5 COMPONENTE ECOLÓGICO EN LIMNOLOGÍA

5.1 Introducción

Los humedales tienen una serie de funciones económicas dentro de las cuales se encuentra su utilización en la remoción de nutrientes, la regulación hidrológica y el mantenimiento de la diversidad (Romero et al., 1999). En este sentido, el diagnóstico de un humedal constituye una importante herramienta para la comprensión de su funcionamiento y la formulación de planes para su manejo.

El estudio de la concentración de los nutrientes de los humedales es importante dado que la intensidad del transporte de nutrientes en la masa de agua y desde la cuenca del cuerpo de agua son los responsables de la variabilidad de la producción primaria (Catalan & Fee, 1994). Ecosistemas poco profundos como los humedales, presentan una alta disponibilidad de nutrientes para los productores primarios y una mayor variabilidad como producto de la fuerte variación en la disponibilidad de nutrientes.

Los humedales son ecosistemas dinámicos en el tiempo y sus propiedades físicas son determinadas por procesos endógenos como la sedimentación por fuentes autóctonas y alóctonas, mientras que las propiedades químicas y biológicas están determinadas por la evolución biocenótica y por diferentes procesos de la cuenca de captación.

Los nutrientes que principalmente afectan la productividad primaria son el carbono, nitrógeno y fósforo (Wetzel, 2001). El Carbono presente en el agua generalmente se encuentra en altas concentraciones, tanto en forma de Dióxido de Carbono, Bicarbonatos y Carbonatos; esta variable que depende del pH, generalmente no es una variable limitante en la fotosíntesis. El Carbono llega a ser crítico solamente en aguas extremadamente ácidas o alcalinas (Margalef, 1983). Las variables que principalmente condicionan la fotosíntesis son la luz y las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo. El Fósforo que entra en los sistemas lénticos se deposita en los sedimentos y algunas fracciones retornan, cuando el contacto entre el agua y el sedimento es reductor (Margalef, 1983). El Nitrógeno en cambio, se encuentra presente en aminoácidos que forman proteínas y ácidos nucleicos; la descomposición de los últimos, produce su liberación en el agua en forma de Amonio (Esteves, 1998).

Además de esta compleja interacción de factores físicos químicos y biológicos, los humedales están sometidos a alteraciones antrópicas que afectan drásticamente su funcionamiento. La modificación de los flujos de entradas, cambios en la

configuración de canales o de la cubeta, aumento o disminución en las carga de nutrientes, sólidos, gases y el ingreso de nuevas especies, son los cambios más frecuentes (Lewis 1998) en los humedales que afectan su calidad. En los humedales, la predominancia litoral sobre la estructuración vertical del ecosistema puede magnificar el efecto de estos factores forzantes. Así, la importancia relativa de la profundidad sobre el eje horizontal del sistema, juega un papel importante en la dinámica de los nutrientes, al aumentar su disponibilidad y hacer más complejas las interacciones espacial y temporalmente.

En este sentido el objetivo de este componente fue realizar un diagnóstico limnológico Humedal Capellanía y establecer los principales factores tensionantes que afectan la calidad del agua.

5.2 Materiales y métodos

Se realizó una revisión de la información física, química y biológica existente para el Humedal Capellanía e información en la cual se detalla espacialmente la influencia de vertimientos.

Para complementar la información recopilada, se realizaron dos muestreos limnológicos, uno en el periodo de sequía (febrero 21 de 2006) y otro en el período de lluvias (junio 6 de 2006). En todos los casos los muestreos fueron realizados entre las 10:00 AM y las 2:00 PM. Simultáneamente durante los muestreos, se tomaron muestras de agua para analizar la composición física y química.

Con la información obtenida se determinaron las variaciones temporales de las comunidades y su relación con la calidad de agua del humedal. Se utilizaron como descriptores la composición y la abundancia de las comunidades estudiadas.

5.2.1 Fase de campo

Durante los días 21 de febrero y 7 de junio de 2006, se realizaron salidas de campo al Humedal Capellanía. Un total de cuatro puntos fueron muestreados y en ellos se tomaron muestras representativas para estudiar la composición y la estructura de las comunidades de fitoplancton, perifiton, zooplancton y macroinvertebrados. La georrefenciación y características biotipológicas de los puntos se presenta en el Cuadro No. 5.1. El punto No. 4 debió ser cambiado durante el segundo muestreo dado que por el grado de anegación en algunos sitios fue imposible acceder al mismo punto.

Cuadro No. 5.1

Ubicación general y características de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Coordenadas	Tipo de vegetación dominante
P1	4° 40´50.9" N 74° 07' 57.9" O	*Schoenoplectus californicus*
P2	4° 40´23.1" N 74° 07' 55.7" O	*Typha* sp. *Lemna* spp.
P3	4° 40´25.7" N 74° 07' 53.9" O	*Typha* sp. *Schonoplectus californicus*
P4 durante el primer muestreo	4° 40´30.7" N 74° 07' 53.2" O	*Schoenoplectus californicus* *Hydrocotile* sp. *Pennisetum clanddestinum* *Polygonum* sp.
P4 durante el segundo muestreo	4° 40´35.34" N 74° 08' 8.98" O	*Schoenoplectus californicus* *Limnobium* sp.

Simultáneamente, personal de Ingeniería Especializada (primer muestreo) y Laboratorio del Acueducto (segundo muestreo) tomó muestras de agua para realizar análisis en laboratorio de algunos parámetros físicos y químicos siguiendo las recomendaciones de APHA (1998) y los protocolos del laboratorio de aguas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Para estudiar la comunidad fitoplanctónica, se tomaron muestras de agua de 200ml a 500ml en los puntos con zonas de aguas libres. Las muestras fueron preservadas con lugol al 1%.

Para estudiar las comunidades zooplanctónicas se filtraron muestras subsuperficales de agua (de 1 a 10 litros) con una red de 40µ. Las muestras fueron preservadas con solución transeau.

Para estudiar la comunidad de perifiton en el subsistema litoral se tomaron muestras mediante estrujamiento de la vegetación palustre y recolección de sedimentos. Las muestras fueron preservadas con formalina al 1%.

Para estudiar las comunidades de macroinvertebrados asociados a las macrófitas se utilizó una red de mano de 900 cm^2. Las muestras se preservaron con alcohol al 97% y ácido acético.

5.2.2 Fase de laboratorio

La cuantificación del fitoplancton se realizó por el método de sedimentación y enumeración con microscopio invertido (Lund *et al.* 1958). El perifiton fue cuantificado en microscopio óptico contando 400 células del morfotipo dominante.

Las muestras fueron determinadas al máximo nivel de determinación posible de acuerdo con el estado de conocimiento regional de los grupos estudiados. Para determinar las muestras de fitoplancton y perifiton se utilizaron las claves de Bourelly (1966, 1968, 1970), Bicudo & Bicudo (1970), Coesel (1983, 1985, 1987), Comas (1989a, 1989b, 1990, 1992, 1996), González (1995), Komárek & Fott (1983), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988), Tell & Conforti (1986), entre otros.

Las muestras de zooplancton fueron cuantificadas en microscopio óptico mediante cámaras de 1ml y mediante estereoscopio. Los individuos fueron identificados con ayuda de las claves de Elmoor-Loureiro, (1997), Gaviria (1998), Koste, (1978), Lieder (1996), Pennak (1978), Reddy (1994), Scourfield & Harding (1966), entre otras.

Las muestras de macroinvertebrados fueron limpiadas y cuantificadas en estereoscopio. Los individuos fueron identificados mediante las claves de Merritt & Cummins (1996), Roldan (1988), Borror *et al*. (1981), Roldan (1985), Pennak (1989), Thorp & Covich (1991), entre otros.

5.2.3 Análisis estadístico y modelación

Para el análisis de los resultados obtenidos tanto físicos como químicos y biológicos, se realizó una exploración preliminar de los datos con estadística descriptiva (cálculo de medias, medianas, máximos, mínimos, desviación estándar, coeficientes de variación, normalidad).

Con los datos obtenidos en el monitoreo se realizó un análisis espacial y temporal de la composición y estructura de las comunidades. Para esto, se utilizaron diferentes herramientas de análisis numérico. Con el análisis de esta información se estableció cual es el papel de las variaciones del ambiente físico y químico sobre la dinámica temporal y espacial de las comunidades estudiadas.

Un Análisis de Componentes Principales (ACP) se utilizó para establecer patrones físicos y químicos en los puntos de muestreo a partir de las variables cuantificadas en campo y laboratorio. Las variables incluidas en el análisis fueron transformadas

(Log x+1) y ajustadas a desviación estándar. Un Análisis de Correspondencia en su versión destendida (DECORANA ó DCA) fue utilizado para observar patrones en la distribución de los organismos. Este análisis consiste en la agrupación de las unidades muestreales y las especies a partir de su peso relativo en el conjunto de datos. La versión destendida es utilizada para corregir la correlación de los dos primeros ejes del modelo. Los ejes obtenidos en el modelo representan gradientes ambientales latentes que generan la agrupación de conjuntos de especies (ter BraaK *et al.* 1995, 1998). Los rótulos utilizados en los gráficos derivados de estos análisis se presentan en el Apéndice 2.

5.3 Resultados: Análisis de parámetros físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos.

5.3.1 Análisis de los parámetros físicos y químicos y análisis de la calidad del agua

El Humedal Capellanía presenta un bajo número de estudios sobre la calidad física y química del agua. Muestreos un poco más detallados fueron realizados en los principales afluentes del humedal durante diciembre de 2004, enero y diciembre de 2005 (Cuadro No. 5.2). Estos datos se encuentran consignados en los informes de Acueducto (2005a, 2005b) y Ecology and Environment & Hidromecánicas (1998) (Ver apendice 5.1).

Los resultados indican que los afluentes de humedal presentan una alta carga de sólidos suspendidos, fenoles y nutrientes. En general las aguas que entran al humedal son de tipo residual diluida con una influencia de vertimientos industriales.

Los resultados obtenidos durante el muestreo de 2006 indican que las zonas del humedal donde se presenta una mayor cobertura de *Typha* sp presentan una tendencia a valores un poco más bajos de nutrientes (Cuadro No. 5.3).

Los puntos 3 y 4 presentaron durante el segundo muestreo valores de plomo por encima de los establecidos en el decreto 1594 de 1984 para guas destinadas a preservación. En general todo el humedal presenta valores de tensoactivos y amonio que están por encima de las condiciones ideales para un ecosistema destinado a la preservación.

