

Dinámica e impacto de la eutrofización por aportes urbanos en las cuencas hídricas y zona costera de la ciudad de Ushuaia, Tierra del Fuego¹

Soledad Diodato²

Laura Comoglio³

Alicia Moretto⁴

Jorge Marcovecchio⁵



Palabras clave: Efluentes urbanos; Ushuaia; efecto antrópico; calidad de agua.

1. Introducción

La ciudad de Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina (54°48'26"S 68°18'16"O), se ha desarrollado sobre las zonas costeras lindantes a las Bahías Ushuaia, Encerrada y Golondrina, siendo la población actual cercana a los 57.000 habitantes (datos del censo 2010). Es un sistema costero que recibe descargas de variadas fuentes, tales como efluentes domésticos e industriales, sustancias que se liberan en los ríos aguas arriba de las zonas costeras, y que tiene un serio problema de infraestructura de servicios relativo a la eliminación de agua de bocas de tormenta y a la ausencia de tratamiento de efluentes domésticos. Esto convierte a la línea costera en el destino final de estos residuos,

1 Se agradece a Yamila Nohra, Carolina Camilion y Oscar Amin, por su colaboración en las tareas de campo y laboratorio.

2 Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (ICPA), Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF), Ushuaia /Laboratorio de Ecología Terrestre, Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET), Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. sdiodato@untdf.edu.ar.

3 Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. icomoglio@hotmail.com.

4 Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (ICPA), Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF), Ushuaia/Laboratorio de Ecología Terrestre, Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC- CONICET), Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. amoretto@untdf.edu.ar.

5 Laboratorio de Química Marina, Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-CONICET-UNS), Bahía Blanca/ Universidad de la Fraternidad de Agrupaciones Santo Tomás de Aquino (FASTA), Mar del Plata/Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Bahía Blanca, Argentina. jorgemar@criba.edu.ar.

a los que se incorporan aquellos provenientes de las actividades de la navegación (comercial, turística y deportiva). La dinámica natural del ecosistema, además, aporta al sistema costero durante las épocas de deshielo una alta concentración de nutrientes que no son retenidos por el suelo donde se asientan los bosques de lenga característicos, que rodean la ciudad [1]. Los cursos de agua dulce que nacen en la zona boscosa sobre la montaña y atraviesan el casco urbano se convierten, entonces, en las vías directas de transporte aditivo de sustancias originadas por desechos de la urbanización y las naturales. Amin *et al.* [2] han descrito la dinámica de nutrientes en la línea costera sin incluir estudios “aguas arriba”. Debido a la importancia que presenta la problemática de los cursos de agua urbanos en la ciudad, el objetivo del presente estudio fue caracterizar desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico, algunos efluentes que descargan en las bahías mencionadas, y poder identificar los sitios receptores activos de contaminación urbana.

2. Materiales y métodos

Se muestrearon bimestralmente (desde octubre de 2009 a febrero de 2011) 12 sitios ubicados en diferentes puntos sobre cuencas de agua dulce que atraviesan la ciudad de Ushuaia, identificados como: arroyo Grande (AGa; AGm y AGd), arroyo Buena Esperanza (ABEa; ABEm y ABEd), arroyo Rodríguez (ARa y ARd), turbal urbano (T y ST), salida al mar del dispersor cloacal (DC) y salida de un entubamiento de desborde sobre bahía Golondrina (BG) (figura 1).

En cada época se registraron *in situ* valores de temperatura (Temp.), oxígeno disuelto (OD), salinidad (Sal.), pH, conductividad (Cond.) y turbidez (Turb.). Adicionalmente, se tomaron muestras de agua para la determinación de nutrientes –nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), fosfatos (PO_4^{3-}) y silicatos (SiO_3^{3-})–, materia orgánica particulada (MOP), sólidos totales en suspensión (STS) y bacterias coliformes totales (CT) y fecales (CF). Para las determinaciones de los parámetros mencionados se utilizaron técnicas validadas internacionalmente [3, 4]. Para analizar diferencias en las distintas variables entre los sitios, se realizó el test de Kruskal-Wallis, después de comprobar los supuestos [5]. Los datos obtenidos se examinaron mediante el análisis factorial utilizando la matriz de correlación y tratando los

