; Brown, M.; Campbell, I.; Finlayson, M; Gopal, B.; Ramberg, L. & Warner, B.** 2006. The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: a synthesis. *Aquatic Sciences*, 68: 400 – 414.

**Kawabe, M & Kawabe, M.** 1997. Factors determining chemical oxygen demand in Tokio Bay. *Journal of Oceanography*, 53:443 - 453.

**Keddy, P. & Fraser, L.** 2000. Four general principles for the management and conservation of wetlands in large lakes: The role of water levels, nutrients, competitive hierarchies and centrifugal organization. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 5: 177 – 185.

**Keddy, P. A.; Lee, H. & Wisheu, I.** 1993. Choosing indicators of ecosystem integrity: wetlands as a model system. *Ecological integrity and the management of ecosystem*. (pp. 61-79). En S. Woodley, J. Kay, and G. Francis, eds. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida.

**Kingsford, R.; Jenkins, K. & Porter, J.** 2004. Imposed hydrological stability on lakes in arid Australia and effects on waterbirds. *Ecology*, 85 (9): 2478 – 2492.

**Leland, H. & Fend, S.** 1998. Benthic invertebrate distributions in the San Joaquin River, California, in relation to physical and chemical factors. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55 (5): 1051–1067.

**Liang, S.; Shieh, B. & Fu, Y.** 2002. A structural equation model for physiochemical variables of water, benthic invertebrates and feeding activity of

waterbirds in the Sitsao wetlands of Southern Taiwan. *Zoological Studies*, 41 (4): 441 – 451.

**Liston, S.** 2006. Interactions between nutrient availability and hydroperiod shape macroinvertebrate communities in Florida Everglades marshes. *Hydrobiologia*, 569: 343-357.

**Maheswaran, G. & Rahmani, A.** 2001. Effects of water level changes and wading bird abundance on foraging behavior of blacknecked storks *Ephippiorhynchus asiaticus* in Dudwa National Park, India. *Journal of Biosciences*, 26 (3): 373 – 382.

**Moreno, D.; Pedrocchi, C.; Comín, F.; García, M. & Cabezas, A.** 2007. Creating Wetlands for the improvement of water quality and landscape restoration in semi – arid zones degraded by intensive agricultural use. *Ecological Engineering*, 30: 103 – 111.

**Naranjo, L.; Andrade, G. & Ponce de León, E.** 1999. Humedales Interiores de Colombia: Bases Técnicas para su Conservación y Uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.

**Oja, T.; Alamets, K. & Parnamets, H.** 2005. Modelling bird habitat suitability base on landscape parameters at different scales. *Ecological Indicators*, 5: 314 – 321.

**Paillisson, J.; Reeber, S. & Marion, L.** 2002. Bird assemblages as bio-indicators of water regime management and hunting disturbance in natural wet grasslands. *Biological Conservation*, 106: 115 – 127.

**Pavé, P. & Marchese, M.** 2005. Invertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua en ríos urbanos (Paraná – Entre Ríos, Argentina). *Ecología Austral*, 15: 183 – 197.

**Ramsar.** 2007. Documento Informativo No. 1 ¿Qué son los humedales? Recuperado el 17 de abril de 2008, en: [http://www.ramsar.org/about/about\\_infopack\\_index\\_s.htm](http://www.ramsar.org/about/about_infopack_index_s.htm).

**Renjifo, L., Franco, A., Amaya, J., Kattan, G. & López, B.** 2002. Libro Rojo de aves de Colombia. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.

**Roldán, G.** 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. (pp.31-32). Medellín, Colombia.

**Roldán, G.** 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. (pp. 60-68). Medellín, Colombia.

**Rueda, G.; Arangúren, N.; Bolívar, A.; Canosa, A.; Galvis, G.; Mojica, J.; Donato, J.; Ruíz, E. & Schmidt, U.** 2002. Manual de métodos en Limnología. Asociación Colombiana de Limnología ACL – Limnos. (pp. 41 -45).

**Safran, R.; Isola, C. Colwell, M. & Williams, O.** 1997. Benthic invertebrates at foraging locations of nine waterbird species in managed wetlands of the northern San Joaquin Valley, California. *Wetlands*, 17 (3): 407- 415.

**Schmieder, K.; Werner, S. & Günter, H.** 2006. Submersed macrophytes as a food source for wintering waterbirds at Lake Constance. *Aquatic Botany*. 84: 245 – 250.

**Shimada, T.; Bowman, A. & Ishida, M.** 2000. Effects of flooding on a wetland bird community. *Ecological Research*, 15: 229 – 235.

**Standard Methods for the examination of Water and Wastewater.** 2005. 21 edition.

**StatSoft, Inc.** 1993. Statistica 6.0. Data Analysis Software.

**Simmons, M.; Venhaus, H. & Windhager, S.** 2007. Exploiting the attributes of regional ecosystems for landscape design: The role of ecological restoration in ecological engineering. *Ecological Engineering*, 30: 201 – 205.

**The R Project for Statistical Computing.** 2003. RGui 2.4. Data Analysis Software

**Tong, C.; Feagin, R.; Lu, J; Zhang, X.; Zhu, X.; Wang, W. & He, W.** 2007. Ecosystem service values and restoration in the urban Sanyang wetland of Wenzhou, China. *Ecological Engineering*, 29: 249 – 258.