Los valores de coliformes totales y fecales son altos en todos los puntos del humedal y se presentó una tendencia a valores más altos durante el muestreo del período de lluvias.

La diferencia espacial de la calidad del agua y su relación con las comunidades es explicada por que las zonas que reciben directamente aguas de los canales afluentes están principalmente dominadas por *Schoenoplectus californicus*. Así mismo, la presencia de *Lemna* sp. en las zonas donde domina *Typha* sp., podría favorecer una mejor calidad del agua, dada su alta capacidad para remover nutrientes y para mantener una columna más oxigenada. No obstante, la definición del papel de esta especie en el mejoramiento de la calidad del agua sólo puede ser obtenida mediante un estudio más detallado.

Cuadro No. 5.2

Datos químicos registrados en tres de los principales afluentes del Humedal Capellanía durante el 20/12/04. Otros datos recopilados y su ubicación espacial se presentan en el Apéndice 5.1 (según la disponibilidad de la información)

Parámetro	Límite de Detección	Punto 1	Punto 2	Punto 3
pH	NA	6.96	6.73	6.86
TEMPERATURA AGUA	NA	18.7	**21.1**	17.3
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	< 0,5 mg/L	13	50	**300**
CONDUCTIVIDAD	NA	**1000**	300	430
ACEITES Y GRASAS	10 mg/L	**10**	ND	ND
ALCALINIDAD	5 mg/L	13	139	**205**
AMONIO	0,3 mg/L	**10.3**	1.9	5.0
CADMIO	0,2 µg/L	0.0008	0.0018	**0.0026**
CIANURO	0,001 mg/L	**0.003**	0.002	0.01
COBRE	1 µg/L	**0.033**	0.002	0.003
CARBONO ORGANICO TOTAL	0,5 mg/L	**74.6**	35.4	37.8
CROMO TOTAL	1 µg/L	0.011	0.016	**0.034**
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	2 mg/L	ND	45	**416**
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	5 mg/L	184	417	**784**
FENOLES TOTALES	0,0001 mg/L	**0.13**	0.05	0.06
FOSFORO SOLUBLE	0,01 mg/L	1.18	0.36	**2.08**
FOSFORO TOTAL	0,01 mg/L	4.07	**4.11**	3.37
NIQUEL	1 µg/L	0.006	**0.01**	**0.01**
NITRATOS	0,01 mg/L	0.49	0.47	**1.27**
NITRITOS	0,001 mg/L	0.001	0.002	**0.008**
NITROGENO KJELHALD TOTAL	0,3 mg/L	**17.4**	10.8	8.7
OXIGENO DISUELTO	0,1 mg/L	3.3	**3.6**	ND
PLOMO	3 µg/L	ND	ND	0.001
TENSOACTIVOS SAAM	0,025 mg/L	**0.82**	0.29	0.56
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	1 mg/L	528	304	**1075**
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1 mg/L	157	380	**1140**
SÓLIDOS TOTALES	1 mg/L	685	684	**2215**
SULFUROS	0,1 mg/L	2.3	3.5	**8.8**

Parámetro	Límite de Detección	Punto 1	Punto 2	Punto 3
TURBIEDAD	0,02 UNT	110	200	**1500**
ZINC	0,02 µg/L	0.3591	0.0001	0.165
BTX	0,00004 mg/L	0.0208	0.0186	0.0112

Cuadro No. 5.3
Datos químicos registrados en el Humedal Capellanía durante el muestreo de 2006

		21/02/2006					07/06/2006				
Parámetro	Límite de Detección	P1	P2	P3	P4	Promedio	P1	P2	P3	P4	Promedio
ACEITES Y GRASAS	10 mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ALCALINIDAD	5 mg/L	206	277	178	209	217.5	66	250	292	102	177.5
AMONIO	0,3 mg/L	13.2	0.8	0.6	14.6	7.3	5.9	0.5	0.5	0.4	1.8
COBRE	1 µg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0.0057	0.0046	0.007	0.0123	0.01
CARBONO INORGANICO TOTAL	0,5 mg/L	54.2	69.3	50.4	49	55.7	37.9	75.5	51.6	28.3	48.3
CARBONO ORGANICO TOTAL	0,5 mg/L	72.5	72.6	43.4	28.7	54.3	27.3	56.7	47.3	63.6	48.7
COLIFORMES TOTALES	<1 /100mL	101000	150	12997	24890	34759	$816.4x10^7$	8664	41060	70000	$2x10^9$
E. coli	<1 /100mL	15800	ND	84	448	4080	$12.3 x10^7$	10	200	100	$3x10^7$
CROMO TOTAL	1 µg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0.0139	0.0126	0.016	0.0148	0.014
DBO	2 mg/L	93	19	25	8	36.3	8	10	8	8	8.5
DQO	5 mg/L	323	407	203	128	265.3	95	112	93	258	139.5
DUREZA TOTAL	1mg CaCO3/L	70	98	69	74	77.8	185	348	334	161	257
Fe TOTAL	mg Fe/L	8.098	6	3.306	1.783	4.8	4.9005	4.3126	1.6999	31.946	10.7
FOSFORO SOLUBLE	0,01 mg/L	1.01	0.35	0.9	1.06	0.83	0.09	0.07	0.35	0.07	0.15
FOSFORO TOTAL	0,01 mg/L	2.67	1.79	1.75	1.4	1.90	0.88	0.44	0.74	0.08	0.54
NITRATOS	0,01 mg/L	0.32	ND	0.64	0.35	0.44	0.27	0.56	0.63	0.35	0.45
NITRITOS	0,001 mg/L	0.0034	0.03	0.005	0.009	0.01	0.004	0.005	0.005	0.006	0.005
NITROGENO KJELHALD TOTAL	0,3 mg/L	29.9	8.2	10.2	14.5	15.7	7.4	2.2	3.7	7	5.1
OXIGENO DISUELTO	0,1 mg/L	1.4	ND	ND	0.3	0.48	0.5	0.2	ND	2.4	0.8
PLOMO	3 µg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0.009	0.0069	0.0123	0.0272	0.01
TENSOACTIVOS SAAM	0,025 mg/L	0.569	0.065	0.185	0.776	0.40	0.881	0.436	0.405	0.349	0.52
SDT	1 mg/L	181	498	182	283	286	224	441	363	122	287.5
SST	1 mg/L	433	194	287	50	241	62	40	74	516	173
SÓLIDOS TOTALES	1 mg/L	614	692	469	333	527	286	481	437	638	460.5
SULFATOS	1 mg/L	19	7	ND	5	8	11	ND	ND	ND	3.5
TURBIEDAD	0,02 UNT	150	65	2	17	58.5	25	14	30	200	67.3

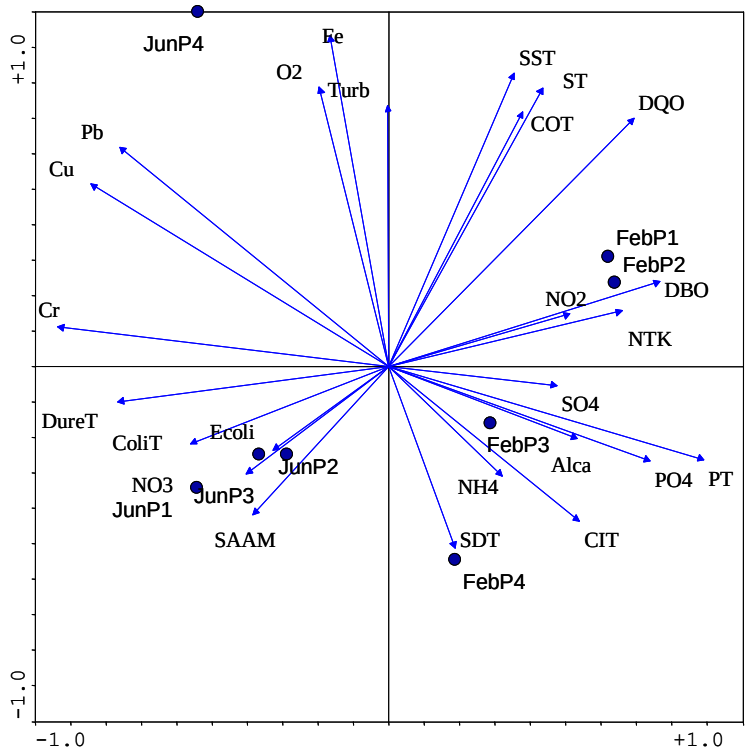
Mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) se observó que las diferencias más evidentes entre los puntos de muestreo ocurren entre P4 del segundo muestreo y los demás puntos de muestreo (Figura No. 5.1). Los puntos 1, 2 y 3 presentaron caracteristicas más semejantes, mientras que el punto 4 se caracterizó por valores más altos de sólidos disueltos durante el primer muestreo y

una mayor concentración de metales durante el segundo muestreo (como se explicó en la metodología en punto 4 no pudo ser muestreado en el mismo sitio debido a la inundación de las zonas de acceso).

En general la variabilidad entre los diferentes puntos es muy alta en las dos fechas muestreadas. El ACP sustenta que durante el período de lluvias se presentó una menor concentración de nurientes y sólidos suspendidos, pero una concentración de coliformes más alta.

Figura No. 5.1

Gráfico obtenido del Análisis de Componentes principales realizado para los datos físicos y químicos. (Eje 1: 32% (λ=0.32), eje 2: 25% (λ=0.25)).



5.3.2 <u>Análisis de los parámetros biológicos: Estructura de las comunidades perifíticas</u>

La comunidad de algas perifíticas estuvo dominada por algas de los grupos Chlorophyceae y Bacillariophyceae (Figura No. 5.2). La importancia relativa de los grandes grupos de algas fue muy variable entre los puntos y entre los dos muestreo realizados.