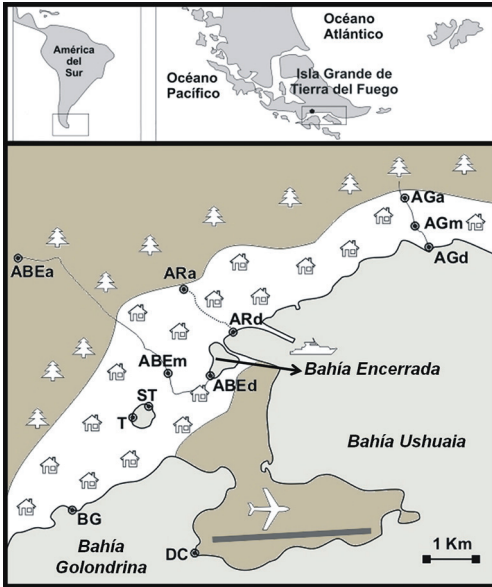


Figura 1. Localización de los 12 sitios de muestreo. Por referencias ver texto. Fuente: Elaboración propia.

datos con rotación Varimax. Los factores fueron extraídos por componentes principales y los nuevos valores promediados fueron representados en las coordenadas correspondientes a los Factores 1 y 2 para cada sitio. Dos variables (Sal. y CT) no se tuvieron en cuenta para el análisis factorial, ya que proveen información redundante respecto de aquellas dos

incluidas (Cond. y CF). Todos los análisis se realizaron con el programa Statistica 7.1.

Adicionalmente, para cada sitio de muestreo se calculó el Índice de Calidad de Agua (ICA), desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de Estados Unidos (tomado de Water Research Center, B.F. Environmental Consultants Inc., Dallas, USA, según el *Field Manual for Water Quality Monitoring*). Para este índice se utilizaron 8 parámetros (Temp., OD, pH, Turb., CF, NO_3^- , PO_4^{3-} y STS) tomando como valor para el cálculo el valor promedio de todas las fechas de muestreo.

3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los valores de las variables analizadas para cada sitio de estudio. Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros al comparar las medias de los 12 sitios. Las comparaciones múltiples entre sitios destacaron que DC, ARd, T, ST y BG son los que presentan los valores más altos en nutrientes, MOP, STS y bacterias coliformes; a la vez que exhiben la menor concentración de OD.

Dinámica e impacto de la eutrofización urbana en la zona de Ushuaia

Parámetros	DC	AGa	AGm	AGd	ARa	ARd	ABEa	ABEm	ABEd	T	ST	BG	
Temp. °C	media	8,13	4,38	5,10	4,89	5,80	9,01	2,84	4,98	6,73	11,38	8,73	7,90
	DS	1,67	2,49	2,20	2,78	2,98	2,10	1,73	2,51	2,70	4,16	3,80	2,56
OD mg/L	media	6,69	15,33	12,85	13,39	10,22	7,93	13,41	12,96	6,86	5,28	3,16	6,96
	DS	3,22	4,34	4,54	4,12	1,62	3,03	1,61	0,93	3,71	2,37	1,28	2,94
pH	media	7,44	7,05	7,14	7,16	6,65	7,28	7,06	7,21	6,96	6,80	6,93	7,51
	DS	0,30	0,39	0,38	0,41	0,28	0,26	0,54	0,47	0,33	0,56	0,22	0,21
Sal. UPS	media	1,37	0	0	0,03	0	0,12	0	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02
	DS	0,76	0	0	0,05	0	0,28	0	0,02	0,04	0,01	0,01	0
Cond. mS/cm	media	22	0,15	0,13	0,73	0,16	2,29	0,07	0,39	1,01	0,57	0,56	0,51
	DS	13,77	0,11	0,04	1,19	0,05	5,06	0,01	0,44	0,77	0,10	0,16	0,05
NTU Turb.	media	75	71	61	65	73	119	63	100	102	161	99	76
	DS	49,38	54,23	32,12	36,95	41,09	48,42	34,73	69,95	53,67	59,16	57,30	42,09
NO ₃ mg/L	media	1,52	2,70	3,52	1,07	13,86	7,38	2,73	5,47	3,41	4,14	2,79	2,95
	DS	1,49	3,03	5,89	0,79	6,89	2,81	3,91	6,88	2,97	2,39	2,45	1,77
NO ₂ mg/L	media	0,17	0,12	0,12	0,12	0,17	0,25	0,11	0,15	0,18	0,25	0,19	0,20
	DS	0,04	0,01	0,01	0	0,03	0,03	0	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02
NH ₄ mg/L	media	8,06	0,03	0,82	0,28	0,14	14,14	0,03	2,42	11,08	22,38	21,62	27,87
	DS	6,86	0,08	0,82	0,25	0,18	7,33	0,06	1,37	6,33	9,96	5	13,41
PO ₄ mg/L	media	2,01	0,12	0,42	0,28	0,40	4,81	0,16	0,99	3,04	7,88	5,32	7,70
	DS	1,71	0,04	0,21	0,12	0,29	0,95	0,07	0,59	1,31	1,75	1,36	1,94
SiO ₃ mg/L	media	1,13	1,18	1,34	1,34	1,38	2,92	0,89	1,80	2,26	3,17	2,73	2,71
	DS	0,80	0,45	0,40	0,67	0,55	0,38	0,41	0,76	0,85	1,22	0,71	0,36
MOP mgC/cm ³	media	8177	693	999	1230	594	6209	434	2877	4101	5338	4614	7979
	DS	4576	343	224	832	296	2815	362	1992	1707	983	1687	4743