**Trepel, M.** 2007. Wetland restoration at the Society for Ecological Restoration International Conference in Zaragoza, Spain. *Ecological Engineering*, 30: 91 - 92.

**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. Universidad Nacional de Colombia. (pp. 20-21).

**Wang, Z.; Lee, J.; Cheng, D. & Duan, X.** 2008. Benthic invertebrates investigation in the East River and habitat restoration strategies. *Journal of Hydro-environment Research*, 1-9.

**Wetzel, G.** 1983. Limnology. 2nd edition. Saunders College Publishing, New York.

**Zhou, D.; Gong, H. & Liu, Z.** 2008a. Integrated ecological assessment of biophysical wetland habitat in water catchments: Linking hydro – ecological modeling with geo-information techniques. *Ecological modeling*, 214: 411 – 420.

**Zou, F.; Zhang, H.; Dahmer, T.; Yang, Q.; Cai, J.; Zhang, W. & Liang, C.** 2008b. The effects of benthos and wetland area on shorebird abundance and species richness in coastal mangrove wetlands of Leizhou Peninsula, China. *Forest Ecology and Management*, 255: 3813 – 3818.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos registrados en los Sectores 1, 2 y 3, (A) agosto, (S) septiembre, (O) octubre y (N) noviembre de 2008.

	Sector 1				Sector 2				Sector 3			
	A	S	O	N	A	S	O	N	A	S	O	N
OD (mg/L)	0,5	0,33	0,06	0,48	2,3	2,1	2,5	2,4	2,7	2,8	2,6	2,05
CO2 ( mg)	48,4	61,6	81,4	46,2	8,8	11	26,4	22	44	8,8	37,4	33
Dureza (mg/L CaCO3)	84.0	86.0	84.0	106	80.0	82.0	62.0	96	96.0	94.0	90.0	80
T (°C)	14,8	14,1	16,4	15,3	21	17	18,3	17,1	19,9	16,8	18,4	17,7
Conductividad (us)	339	231	368	355	348	252	336	304	476	337	425	432
pH	6,3	6,56	6,58	6,41	7,8	7,2	7,04	6,91	7,1	7,2	7,03	7,04
Transparencia (cm)	-	-	-	-	1,3	1,4	1,4	0,4	1,6	1,7	1,6	1,6
DQO (mg/L)	82,7	85,9	65,6	84,5	60	78	38,3	48,4	48,9	50,8	71,2	32,7
Nitratos (mg/L N)	0,23	0,43	0,23	0,2	0,3	0,3	0,34	0,28	0,61	1	0,73	0,86
Fosfatos (mg/L PO4)	0,77	1,14	0,75	0,75	0,7	0,9	1,8	1,22	1,9	1,46	1,3	0,96

**Anexo 2.** Listado de especies de aves reportadas en los Sectores 1, 2 y 3. Agosto – Noviembre de 2008.

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Subfamilia</b>	<b>Especie</b>
Anseriformes	Anatidae		<i>Anas discors</i>
			<i>Oxyura jamaicensis</i>
Podicipediformes	Podicipedidae		<i>Podilymbus podiceps</i>
Ciconiformes	Aredeidae		<i>Nycticorax nycticorax</i>
			<i>Butorides striata</i>
			<i>Bubulcus ibis</i>
	Cathartidae		<i>Coragyps atratus</i>
Falconiformes	Pandionidae		<i>Pandion haliaetus</i>
	Accipitridae		<i>Elanus leucurus</i>
Gruiformes	Rallidae		<i>Rallus semiplumbeus</i>
			<i>Porzana carolina</i>
			<i>Gallinula chloropus</i>
			<i>Gallinula melanops</i>
			<i>Porphyrio martinica</i>
			<i>Fulica americana</i>
Charadriiformes	Charadriidae		<i>Vanellus chilensis</i>
	Scolopacidae		<i>Gallinago nobilis</i>
			<i>Tringa solitaria</i>
Columbiformes	Columbidae		<i>Zenaida auriculata</i>
Psittaciformes	Psittacidae		<i>Aratinga pertinax</i>
			<i>Forpus conspicillatus</i>
Cuculiformes	Cuculidae	Crotophaginae	<i>Crotophaga ani</i>
Caprimulgiformes	Caprimulgidae		<i>Caprimulgus longistris</i>
Apodiformes	Trochilidae	Trochilinae	<i>Colibri coruscans</i>
Passeriformes	Furnariidae	Furnariinae	<i>Synallaxis subpudica</i>
	Tyrannidae		<i>Serpophaga cinerea</i>
			<i>Pseudocolopteryx acutipennis</i>
			<i>Empidonax alnorum</i>
			<i>Tyrannus melancholicus</i>
			<i>Pintangus sulphuratus</i>
	Hirundinidae		<i>Orochelidon murina</i>
	Troglodytidae		<i>Troglodytes aedon</i>
	Turdidae		<i>Turdus fuscater</i>
	Thraupidae		<i>Diglossa humeralis</i>
	Emberizidae		<i>Zonotrichia capensis</i>
			<i>Sicalis flaveola</i>
	Icteridae		<i>Icterus chrysater</i>
			<i>Chrysomus icterocephalus</i>
			<i>Molothrus bonariensis</i>
	Fringilidae		<i>Carduelis psaltria</i>