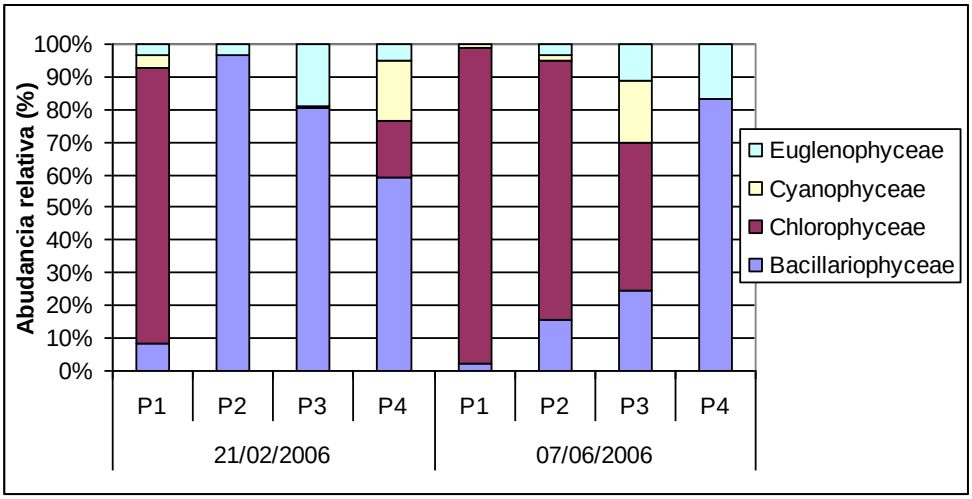
El punto 1 presentó una menor variación entre los dos muestreos y en el dominaron algas del grupo Chlorophyceae. La especie de Chlorophyceae

dominante en este punto fue *Spirogyra* sp, esta especie puede presentar una alta densidad en ambientes con una columna de agua poco desarrollada y con aguas ricas en nutrientes. Este resultado es coherente con la ubicación del P1, muy cercana a la llegada de un canal colector de aguas lluvias pero que tienen características de agua residual (llamado punto HCP01 en el apéndice 5.1), en el cual se presenta una baja profundida y las comunidades algales sólo se pueden desarrollar en la superficie de los sedimentos.

La composición e importancia relativa de cada uno de los principales grupos algales se presenta en la Figura No. 5.2. Los grupos con un mayor número de especies fueron Bacillariophycae y Euglenophyceae. La importancia de estos dos grupos con respecto al número de especies indica el mantenimiento de aguas ricas en materia orgánica, con una baja transparencia y un ambiente con baja concentración de oxígeno.

Figura No. 5.2

Abundancia relativa de los principales grupos de algas perifíticas en el Humedal Capellanía



Cuadro No. 5.4

Abundancia relativa de las especies de algas perifíticas encontradas en el Humedal Capellanía

		21/02/2006				07/06/2006			
		P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Bacillariophyceae	*Gomphonema parvulum*	4.1	5.6	1.5	41.4	1.3	0.7	2.7	11.1
Bacillariophyceae	*Nitzschia palea*	0.6	4.2	0.3	0.2	0.2	1.4	0.0	5.6
Chlorophyceae	*Spyrogyra* sp	84.4	0.0	0.0	0.0	95.1	75.4	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Nitzschia* sp1	0.2	0.0	0.0	15.6	0.4	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Stauroneis* sp	0.6	69.5	76.5	0.3	0.2	4.9	20.5	44.4
Euglenophyceae	*Trachelomonas volvocina*	0.7	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	5.5	5.6

		21/02/2006				07/06/2006			
Bacillariophyceae	*Pinnularia* sp1	1.7	0.0	0.0	0.5	0.4	4.9	1.4	5.6
Euglenophyceae	*Trachelomonas volvocinopsis*	1.5	1.4	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Pinnularia* sp2	0.2	2.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Euglenophyceae	*Euglena* sp	0.4	1.9	1.2	4.6	0.0	3.5	1.4	11.1
Bacillariophyceae	*Pinnularia* sp3	0.2	2.3	0.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyanophyceae	*Oscillatoria* sp	4.3	0.0	0.0	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Euglenophyceae	*Cryptoglena pigra*	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Euglenophyceae	*Phacus* sp1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	1.4	0.0
Bacillariophyceae	*Gomphonema olivaceum*	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Cyclotella* sp1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Melosira varians*	0.2	1.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Tabellaria sp*	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Stauroneis* sp2	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bacillariophyceae	*Navicula sp1*	0.0	2.8	0.3	0.2	0.0	1.4	0.0	5.6
Bacillariophyceae	*Hantzschia* sp1	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	5.6
Bacillariophyceae	*Surirella* sp1	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
Euglenophyceae	*Trachelomonas hispida*	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
Euglenophyceae	*Trachelomonas armata*	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Euglenophyceae	*Trachelomonas oblonga*	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
Bacillariophyceae	*Cocconeis placentula*	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chlorophyceae	*Closterium molliniferum*	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
Bacillariophyceae	*Navicula cf pupula*	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Chlorophyceae	*Oedegonium* sp1	0.0	0.0	0.0	2.5	1.5	4.2	0.0	0.0
Chlorophyceae	*Stigeoclonium* sp1	0.0	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Cyanophyceae	*Pseudanabaena* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.4	1.4	0.0
Bacillariophyceae	*Frustulia* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
Chlorophyceae	*Ankistrodesmus* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.8	0.0
Cyanophyceae	*Anabaena* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0
Cyanophyceae	*Merismopedia* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0

La diversidad ecológica de la comunidad fue más baja en P1, con respecto a los demás sitios de muestreo (Cuadro No. 5.5). Los valores de riqueza no siguen el mismo comportamiento de la diversidad ecológica. En general tanto la diversidad ecológica, la equitabilidad, la dominancia y el número de especies son muy variables de un período al otro y sugieren grandes diferencias en la estructura de la comunidad entre sitios. Es importante aclarar que estos resultados también pueden ser derivados de la alta heterogeneidad que suelen tener sistemas tan fragmentados como los humedales y por lo tanto resultado de un bajo esfuerzo de muestreo.

Cuadro No. 5.5
Diversidad de la comunidad perifítica del Humedal Capellanía

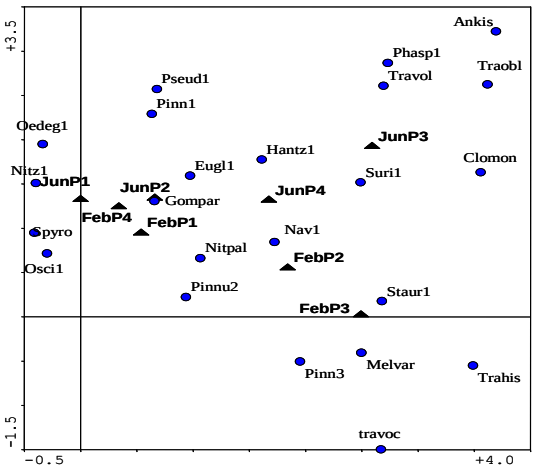
		Diversidad de Shannon	Equitabilidad de Pielou	Dominancia Simpson	Riqueza de especies
21/02/2006	P1	0.77	0.27	1.39	18
	P2	1.32	0.53	2.03	12
	P3	0.90	0.35	1.65	13
	P4	1.63	0.62	3.93	14
07/06/2006	P1	0.28	0.13	1.11	9
	P2	1.07	0.45	1.73	11
	P3	1.78	0.69	3.90	13
	P4	1.81	0.82	4.15	9

La ordenación de la comunidad mediante un Análisis de Correspondencia Desténdido también soporta esta alta diferenciación entre puntos de muestreo y períodos (Figura No. 5.3). Pese a que los sustratos y puntos de muestreo son los mismos en los dos períodos, las comunidades varían significativamente entre períodos y no muestran algún tipo de agrupación relacionado con el tipo de vegetación dominante.

De acuerdo con los trabajos de Pinilla (2000), Diaz-Quirós & Rivera-Rondón (2004) y Conservación Internacional & Acueducto (2005), las especies encontradas en el humedal indican condiciones eutróficas.

Figura No. 5.3

Análisis de Correspondencia destendido realizado para la comunidad de algas perifíticas del Humedal de Capellanía (eje 1: 30% (λ=0.5), eje 2: 11% (λ=0.19)).



5.3.3 Análisis de los parámetros biológicos: Estructura de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo dominada por organismos de los grupos Díptera, Gastropoda y Oligochaeta (Figura No. 5.4). La importancia relativa de los grandes grupos de macroinvertebrados fue muy variable entre los puntos y entre los dos muestreo realizados.

En general la comunidad fue muy semejante entre los diferentes puntos durante el primer muestreo, pero se observan algunas diferencias como la presencia de oligoquetos en P1 que indican una menor calidad del agua en este punto. Durante el segundo muestreo, los diferentes sitios presentaron diferencias más grandes en los grupos dominantes y la importancia de oligoquetos en P1 es más alta. Si bien los datos químicos no muestran diferencias entre estos puntos de muestreo, las comunidades biológicas parecen indicar diferencias. Esta aparente incongruencia es debida a que la caracterización química puede estar reflejando circunstacias del ambiente a escala de unos pocos días, mientras que las comunidades de macroinvertebrados responden a factores que operan a escala de semanas.

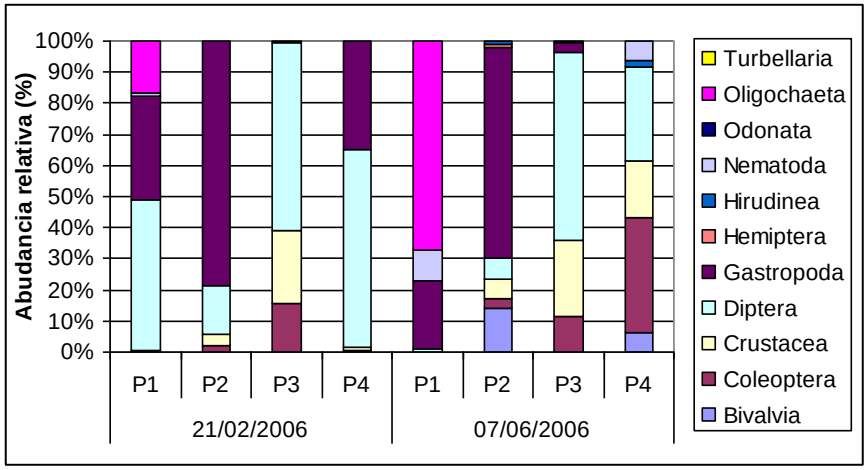
Estos resultados sugieren que las entradas de aguas por el colector cercano al punto 1, podrían tener una fuerte influencia sobre las comunidades biológicas y que en este punto se presenta una baja calidad del agua. Otro factor que podría explicar la presencia de oligoquetos es que la dominancia de juncos reduce la diversidad de fuentes de carbono por lo que la comunidad se simplifica.

La composición e importancia relativa de cada uno de los principales grupos de macroinvertebrados se presenta en el
Cuadro No. **5.6**. Los grupos con un mayor número de especies fueron Diptera y Coleoptera. La aparición de organismos de grupo Bivalvia durante el segundo muestreo, sugiere un aumento en las concentraciones de oxígeno.