STS	mg/L	media	91,03	6,46	8,19	9,48	2,52	54,09	2,92	30,99	31,98	59,43	33,15	31,62
		DS	78,51	7,10	8,37	8,70	1,81	48,18	2,61	34,26	19,48	24,43	10,91	12,67
CT	NMP/100ml	media	9,9E	9,4E	1,2E	2,4E	3,0E	1,1E	2,6E	1,3E	4,6E	3,8E	1,2E	1,3E
			+04	+01	+04	+04	+02	+06	+00	+05	+05	+05	+06	+06
		DS	1,3E	1,7E	1,9E	3,1E	5,1E	1,1E	3,6E	3,0E	6,5E	6,2E	1,8E	2,1E
			+05	+02	+04	+04	+02	+06	+00	+05	+05	+05	+06	+06
CF	NMP/100ml	media	9,8E	7,3E	1,2E	1,9E	2,7E	5,8E	2,1E	7,8E	3,7E	3,8E	4,1E	1,2E
			+04	+01	+04	+04	+02	+05	+00	+04	+05	+05	+05	+06
		DS	1,3E	1,1E	1,9E	2,3E	5,1E	4,4E	2,7E	1,7E	5,4E	6,2E	5,0E	2,1E
			+05	+02	+04	+04	+02	+05	+00	+05	+05	+05	+05	+06

Tabla 1. Parámetros físico-químicos y microbiológicos. Se resaltan en negrita los valores más significativos para cada variable. Por referencias ver texto. (DS: desvío standard).

El análisis factorial mostró que el 73,72% de la varianza total puede explicarse mediante 4 factores (tabla 2). El Factor 1, que explica el 41,92% de la varianza total y constituye el factor dominante, se encuentra correlacionado con la temperatura, con las altas concentraciones de NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_3^{3-} y CF y con la disminución de OD, lo cual estaría asociado al ingreso de aportes urbanos. El Factor 2, que explica el 12,6% de la varianza total, está correlacionado positivamente con la turbidez y las concentraciones de MOP y STS, parámetros vinculados con el ingreso al sistema de agua tanto de origen urbano como de origen natural, causado por los eventos de deshielo característicos de la región. El Factor 3, que explica el 10,84% de la varianza total, está correlacionado positivamente con el pH y la conductividad. Por último, el Factor 4 contribuye con un 8,37% y se relaciona positivamente con la presencia de NO_3^- .

En la figura 2 se representa el valor promedio de los scores para los Factores 1 y 2 de los sitios estudiados. Allí puede observarse una clara diferenciación de los sitios en tres grupos. El primero está representado positivamente en el Factor 1 y comprende los sitios ABEd, ARd, T, ST y BG, mientras que el segundo grupo está relacionado negativamente con el Factor 1 e incluye los sitios AGa, AGm, AGd, ABEd, ABEm y ARa. De manera aislada, se presenta el sitio DC, el cual queda definido por las variables que tienen mayor peso en el Factor 2.

En cuanto al ICA, los valores obtenidos se indican en la tabla 3. Los sitios ABEd, ARd, T, ST y BG presentan un ICA indicativo

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Temp.	0,64	0,37	-0,15	-0,29
OD	-0,72	-0,35	0,11	0,03
pH	0,06	-0,08	0,92	0,09
Cond.	-0,11	0,27	0,63	-0,39
Turb.	0,15	0,91	-0,09	0,09
NO ₃ ⁻	-0,08	0,10	-0,06	0,75
NO ₂ ²⁻	0,65	0,53	-0,05	0,40
NH ₄ ⁺	0,88	0,11	0,02	0,09
PO ₄ ³⁻	0,92	0,27	-0,06	0,08
SiO ₃ ³⁻	0,68	0,14	0,04	0,54
MOP	0,42	0,68	0,14	-0,05
STS	0,16	0,90	0,11	0,11
CF	0,65	0	0,13	-0,11
Autovalores	5,45	1,64	1,41	1,09
% Varianza total	41,92	12,60	10,84	8,37
% Varianza acumulativa	41,92	54,52	65,35	73,72

Tabla 2. Valores de correlación entre variables y Factores; porcentaje de varianza total explicada y acumulada.

de mala calidad ambiental, lo cual concuerda con la agrupación proporcionada por el análisis factorial de acuerdo con la alta concentración de nutrientes (figura 2). El resto de los sitios se califican como de calidad media a buena, coincidiendo también con la agrupación mencionada; a excepción de DC, posiblemente debido a que es el sitio de mayor influencia de agua de mar por su particular ubicación sobre la línea de costa.

Sitio	DC	AGa	AGm	AGd	ARa	ARD	ABEA	ABEm	ABED	T	ST	BG
ICA	53	77	67	70	63	48	87	60	48	40	42	50
Calidad	Media	Buena	Media	Media	Media	Mala	Buena	Media	Mala	Mala	Mala	Mala

Tabla 3. Índice de Calidad de Agua: Excelente: 91-100; Bueno: 71-90; Medio: 51-70; Malo: 26-50; Muy malo: 0-25.

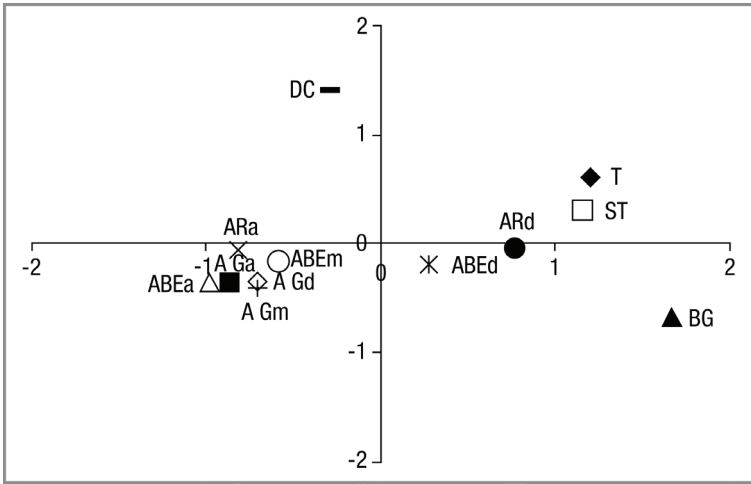


Figura 2. Gráfico de los scores medios de cada sitio de estudio sobre los Factores 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Se logró establecer áreas con claros indicadores de aportes urbanos visualizados en proximidad a la costa. Contrariamente, las zonas altas conservan características de nulo impacto. De lo anterior se concluye que en su recorrido a lo largo del casco urbano, los cursos de agua actúan como receptores de la actividad antrópica y se convierten en emisores al sistema costero. En razón del sostenido incremento poblacional y del uso recreativo que sin restricciones tiene la población a estos sitios, resulta imperioso establecer un plan de saneamiento y monitoreo sostenido en el tiempo.

Bibliografía

[1] Frangi, J. L. *et al.* (2005). "Nutrient cycling in *Nothofagus pumilio* forests along an altitudinal gradient in Tierra del Fuego Argentina", *Forest Ecology and Management* 217, pp. 80-94.

[2] Amin, O. *et al.* (2011). "Assessment of land influence on a high-latitude marine coastal system: Tierra del Fuego, southernmost Argentina", *Environmental Monitoring and Assessment* 174, pp. 63-73.

[3] Strickland, J. D. H. y Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada.

[4] Environmental Protection Agency (2009). Modified Colitag™ Test Method for the Simultaneous Detection of *E. coli* and other Total Coliforms in Water (ATP D05-0035), disponible en: <http://www.colitag.com/learnmore/EPAColitag.pdf>.

[5] Sokal, R. R. y Rohlf, F. J. (1981). *Biometry*. New York, W. H. Freeman and Company.