En general estos resultados indican que durante el período de lluvias los puntos P2, P3, y P4 presentaron una mejor calidad del agua y que el P1 presentó durante los dos muestreos aguas con valores altos de materia orgánica.

Figura No. 5.4

Abundancia relativa de los principales grupos macroinvertebrados bentónicos en el Humedal Capellanía



Cuadro No. 5.6
Abundancia relativa de las especies de macroinvertebrados bentónicos en el Humedal Capellanía

			21/02/2006				07/06/2006			
Taxón Superior	**Familia**	**Genero**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Turbellaria	Planariidae		0	0	1	0	**0**	**0**	**0**	**0**
Oligochaeta			95	0	0	0	70	0	0	0
Díptera	Chironomidae	Orthocladiinae	273	60	227	115	0	4	85	24
Diptera	Chironomidae	Chironominae	0	0	5	1	0	0	0	9
Diptera	Culicidae	*Culex* sp	0	0	0	1	0	0	0	0
Díptera	Tipulidae	*Tipula* sp	1	0	0	3	1	0	0	6
Diptera	Ephydridae	*Notiphila* sp	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Psychodidae	*Psychoda* sp	2	0	0	2	0	0	0	0
Diptera	Muscidae		0	0	0	3	0	0	0	0
Coleoptera	Dysticidae	*Liodessus* sp (larva)	1	4	0	0	0	1	4	12
Coleoptera	Dysticidae	*Liodessus* sp (adullto)	0	3	0	0	0	0	2	12
Coleoptera	Dysticidae	*Ranthus* sp	0	0	2	0	0	0	0	0
Coleoptera	Dysticidae	(adulto)	0	0	0	1	0	0	0	0
Coleoptera	Scirtidae	*Cyphon* sp	0	0	57	0	0	0	10	18
Coleoptera	Hidrophilidae	*Tropisternus* sp	1	0	0	0	0	2	0	0
Gastropoda	Physidae	*Physa* sp	190	298	1	69	23	63	4	0
Crustacea	Hyallelidae	*Hyalella* sp	0	14	90	2	0	6	34	24
Nematoda			5	0	0	0	10	0	0	8
Hirudinea	Glossiphoniidae	*Helobdella* sp	0	0	0	0	0	1	0	3
Odonata	Aeshnidae	*Rionaeshna* sp	0	0	0	0	0	0	1	0
Diptera	Ephydridae	*Brachydeutera* sp	0	0	0	0	0	2	0	0
Hemiptera	Notonectidae	*Notonecta* sp	0	0	0	0	0	1	0	0
Coleoptera	Staphylinidae		0	0	0	0	0	0	0	6
Bivalvia	Sphaeridae		0	0	0	0	0	13	0	8

Total	569	379	383	197	104	93	140	130

El análisis de la diversidad ecológica de la comunidad, indica que los valores más altos se presentaron durante el segundo muestreo (Cuadro No. 5.7). Si bien los valores de diversidad ecológica y dominancia de simpson presentaron una tendencia a ser más bajos en P1, no se observó un patrón que permita asociar la diversidad a la calidad del agua de los diferentes puntos.

Cuadro No. 5.7
Diversidad de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Humedal Capellanía

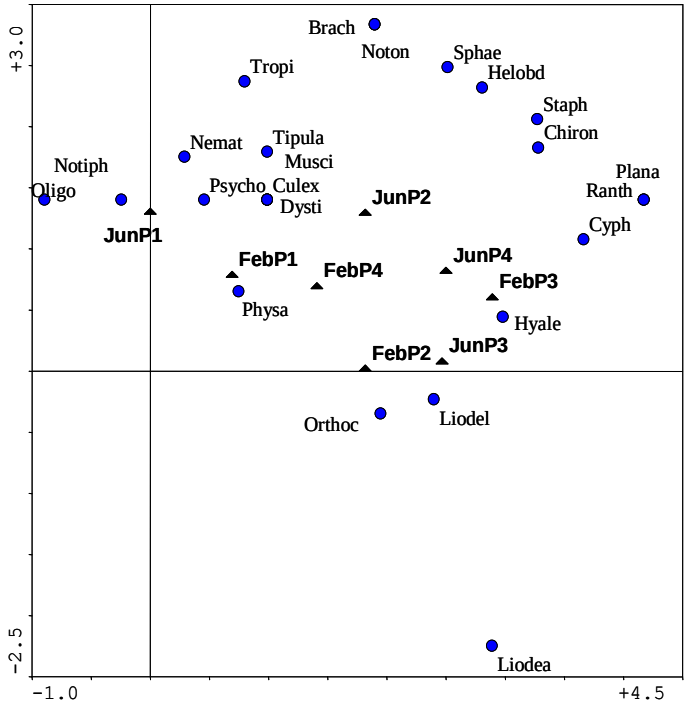
		Diversidad de Shannon	Equitabilidad de Pielou	Dominancia Simpson	Total individuos	Riqueza de especies
21/02/2006	P1	1.12	0.51	2.71	569	9
	P2	0.69	0.43	1.55	379	5
	P3	1.05	0.54	2.33	383	7
	P4	0.98	0.45	2.15	197	9
07/06/2006	P1	0.87	0.63	1.96	104	4
	P2	1.16	0.53	2.06	93	9
	P3	1.13	0.58	2.30	140	7
	P4	2.24	0.93	8.23	130	11

Mediante un Análisis de Correspondencia Desténdido se observó que las diferencias más evidentes ocurren entre P1 y los demás puntos de muestreo (Figura No. 5.5). En general el tipo de vegetación dominante no parece generar ningún tipo de ordenación entre las comunidades.

De acuerdo con los indicadores ecológicos preliminares propuestos por Conservación Internacional & Acueducto (2005), las especies encontradas en el humedal indican mesotrofía, pero específicamente la dominancia de Oligoquetos y *Notiphila* sp en el Punto 1 indican condiciones eutróficas y un ambiente con características extremas.

Figura No. 5.5

Análisis de Correspondencia destendido realizado para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Humedal Capellanía (eje 1: 33% (λ=0.49), eje 2: 13% (λ=0.2)).



5.3.4 <u>Análisis de los parámetros biológicos: Variaciones temporales en las comunidades fitoplanctónicas</u>

La comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por algas de los grupos Cyanophyceae y Chlorophyceae (Figura No. 5.6). La importancia relativa de los grandes grupos de algas fue relativamente homogénea entre los diferentes sitios y entre los dos muestreo.

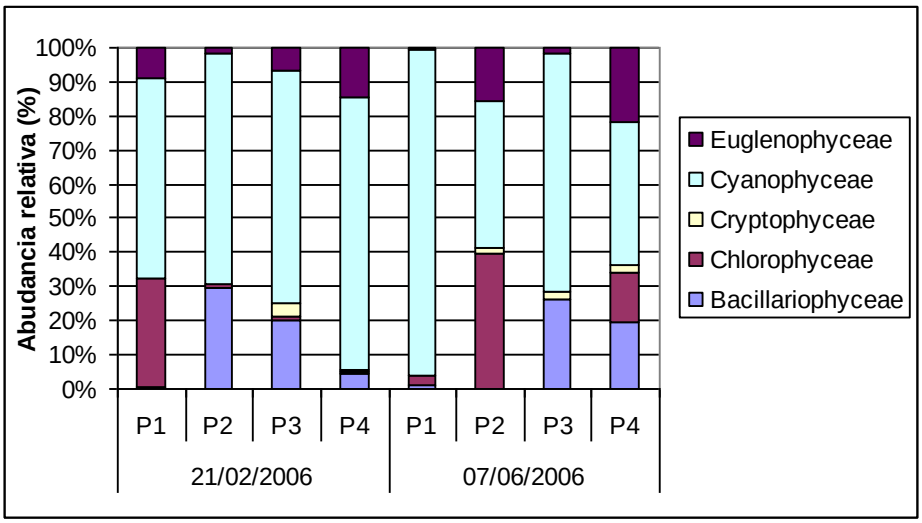
Durante los dos muestreo la Cyanophyceae dominante fue *Synechococcus* sp y la Chlorophyceae dominante fue *Spirogyra* sp. Estas especies sugieren condiciones de baja luminosidad y un bajo desarrollo de agua libres, es decir el humedal presenta una alta colmatación, baja profundidad y un elevado desarrollo de comunidades vegetales.

La composición e importancia relativa de cada uno de los principales grupos algales se presenta en el Cuadro No. 5.8. Los grupos con un mayor número de especies fueron Bacillariophycae y Euglenophyceae. Al igual que en las

comunidades perifíticas, el mayor número de especies de estos grupos indica el mantenimiento de aguas ricas en materia orgánica, con una baja transparencia y un ambiente con baja concentración de oxígeno.

Figura No. 5.6

Abundancia relativa de los principales grupos algales del fitoplancton en el Humedal Capellanía



Cuadro No. 5.8

Densidad fitoplanctónica (cel/ml) en el Humedal Capellanía

	21/02/2006				07/06/2006			
Especie \ muestra	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Euglena sp	272.0	22.3	55.3	150.2	6.3	54.5	3.3	2.3
Trachelomonas oblonga	83.0	5.0	23.7	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0
Trachelomonas volvocinopsis	129.1	0.0	0.0	14.2	19.0	10.2	0.8	1.8
Cryptomonas sp	9.2	2.5	87.0	6.1	0.0	23.8	4.2	0.0
Spyrogyra sp	1853.3	0.0	0.0	0.0	183.4	1266.2	0.0	0.0
Gomphonema parvulum	13.8	0.0	2.6	50.7	12.6	0.0	1.7	0.0
Phacus curvicauda	9.2	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trachelomonas sp1	23.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cryptoglena pigra	13.8	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Stauroneis sp	4.6	0.0	458.5	0.0	0.0	0.0	47.7	0.9
Oscillatoria sp	470.2	49.5	39.5	91.3	3826.2	0.0	45.2	0.0
Closterium molliniferum	0.0	17.3	31.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.9
Pinnularia sp1	0.0	14.9	2.6	0.0	12.6	0.0	2.5	1.8
Stauroneis sp2	0.0	490.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
Anabaena sp	0.0	264.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fragilaria sp	0.0	2.5	0.0	0.0	63.2	0.0	0.0	0.0

	21/02/2006				07/06/2006			
Frustulia sp	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gomphonema sp1	0.0	2.5	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nitzschia palea	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Merismopedia sp	0.0	0.0	345.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trachelomonas hispida	0.0	0.0	50.1	2.0	0.0	13.6	0.0	0.0
Pseudoanabaena sp	0.0	0.0	50.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Euglena acus	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trachelomonas armata	0.0	0.0	5.3	0.0	6.3	10.2	0.0	0.0
Pseudoanabaena sp2	0.0	0.0	0.0	272.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Navicula sp	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.8	0.0
Closterium sp1	0.0	0.0	0.0	2.0	31.6	3.4	0.0	0.0
Synechococcus sp.	2881.4	883.7	1167.3	602.8	4161.3	1385.3	107.1	7.8
Trachelomonas volvocina	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	68.1	0.0	0.0
Euglena sp2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	337.0	0.0	0.0
Phacus sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0
Phacus longicauda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0
Cryptomonas sp2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.2	0.0	0.5
Ulotrix sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0
Hantzschia sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
Cyclotella sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
Surirella sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
Pinnularia sp2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0
Nitzschia sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
Scenedesmus sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8
Total	**5762.8**	**1767.4**	**2334.7**	**1205.5**	**8335.3**	**3226.7**	**218.3**	**18.8**

La diversidad ecológica de la comunidad fitoplanctónica y la riqueza de especies presentó una tendencia a valores más bajos en P1 (Cuadro No. 5.9). En general tanto la diversidad ecológica, la equitabilidad, la dominancia y el número de especies del fitoplancton indican una diferenciación en la estructura de la comunidad en el P1 con respecto a los demás sitios.

Cuadro No. 5.9
Diversidad de la comunidad fitoplanctónica del Humedal Capellanía

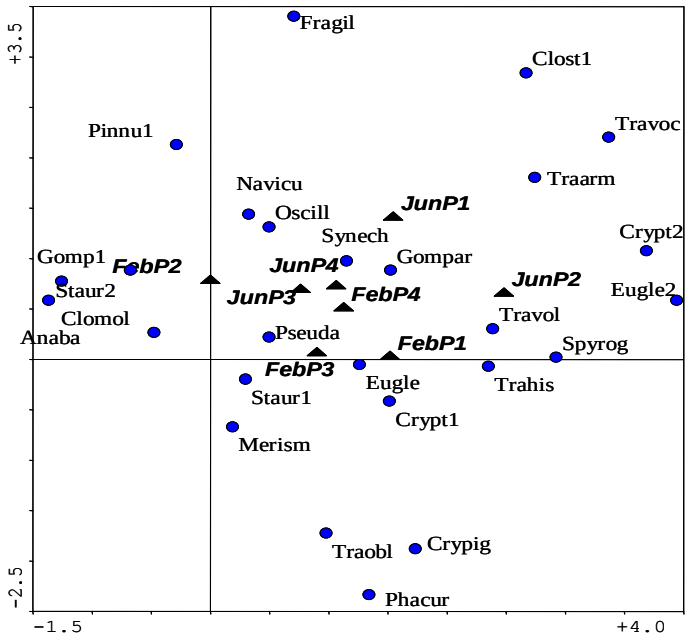
		Diversidad de Shannon	Equitabilidad de Pielou	Dominancia Simpson	Densidad (cel/ml)	Riqueza de especies
21/02/2006	**P1**	1.28	0.52	2.75	5763	12
	P2	1.31	0.51	2.85	1767	13
	P3	1.57	0.58	3.19	2335	15
	P4	1.44	0.56	3.09	1206	13
07/06/2006	**P1**	0.90	0.38	2.17	8335	11
	P2	1.31	0.48	2.86	3227	15
	P3	1.40	0.53	3.01	218	14
	P4	1.84	0.84	4.48	19	9

No obstante, a pesar de que la diversidad ecológica muestra una diferencia entre los puntos, un Análisis de Correspondencia Desténdido no permite observar un patrón espacial o temporal (Figura No. 5.7). Las comunidades varían significativamente entre períodos y no muestras algún tipo de agrupación relacionado con el tipo de vegetación dominante.

De acuerdo con los trabajos de Pinilla (2000), Diaz-Quirós & Rivera-Rondón (2004) y Conservación Internacional & Acueducto (2005), las especies encontradas en el humedal indican condiciones eutróficas y una alta concentración de materia orgánica.

Figura No. 5.7

Análisis de Correspondencia destendido realizado para el fitoplancton del Humedal Capellanía (eje 1: 30% (λ=0.4), eje 2: 7% (λ=0.1)).



5.3.5 <u>Análisis de los parámetros biológicos: Variaciones temporales en las comunidades zooplanctónicas</u>

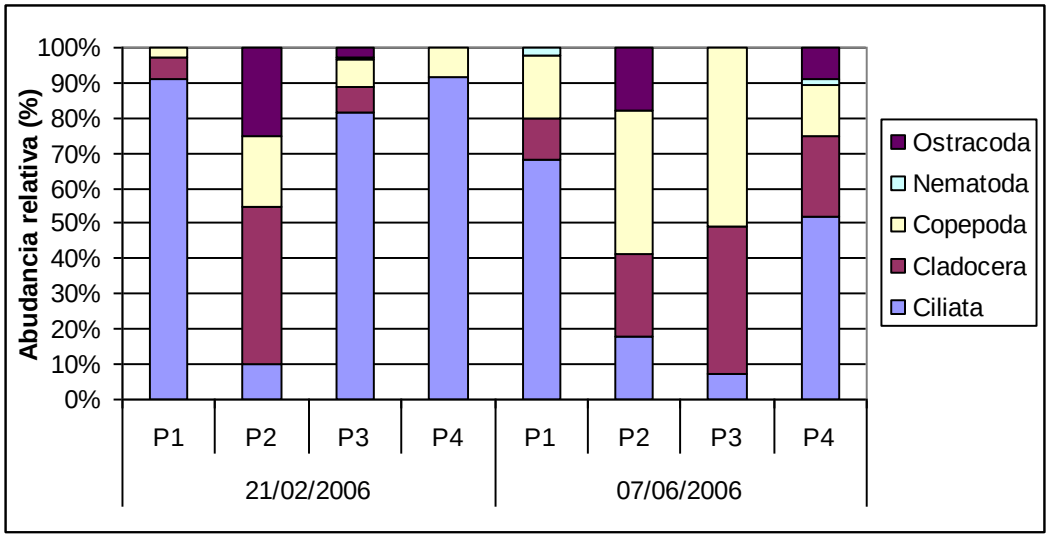
La comunidad zooplactónica estuvo dominada por organismos de los grupos Ciliata y Cladocera (Figura No. 5.8). La importancia relativa de los grandes grupos de zooplancton fue homogénea entre los diferentes sitios pero variable entre los dos muestreos. Durante el segundo muestreo también son importantes del grupo Copépoda.

La dominancia de Ciliata en la mayor parte de las muestras es acorde con la alta materia orgánica de los puntos de muestreo y con el pobre desarrollo de una columna de agua.

La composición e importancia relativa de cada uno de los principales grupos de zooplancton se presenta en el Cuadro No. 5.10. El grupo con un mayor número de especies fue Rotifera. Este grugpo suele ser muy diversificado en ambientes ricos en materia orgánica, en donde se pueden presentar más tipos distintos de recursos que facilitan un mayor número de nichos tróficos para más especies.

Figura No. 5.8

Abundancia relativa de los principales grupos zooplactónicos en el Humedal Capellanía



La diversidad ecológica de la comunidad zooplactónica y la riqueza no mostró un patrón espacial o temporal que permite asociar la estructura de la comunidad con la calidad del agua de los puntos de muestreo (Cuadro No. 5.11).

Cuadro No. 5.10
Densidad zooplanctónica (ind/L) en el Humedal Capellanía

		21/02/2006				07/06/2006			
Grupo	Morfotipo	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Cladócera	*Euricercus* sp	600.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	133.3	0.0
Ciliata	Ciliado sp1	8400.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rotifera	*Euchlanis* sp1	13733.3	800.0	0.0	0.0	13.1	67.4	266.7	100.0
Copépoda	Nauplio	266.7	800.0	3555.6	200.0	39.2	67.4	1866.7	1300.0

		21/02/2006				07/06/2006			
Ciliata	Ciliado sp2	133.3	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
Rotifera	*Bdelloidea* sp1	466.7	0.0	1111.1	0.0	13.1	117.9	133.3	1300.0
Ciliata	Ciliado sp3	200.0	800.0	1555.6	0.0	45.7	0.0	0.0	0.0
Ciliata	*Paramecium* sp1	200.0	0.0	222.2	233.3	65.3	16.8	0.0	0.0
Rotifera	*Lepadella* sp1	0.0	400.0	1777.8	0.0	0.0	16.8	0.0	200.0
Cladócera	*Ceriodaphnia* sp1	0.0	3200.0	444.4	0.0	0.0	33.7	533.3	0.0
Rotifera	*Keratella* sp1	0.0	3600.0	0.0	0.0	6.5	0.0	666.7	0.0
Sarcodina	Sarcodina sp1	0.0	42400.0	23777.8	66.7	0.0	303.2	15600.0	2400.0
Ostracoda	Ostracodo sp1	0.0	1600.0	1333.3	0.0	0.0	33.7	0.0	700.0
Ostracoda	Ostracodo sp2	0.0	400.0	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	100.0
Cladócera	Chidoridae spp	0.0	400.0	3111.1	0.0	19.6	33.7	2533.3	2000.0
Copépoda	Copépodo sp1	0.0	800.0	0.0	33.3	19.6	50.5	2000.0	0.0
Rotifera	*Platyas* sp	0.0	0.0	1111.1	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
Rotifera	*Testudinella* sp1	0.0	0.0	3333.3	33.3	13.1	16.8	800.0	0.0
Rotifera	*Polyarthra* sp1	0.0	0.0	222.2	0.0	0.0	0.0	133.3	0.0
Ciliata	Ciliado sp4	0.0	0.0	27333.3	100.0	0.0	0.0	0.0	700.0
Nematoda	Nematodo sp1	0.0	0.0	222.2	0.0	6.5	0.0	0.0	100.0
Ciliata	*Vorticella* sp1	0.0	0.0	8888.9	2166.7	71.8	33.7	533.3	0.0
Rotifera	*Trichocerca* sp1	0.0	0.0	222.2	0.0	0.0	16.8	0.0	0.0
Ciliata	Ciliado sp5	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	0.0	0.0	3800.0
Sarcodina	*Centropixis* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	84.2	0.0	400.0
Rotifera	*Brachionus* sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
Cladócera	*Simocephalus* sp	0.0	0.0	0.0	0.0	19.6	0.0	0.0	0.0
Sarcodina	*Difflugia* sp1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1684.2	666.7	1900.0
Rotifera	*Notonmatidae* sp1	0	0	0	0	0.0	16.8	0.0	0.0
Total		**24000.0**	**55200.0**	**78222.2**	**2833.3**	**417.7**	**2610.5**	**25866.7**	**15000.0**

Cuadro No. 5.11
Diversidad de la comunidad zooplactónica del Humedal Capellanía

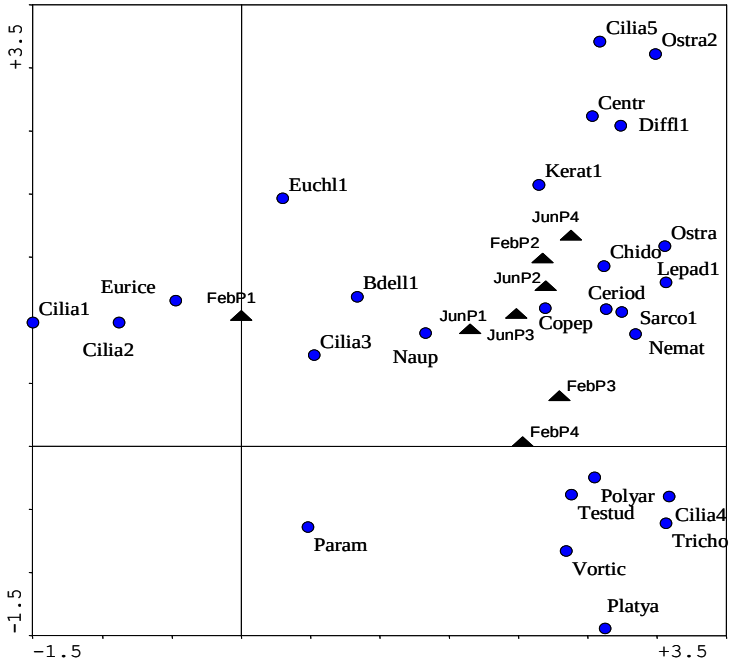
		Diversidad de Shannon	Equitabilidad de Pielou	Dominancia Simpson	Densidad (ind/L)	Riqueza de especies
21/02/2006	P1	1.01	0.49	2.22	24000	8
	P2	1.00	0.42	1.67	55200	11
	P3	1.83	0.66	4.26	78222	16
	P4	0.91	0.47	1.67	2833	7
07/06/2006	P1	2.54	0.89	10.24	418	17
	P2	1.47	0.52	2.30	2611	17
	P3	1.50	0.59	2.58	25867	13
	P4	2.14	0.83	6.94	15000	13

Un Análisis de Correspondencia Desténdido permitió observar que el punto 1 se caracterizó por presentar una mayor importancia de Ciliados (Figura No. 5.9). Estos resultados apoyan el fuerte impacto que se presenta en el punto 1 del humedal como consecuencia de la entrada de aguas mixtas.

La presencia de cladóceros como *Euricercus* sp, *Ceriodaphnia* sp. y Chidoridae indica la prevalencia de condiciones mesotróficas-eutróficas en los puntos 2 al 4.

Figura No. 5.9

Análisis de Correspondencia destendido realizado para el zooplancton del Humedal Capellanía (eje 1:34% (λ=0.4), eje 2: 18% (λ=0.21)).



5.4 Síntesis limnológica del Humedal Capellanía

El Humedal Capellanía es un sistema con una alta colmatación y una alta concentración de nutrientes. La reducción de su área en los últimos años y la disminución o ausencia del pulso de inundación ha favorecido el rápido de crecimiento de macrófitas emergentes y la reducción de los espejos de agua.

Como consecuencia el sistema no presenta un componente limnético como tal y las comunidades acuáticas que se desarrollan son principalmente de hábito bentónico. Las comunidades encontradas en el plancton, se caracterizan por no ser euplanctónicas y mantienen una estrecha relación con los sedimentos y la vegetación sumergida.

La acumulación de material vegetal favorece la acumulación de materia orgánica, generando valores altos de DBO. Así mismo, la alta biomasa de material vegetal genera condiciones altamente reductoras y con baja luminosidad que reducen el

crecimiento de organismos acuáticos y favorecen la liberación de algunos metales atrapados en el sedimento.

En consecuencia el subsistema limnético del Humedal Capellanía esta estructurado tróficamente a partir de la vía detrítica. Este comportamiento es evidente cuando se analizan los grupos de microorganismos acuáticos que dominan en algunos puntos del humedal, como es el caso de euglenofíceas y diatomeas.

La presencia en algunos puntos de algas Chlorophyceae del género *Spirogyra* indica condiciones extremas, con baja luminosidad, alta materia orgánica y bajas concetraciones de oxígeno. Igualmente, las comunidades de zooplancton sugieren que la principal fuente de carbono de los heterótrofos en la materia orgánica en descomposición.

En general los organismos encontrados en las diferentes comunidades acuáticas indican una alta variabilidad entre punto y fechas de muestreo. La alta variabilidad entre puntos es explica por la baja profundidad del humedal que favore la presencia de zonas con diferentes niveles de agua y finalmente el desarrollo de distintas especies vegetales dominantes. Estas condiciones son propias de sistemas acuáticos con una heterogenidad bien marcada a pequeñas escalas espaciales.

Temporalmente, se obseva un dilución de las concentraciones de los principales nutrientes durante el período de lluvias. No obstante, a pesar de la reducción de la mayor parte de parámetros químicos, el humedal mantiene durante los dos muestreos una alta concentración de nutrientes y sólidos. En general, el humedal mantuvo un elevado estado trófico durante los dos muestreos, y en los diferentes muestreos analizados indicando que las lluvias no tienen un efecto significativamente importa sobre la calidad del agua.

Espacialmente, se observó que el punto 1 (zona cercana a la avenida la esperanza y que recibe uno de los colectores de aguas más importantes del humedal), presentó una masa de agua con la más baja calidad. Esta zona también se caracteriza por la casi exclusiva dominanca de junco, por la alta densidad de algas clorofíceas y la presencia de oligoquetos. Estas características sugieren que este punto mantiene condiciones de baja oxigenación durante la mayor parte del año.

5.5 Conclusiones y recomendaciones

El humedal es un sistema eutrófico – politrófico con un pobre desarrollo de compartimentos limnéticos y con comunidades acuáticas propias de ambientes acuáticos con altas concentraciones de materia orgánica y bajas concentraciones de oxígeno.

La alta concentración de nutrientes indica que la realización de dragados en algunas zonas del humedal podría promover un rápido aumento de la productividad como consencuencia de la liberación de grandes cantidades de fósforo atrapados en los sedimentos del humedal. La alta producción primaria fitoplanctónica generaría un aumento en la tasa de sedimentación de toda la manteria orgánica que se fija y que no alcanza a descomponerse.

Acorde con esto, a corto plazo, el desarrollo de actividades de recuperación de la cubeta del humedal, como son los dragados, deben estar acompañadas de un monitoreo limnológico. Así mismo, a mediano plazo es necesario realizar un modelo de la dinámica espacial y temporal del fósforo y nitrógeno, que permita predecir la evolución trófica del humedal y evaluar la necesidad de cosechar periódicamente material vegetal con el objeto de extraer nutrientes del sistema.

En la medida en que se extraiga fósforo y nitrógeno del sistema acuático, el exceso de material vegetal, y se devuelva el pulso de inundación al sistema, el humedal podría desarrollar por si mismo mecanismos de regulación y reduciría su estado trófico.

Uno de los problemas más evidentes es el de la colmatación, la recuperación del pulso de inundación del humedal puede promover la exportación de nutrientes fuera del sistema acuático con la consecuente reducción del estado trófico del humedal.

Es necesario evaluar los mecanismos o alternativas para reducir las entradas de aguas de baja calidad al Humedal Capellanía.

5.6 Bibliografía

ACUEDUCTO 2005a. Análisis de los vertimientos de las redes de alcantarillado y efluentes industriales que descargan al humedal Capellanía zona 2. Dirección de Ingeniería Especializada – Área de aguas y saneamiento básico.

ACUEDUCTO 2005a. Análisis de los vertimientos de las redes de alcantarillado y efluentes industriales que descargan al humedal Capellanía zona 3. Dirección de Ingeniería Especializada – Área de aguas y saneamiento básico.

ALBA-TERCEDOR, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almenia 2: 203-213.

ALLAN, J., 1995. Stream Ecology. Chapman & Hall. London.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1998. Standard methods for examination of water and wastewater. Amer. Pub. Heal. Asoc., Washington. 19th edition. 1536 p.

ASANO, T. AND LEVINE, D. 1998. "Wastewater reclamation recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and reuse". Takashi Asano (editor). Technomic Publishing. Lancaster. 1528 pags.

BARRET, E., SOBSEY, M., HOUSE, C. & WHITE, K. 2001. Microbial indicators removal in onsite constructed wetlands for wastewater treatment in the southeastern. *Water Science and Technology*. 44, 177-182.

BICUDO, C. AND BICUDO, R. H. 1970. Algas do aguas continentais Brasileiras. Fundaçao Brasileira para Desenvolvimento do Ensino de Ciencias. Sao Paulo. Brasil. 114 p.

BLINN, D. 1993. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes. Ecology 74(4): 1246-1263.

BOURELLY, P. 1966. Les algues d' eau douce. I. Les algues vertes., N. Baubée & Cie, Paris. 433 p.

BOURELLY, P. 1968. Les algues d' eau douce. II. Les algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Pheophycées, Xanthophycées et Diatomées., N. Baubée & Cie, Paris. 437 p.

BOURELLY, P. 1970. Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines., N. Baubée & Cie, Paris. 559 p.

BORROR, DONALD J. Y DELONG, DWIGHT M. 1964. An introduction to the study of insects. Columbus. Ohio. Holt Rinehart and Winston. 819p.

BULGAKOV, **N. G & A. P. LEVICH, 1999.** The nitrogen: phosphorus ratio al a factor regulating phytoplankton community structure. Hydrobiologia. 146 1. 3-22.

CAMPOS, C. 2003. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En agua potable para comunidades rurales. Reuso y tratamiento avanzado de aguas residuales domésticas. RYPDA-CYTED. CIRA-UAMEX. México. 224-229.

CHARLES, D. F. 1985. Relationships between surface sediment diatom assemblages and lakewater characteristics in Adirondack lakes. Ecology. 66(3): 994-1011.

CHRISTIE, C. E. & J. P. SMOL. 1993. Diatom assemblages as indicators of lake trophic status in southeastern ontorio lakes. Journal of Phycology 29: 575-586.

COESEL, P. F. M. 1983. De desmidiaceen van Neederland. Deel. 2. Fam. Closteriaceae., K.N.N.V., Hoogwood. 49 p.

COESEL, P. F. M. 1985. De desmidiaceen van Neederland. Deel. 3. fam. Desmidiaceae (1)., K.N.N.V, Hoogwood. 58 p.

COESEL, P. F. M.. **1987** Taxonomic notes on Colombian desmids. Cryptogamie Algologie, 8(2):127-142.

COMAS, A. 1989A Taxonomische Übersicht der zönobialen chlorokokkalalgen von Kuba. I. Fam. Hydrodictyaceae. Algological studies. 55:129-151.

COMAS, A. 1989B Taxonomische Übersicht der zönobialen chlorokokkalalgen von Kuba. II. Fam. Coelastraceae. Algological Studies. 56:347-364.

COMAS, A. 1990 Taxonomische Übersicht der zönobialen Chlorokokkalgen Kubas. III. Fam. Scenedesmaceae. Algological Studies. 61:55-94.

COMAS, A. 1992. Taxonomische Beiträge zur Grünalgenflora (Chlorellales) Kubas. Algological Studies. 65:11-21.

COMAS, A. 1996. Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba., Biblioteca Phycologica, Band 99. 193 p.

COTTINGHAM, K. L. & S. P. CARPENTER, 1998. Population, community, and ecosystem variates as ecological indicator: phytoplankton responses to whole-lake enrichment. Ecological applications, 8(2): 506-530.

DÍAZ, C. & RIVERA, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. Caldasia 26(2): 381-394.

DONATO, J. CH. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (colombia). Composición y factores de distribución del fitoplancton. Universidad de Barcelona. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No. 19. 232 p.

DOWNING J. A., M. MCCLAIN, R. TWILLEY, J. M. MELACK, J. ELSER, N. N. RABALAIS, J. R. LEWIS, R. E. TURNER, J. CORREDOR, D. SOTO, A. YANEZ-ARANCIBIA, J. A. KOPASKA & R. W. HOWARTH, 1999. The impact of accelerating land-use change on the N-Cycle of tropical aquatic ecosystems: Current conditions and projected changes. *Biogeochemistry* 46: 109–148.

DOWNES, B. J., LAKE, P. AND SCHREIBER, E. 1993. Spatial variation in the distribution of stream invertebrates: Implications of patchiness for models of community organization. Freshwater Biology 30:119–132.

ELMOOR- LOUREIRO, L. 1997. Manual de identificaçao de cladóceros límnicos do Brasil. Editora Universa. Universidade Católica de Brasil. 155p.

GAVIRIA, S. 1998. Curso Sistemática de zooplancton de aguas continentales de Colombia. Universidad Nacional – Instituto de investigaciones Amazónicas IMANI. 30p.

GONZÁLEZ, L. E. 1995. Estudio taxonómico de las desmidias de los sistemas lénticos de alta montaña tropical en Colombia. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santa fe de Bogotá, Colombia. 230 p.

GONZÁLEZ, O., HERNÁNDEZ. J., RODRIGUEZ, M., & PRATS, D. 2000. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno en humedales de flujo subsuperficial horizontal. *Tecnología del agua*.203, 42-49.

HENRY, C. & AMOROS, C. **1996**. Restoration ecology of riverine wetland. III. Vegetation survey and monitoring optimization. Ecological Engineering. 7:35-58.

ECOLOGY AND ENVIRONMENT & HIDROMECANICAS LTDA 1998. Plan de manejo ambiental de los Humedales Torca, Guaymaral, Embalse de Córdoba, Capellanía, El Burro, Techo, La Vaca, y Tibanica. Plan de Manejo Ambiental del Humedal de Capellanía, tomo 5 –anexo 4.

HUISMAN, J., P. V. OOSTVEEN & F. J. WEISSING, 1999. Critical deep and critical turbulence: two different mechanisms for the development of phytoplankton blooms. Limnol. Oceanogr 44(7): 1781-1787.

JUGGINS, S. 2003*. C2 Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualization. V. 1.3.* Newcastle. http://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins.

KOMAREK, J. AND FOTT, B. 1983. Chlorococcales. Das phytoplankton des sußwassers: Systematik und Biologie. 7. Teil, G. Huber-Pestalozzi, ed., E. schweizerbert'sche verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 525 p.

KOSTE, W. 1978. Rotatoria. II. Tafelband. Gebrüder Borntraeger. Berlin. 468p.

KRAMMER, K. AND LANGE-BERTALOT, H. 1986. Bacillariophyceae, 1. Teil. Naviculaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa., H. J. G. H. H. D. M. Ettl, ed., Gustav Fischer Verlag, Sttugart, 876 p.

KRAMMER, K. AND LANGE-BERTALOT, H. 1988. Bacillariophyceae 2. Teil:Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa, H. J. G. H. H. Ettl, ed., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 596 p.

LAMMERT, M. & ALLAN, D. 1999. Environmental Auditing Assessing Biotic Integrity of Streams: Effects of Scale in Measuring the Influence of Land Use/Cover and Habitat Structure on Fish and Macroinvertebrates. Environmental Management Vol. 23, No. 2, pp. 257–270.

LAMPERT, W. SOMMER, U. 1993. Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press. 382 p.

LEWIS, W. 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. Lakes & Reservoirs: Researchs and management 5:35-48.

LEWIS, W. 1998. Aquatic environments of the Americas: Basis for rational use and management. Proceeding of the 4th international congress on environmental issues 4: 250-257.

LIEDER, U. 1996. Crustacea: Cladocera: Bosminidae. Gustav Fisher Verlag. Stuttgart. 83p.

LUND, J.W., KIPLING, C. AND LE CREEN, E. 1958. The inverted microscope method of estimating algal number and statistical basis of estimations by counting. Hydrobiologia 11:143-170.

MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 1010 pp.

MERRITT R. W. & CUMMINS K. W., 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. 3th Edition. Kendall/Hunt Publishing Company. 862p.

METCALF & EDDY 1998. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición. Mc Graw Hill. Madrid, 116-125.

NÜRNBERG 1996. Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. Lake and Reservoir Management 12: 432-447.

NURMINEN, L. & HORPPILA, J. 2002. A diurnal study on the distribution of filter feeding zooplankton: Effect of emergent macrophytes, pH and lake trophy. Aquat. Sci. 64: 198–206.

PAN, Y., STEVENSON, R.J., HILL, B.H., HERLIHY, A.T., AND COLLINS, G.B., 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. J.N. Am. Benthol. Soc., Vol. 15. No.4. p.p. 481-495.

PAN, Y. & R. J. STEVENSON. 1996. Gradient analysis diatom assemblages in western Kentucky wetlands. Journal of Phycology 32: 222-232.

PENNAK, R.W. 1989. Freshwater invertebrates of United States. Protozoa to Mollusca. 3a. ed. Wiley, Nueva York. 628 p.

PENNAK, R.W. 1978. Fresh-Water Invertebrates of the United States. Second Edition. John Wiley & Sons. USA. 803 p.

PINILLA, G. 2000. Indicadores biológcos en ecosistemas acuáticos continentales. Compilación bibliográfica. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 67p.

PINILLA, G. & GUILLOT, G. 1997. Regionalización de ambientes acuáticos con base en sus atributos tróficos, físicos y químicos. Geotrop. 2:21-31.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA 2003. Diagnóstico del estado de los lagos artificiales y naturales encontrados en los parques Tunal, Timiza, Simón Bolívar Central, Los Novios y La Florida. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Instituto Distrital Para La Recreación y el Deporte. Contrato De Consultoría 346, 2002-2003.

REDDY, R. 1994. Copépoda, Calanoida, Diaptomidae: Key to genera Heliodiaptomus, Allodiaptomus, Neodiaptomus, Phyllodiaptomus, Eodiaptomus, Arctodiaptomus and Sinodiaptomus. SPB Academic Publishing. Netherlands. 220p.

REYNOLDS, S. C. **1997**. Vegetation Processes in the pelagic: a Model for Ecosystem Theory. Ecology Institute. Germany. 300 p.

REUTER, J., CAHILL, T., CLIFF, S., GOLDMAN, C. & HEYVAERT, C. 2003. An integrated watershed approach to studying ecosystem health at lake Tahoe, CA-NV. En: Managing for Healthy ecosystems. Rapport, D., Lasley, W., Rolston, D., Nielsen, N., Qualset, C. & Damania, A. (Eds). Lewis Publisher. Pp 1283-1298.

RIVERA, C. & DÍAZ, C. 2004. Hidrología, física y química de pequeños ríos andinos y su relación con grandes taxa de fitobentos. Universitas Scientiarum 9: 75-86.

RIVERA-R., C., SOLANO, D., ZAPATA-A., A & DONATO-R., J. 2005. Phytoplankton diversity in a tropical high mountain lake. Internationale Vereinigung Für Theoretiche Und Angewandte Limnologie. 29 (1):1-4.

RIVERA, C. 1997. Variaciones en la composición y abundancia vertical y horizontal del fitoplancton del Embalse del Neusa. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Santafé de Bogotá, Colombia. 61 p.

ROLDAN, G., 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia (Colciencias-Fondo FEN, Bogotá), Editorial Presencia.

ROLDÁN, G., 1985. Contribución al conocimiento de las ninfas de efemerópteros en el Departamento de Antioquia. Actual. Biol. 14 (51): 3-13

RUKHOVETS, L. ASTRAKHANTSEV, G., MENSHUTKIN, V. MININA, T., PETROVA, & POLOSKOV, N. 2003. Development of Lake Ladoga ecosystem models: modeling of the phytoplankton succession in the eutrophication process. Ecological Modelling 165 (2003) 49–77

RYVES, D. McGOWAN, S. & ANDERSON, J. 2002. Development and evaluation of a ditom-conductivity model from lakes in West Greeland. Freshwater Biology 47: 995 – 1014.

SALAS, H. & MARTINO, P. 1993. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. Wat. Res. 25(3): 341-350.

SANCHEZ, A. & FROEHLICH, G. 2001. Macroinvertebrates in neotropical stream: richness patterns along a catchment and assemblage structure between 2 season. J. N. Am. Benthol. Soc. 20(1): 1-16.

SCOURFIELD, D AND HARDING, J. 1966. A key to the British freshwater Cladocera. Freshwater Biological Association. Scientific publication No. 5. Third edition. London. 55p.

SMITH, E. & McCORMICK, P. 2001. Long-term relationship between phosphorus inputs and Wetland phosphorus concentrations in a northern Everglades marsh. Environmental Monitoring and Assessment 68: 153–176, 2001.

TELL, G. AND CONFORTI, V. 1986. Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Biblioteca Phycologica 75. J. Cramer. Berlin. 301 p.

TER BRAAK C. J. F. & C. W. N. LOOMAN*.* 1995. Regression. Págs. 29-77 en: R. H. G. Jongman, C.J.F. Braak & O.F.R. Tongeren (eds.). Data Analysis in Community and Landscape Ecology. Cambridge University Press. USA.

TER BRAAK, C. J. F. & P. SMILAUER. 1998. *CANOCO Version 4.0, Software for Canonical Community Ordination.* Microcomputer Power Ithaca, NuevaYork.

THURSTON, J., GERBA, C., FOSTER, K. & KARPISCAK, M. 2001. Fate of indicator microorganisms, *Giardia* and *Cryptosporidium* in subsurface flow constructed wetlands. *Water Resources*. 35, 1551-1551.

THORP, J.H., AND A.P. COVICH. 1991. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, San Diego.

VOLLENWEIDER, 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication ohf lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication. Paris Rep. Organization for Economic Cooperation and Development. 192p.

WECKSTRÖM, J. A. KORHOLA & T. BLOM. 1997. Diatoms as quantitative indicators of pH and water temperature in subarctic Fennoscandian lakes. Hydrobiologia 347: 171-184.

WETZEL, R.G. 2001. Limnology. Ed. Omega. Barcelona. 1000 p.

Apéndice 5.1

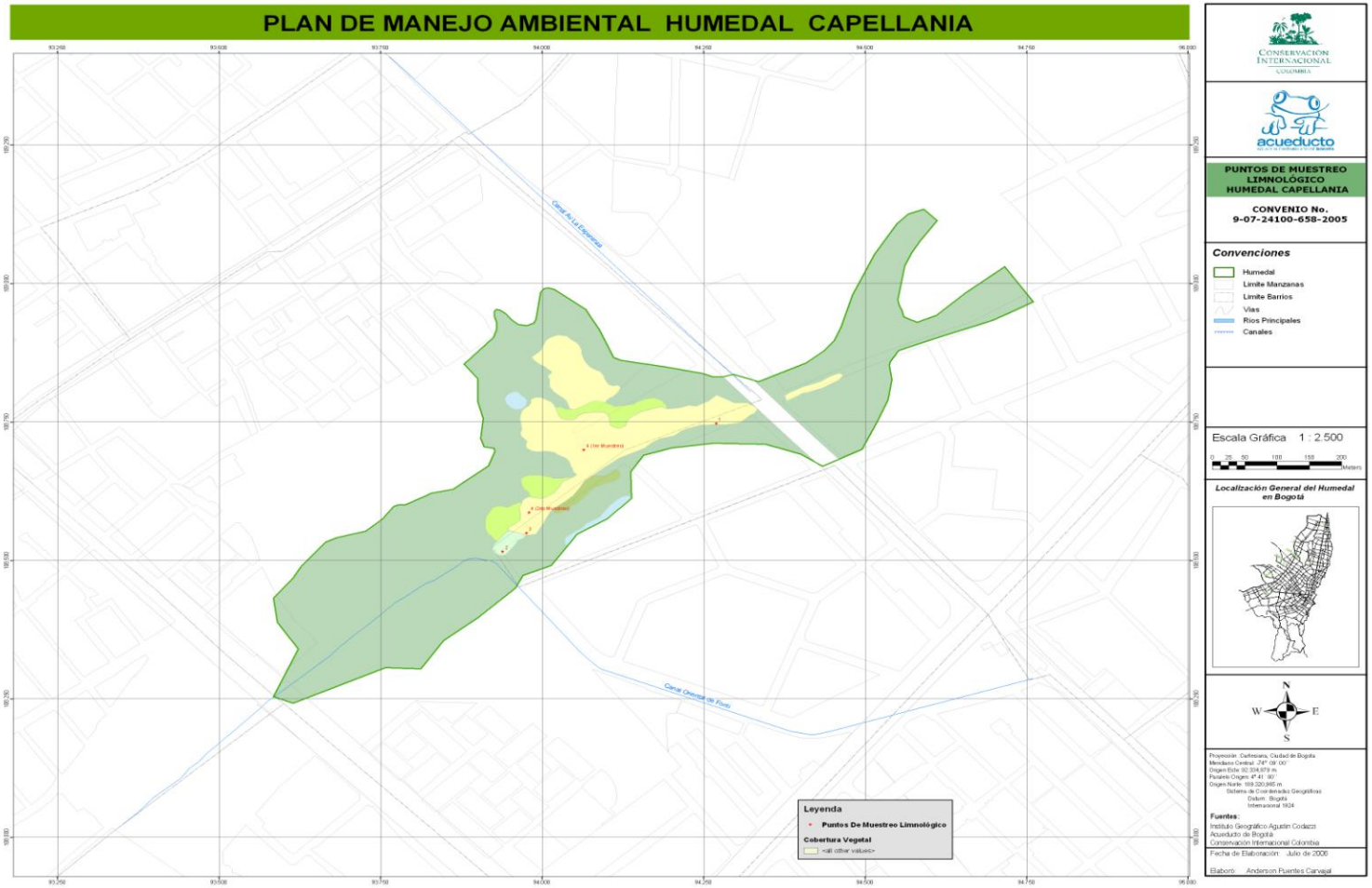
Rótulos de las abreviaciones utilizadas en las figuras obtenidas en los Análisis de Correspondencia Destendida

Especies Perifiton	**Rótulo**
Stauroneis sp	Staur1
Gomphonema parvulum	Gompar
Euglena sp	Eugl1
Nitzschia palea	Nitpal
Pinnularia sp1	Pinn1
Navicula sp1	Nav1
Trachelomonas volvocina	Travol
Pinnularia sp3	Pinn3
Spyrogyra sp	Spyro
Trachelomonas volvocinopsis	travoc
Nitzschia sp1	Nitz1
Hantzschia sp1	Hantz1
Oedegonium sp1	Oedeg1
Pseudanabaena sp	Pseud1
Pinnularia sp2	Pinnu2
Melosira varians	Melvar
Phacus sp1	Phasp1
Oscillatoria sp	Osci1
Surirella sp1	Suri1
Trachelomonas hispida	Trahis
Closterium molliniferum	Clomon
Trachelomonas oblonga	Traobl
Ankistrodesmus sp	Ankis

Taxon Superior Macroinvertebrados	Familia	Genero	Rótulo
Turbellaria	Planariidae		Plana
Oligochaeta			Oligo
Díptera	Chironomidae	Orthocladiinae	Orthoc
Diptera	Chironomidae	Chironominae	Chiron
Diptera	Culicidae	*Culex* sp	Culex
Díptera	Tipulidae	*Tipula* sp	Tipula
Díptera	Ephydridae	*Notiphila* sp	Notiph
Diptera	Psychodidae	*Psychoda* sp	Psycho
Diptera	Muscidae		Musci
Coleoptera	Dysticidae	*Liodessus* sp (larva)	Liodel
Coleoptera	Dysticidae	*Liodessus* sp (adullto)	Liodea
Coleoptera	Dysticidae	*Ranthus* sp	Ranth
Coleoptera	Dysticidae	(adulto)	Dysti
Coleoptera	Scirtidae	*Cyphon* sp	Cyph
Coleoptera	Hidrophilidae	*Tropisternus* sp	Tropi
Gastropoda	Physidae	*Physa* sp	Physa

Crustacea	Hyallelidae	*Hyalella* sp	Hyale
Nematoda			Nemat
Hirudinea	Glossiphoniidae	*Helobdella* sp	Helobd
Odonata	Aeshnidae	*Rionaeshna* sp	Riona
Díptera	Ephydridae	*Brachydeutera* sp	Brach
Hemiptera	Notonectidae	*Notonecta* sp	Noton
Coleoptera	Staphylinidae		Staph
Bivalvia	Sphaeridae		Sphae

Especie de Fitoplancton	Rótulo
Synechococcus sp.	Synech
Euglena sp	Eugle
Oscillatoria sp	Oscill
Trachelomonas volvocinopsis	Travol
Cryptomonas sp	Crypt1
Gomphonema parvulum	Gompar
Pinnularia sp1	Pinnu1
Stauroneis sp	Staur1
Trachelomonas oblonga	Traobl
Closterium molliniferum	Clomol
Spyrogyra sp	Spyrog
Trachelomonas hispida	Trahis
Closterium sp1	Clost1
Trachelomonas armata	Traarm
Stauroneis sp2	Staur2
Trachelomonas volvocina	Travoc
Fragilaria sp	Fragil
Cryptomonas sp2	Crypt2
Cryptoglena pigra	Crypig
Phacus curvicauda	Phacur
Gomphonema sp1	Gomp1
Navicula sp	Navicu
Merismopedia sp	Merism
Euglena sp2	Eugle2
Pseudoanabaena spp	Pseuda
Anabaena sp	Anaba

Morfotipo de zooplancton	Rótulo
Nauplio	Naup
Sarcodina sp1	Sarco1
Euchlanis sp1	Euchl1
Chidoridae spp	Chido
Bdelloidea sp1	Bdell1
Vorticella sp1	Vortic
Testudinella sp1	Testud
Copepodo sp1	Copep
Paramecium sp1	Param
Ceriodaphnia sp1	Ceriod
Ostracodo sp1	Ostra
Ciliado sp3	Cilia3
Lepadella sp1	Lepad1
Ciliado sp4	Cilia4
Keratella sp1	Kerat1
Difflugia sp1	Diffl1
Ostracodo sp2	Ostra2
Centropixis sp	Centr
Nematodo sp1	Nemat
Ciliado sp5	Cilia5
Platyas sp	Platya
Euricercus sp	Eurice
Polyarthra sp1	Polyar
Trichocerca sp1	Tricho
Ciliado sp2	Cilia2
Ciliado sp1	Cilia1

ANEXO CARTOGRAFÍA COMPONENTE LIMNOLOGÍA