



Facultad de Ciencias
Universidad de la República



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**Trabajo final para la obtención del título
de Magíster en Ciencias Ambientales**

**Distribución espacial de metales pesados en la Cuenca
del Arroyo Carrasco y su relación con el uso de la
cuenca asociada**

Autora: Lic. Luciana Mello de Carvalho

Orientadores: Gabriela Eguren, Néstor Mazzeo y Pablo Muniz

Montevideo Uruguay

Noviembre 2012

| | Página |
|---|--------|
| ÍNDICE | 01 |
| LISTA DE TABLAS | 03 |
| LISTA DE FIGURAS | 04 |
| SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO | 05 |
| RESUMEN | 07 |
| ABSTRACT | 09 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| La contaminación de los ecosistemas acuáticos | 11 |
| Los metales pesados | 12 |
| Los metales pesados en el ambiente | 15 |
| ANTECEDENTES | 19 |
| JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO | 22 |
| OBJETIVOS | 24 |
| HIPÓTESIS | 24 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| Área de estudio | 25 |
| Estrategia de muestreo | 28 |
| Usos de la cuenca | 29 |
| Colecta y procesamiento de muestras | 31 |
| Agua | 31 |
| Sedimentos | 32 |
| Criterios empleados para los análisis de datos | 35 |
| Determinación de niveles de base para la Cuenca del A° Carrasco | 36 |

| | |
|---|-----|
| Factor de Enriquecimiento (FE) | 39 |
| Índice de Geoacumulación | 40 |
| RESULTADOS | |
| Características geológicas, edafológicas y usos de las microcuencas del arroyo Carrasco | 41 |
| Condiciones climáticas durante el período de los muestreos | 54 |
| Calidad de agua | 56 |
| Análisis de componentes principales | 60 |
| Análisis de correlaciones en agua | 64 |
| Análisis de sedimentos | 66 |
| Granulometría | 64 |
| Potencial de oxido reducción | 66 |
| Estadísticos básicos de los datos medidos en sedimentos | 67 |
| Análisis de componentes principales | 70 |
| Prueba de Mann-Whitney | 75 |
| Análisis de correlaciones en sedimentos | 76 |
| Propuesta de los Niveles de Base para la CAC | 79 |
| Factor de Enriquecimiento | 82 |
| Índice de geoacumulación (I_{geo}) | 82 |
| Comparación con valores de referencia del CCME | 83 |
| DISCUSIÓN | |
| Características físico-químicas del agua | 85 |
| Características del sedimento | 91 |
| Niveles de base | 100 |
| Factor de Enriquecimiento Índice de geoacumulación (I_{geo}) y comparación con valores TEL y PEL | 101 |
| Riesgo en la salud | 105 |
| CONCLUSIONES | |
| | 107 |
| PERSPECTIVAS | |
| | 108 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| | 110 |
| ANEXOS | |
| | 127 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Metales pesados lanzados al ambiente desde distintas actividades antropogénicas

Tabla 2 – Datos climáticos para la estación Carrasco y media uruguaya

Tabla 3 – Principales cuencas asociadas al arroyo Carrasco

Tabla 4 – Puntos de muestreo: coordenadas y siglas utilizadas en este trabajo

Tabla 5 – Representación de las formaciones geológicas en hectáreas para cada microcuenca

Tabla 6 – Principales usos de la tierra por microcuenca

Tabla 7 – Usos de la tierra según el Sistema de Información del Censo Agropecuario

Tabla 8 a y b – Descriptivos básicos de las variables muestreadas en 2008 y 2009

Tabla 9 – Potencial de Oxido reducción medido en la interfase agua sedimento

Tabla 10 – Estadísticos básicos para las características fisicoquímicas de los sedimentos

Tabla 11 – Correlaciones entre variables fisicoquímicas en sedimentos para los años 2008 y 2009

Tabla 12 – Estadísticos básicos para los metales de la CAC

Tabla 13 – Resultados de la prueba de Mann-Whitney tomando cada par de variables muestreadas a fines de invierno y a fines de verano

Tabla 14 – Valores para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb medidos en la cuenca alta

Tabla 15 – Valores de Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb propuestos como línea de base para la CAC

Tabla 16 - Concentración de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta de la CAC y para otros lugares de Montevideo

Tabla 17 – Factores de enriquecimiento para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb en la CAC

Tabla 18 – Índice de Geoacumulación de las estaciones de muestreo para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb en relación a la cuenca alta

Tabla 19 - Valores promedio de Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd y Hg por estación de muestreo y comparación con niveles PEL y TEL de la CCME

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Cuenca de drenaje del arroyo Carrasco y principales tributarios.
- Figura 2 – Mapa geológico de la CAC con la ubicación de las canteras activas e inactivas
- Figura 3 – Mapa de suelos en la CAC
- Figura 4 – Plano de las obras del Grupo Nacional de Trabajo Desección Bañados de Carrasco
- Figura 5 – Mapas de afectaciones en la cuenca según las diferentes actividades
- Figura 6 – Medias pluviométricas mensuales históricas y precipitación acumulada en milímetros para los meses comprendidos entre enero de 2008 y abril de 2009
- Figura 7 – Relación entre temperatura y pluviosidad durante el período enero 2008 – abril 2009
- Figura 8a – Relación entre NH_4/NO_3 año 2008
- Figura 8b – Relación entre NH_4/NO_3 año 2009
- Figura 9 – Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de agua de 2008
- Figura 10 – Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de agua de 2009
- Figura 11 – Porcentajes relativos de las principales fracciones de sedimentos en las estaciones de la Cuenca del Arroyo Carrasco
- Figura 12 – Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de sedimentos de 2008
- Figura 13 – Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de sedimentos de 2009

SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO

AII – Asentamientos Irregulares

ACGIH - American Conference of Industrial Hygienists

ACP – Análisis de Componentes Principales

ANOSIM – Análisis de Similaridades

APHA – American Public Health Association

ARCAL – Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe

CAC – Cuenca del Arroyo Carrasco

CCME – Canadian Councils of Ministers of the Environment (Consejo de Ministros del Medioambiente de Canadá)

CDC - Centers for Disease Control and Prevention (EUA)

CF – Coliformes fecales

CONEAT – Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra

DBO – Demanda Bioquímica de Oxígeno

DIEA - Dirección de Investigaciones Económicas y Agropecuarias

DINAMA – Dirección Nacional de Medio Ambiente

DINASA – Dirección Nacional de Saneamiento y Aguas (ahora DINAGUA)

DNM – Dirección Nacional de Meteorología

DNETN – Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear

DSA – División Suelos y Agua del MGAP

EDXFR - Espectrofotometría de Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía

EMAP - Environmental Monitoring and Assessment Program

ENHA – Encuesta Nacional de Hogares Ampliada

EPA – Environmental Protection Agency

FE – Factor de Enriquecimiento

IGEO – Índice de Geoacumulación

IMFIA - Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería

IM – Intendencia de Montevideo (A partir de 2011 la IMM pasó a ser IM)

IMM – Intendencia Municipal de Montevideo.

INE – Instituto Nacional de Estadística

INIA – Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

ISQGs – Interim Sediment Quality Guide (guías interinas de calidad de sedimento)

IUCN – International Union for Conservation of Nature (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)

K – Conductividad

LHA - Laboratorio de Higiene Ambiental

MGAP – Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca

MO – Materia orgánica

MOS – Materia orgánica en suspensión

NSTP – National Status and Trends Program

Nt – Nitrógeno total

OD – Oxígeno disuelto

OIEA - Organismo Internacional de Energía Atómica

PECAC – Plan Estratégico para la Cuenca del A° Carrasco

PEL – Probable Effects Level (efecto de nivel probable).

Pt – Fósforo total

SADI – Solicitud de Autorización de Desagüe Industrial

SICA – Sistema de Información del Censo Agropecuario

SIG – Sistema de Información Geográfica

SRP – Fósforo reactivo soluble

SST – Sólidos en suspensión totales

SQG – Sediment Quality Guide (valores guía de calidad de sedimentos)

SSTT – Spiked-Sediment Toxicity Test

TEL - Threshold Effects Level (nivel de efecto umbral).

UdelaR - Universidad de la Republica

USDA - U.S. Department of Agriculture

WHO – World Healthy Organization

RESUMEN

Se estudió la calidad de agua y de sedimentos con énfasis en metales pesados en la Cuenca del Arroyo Carrasco (CAC) en dos oportunidades, en el periodo comprendido entre fines de invierno en 2008 y fines de verano del 2009, con el fin de conocer la distribución espacial de metales pesados presentes en los sedimentos, diferencias temporales y las relaciones con los usos de la cuenca asociada.

La CAC está limitada hacia el Oeste con la ciudad de Montevideo y su principal tributario, el Arroyo Toledo, hace de límite con el departamento de Canelones hacia el Este. La CAC es rural en casi un 65% y en ella se desarrollan actividades hortícolas, frutícolas, campos para forraje y cerealeros. Hay una importante actividad de cría de animales sobretodo de aves de corral con casi 415.000 aves. La densidad demográfica en la CAC es de 1600 personas/Km² de las cuales *ca.* 20,5% viven en asentamientos irregulares. La parte industrial de la cuenca está concentrada sobretodo en la Cañada de la Chacarita y existen algunas canteras de explotación de áridos activas y otras ya abandonadas.

El fósforo total y coliformes fecales fueron los principales factores que comprometieron la calidad de agua en la CAC. El fósforo no cumplió con los valores estipulados por el decreto 253/79 para un uso del agua de clase 3 (aguas destinadas a la preservación de fauna y flora) en todas las estaciones estudiadas en ambos muestreos, mientras que los coliformes fecales sobrepasaron los valores guía en 9 de 10 estaciones en 2008 y en 6 de 10 en 2009. Los demás parámetros analizados en agua: nitratos, oxígeno disuelto y D.B.O. se alejaron de lo estipulado por el Decreto. Esto ocurrió en más estaciones de muestreo a fines de verano (2009) que a fines de invierno (2008). Con referencia a los metales pesados en sedimentos, la Cañada de la Chacarita es la más comprometida, presentando niveles en sedimentos por encima de PEL (nivel probable de efecto tóxico) para el Cr, Ni, Cu, As y Hg. El Cr es el metal de mayor preocupación ambiental en este sistema, seguido de Ni, Zn, Cu y Pb.

Se propone valores de línea de base para metales pesados para la Cuenca del Arroyo Carrasco (valores en µg/g peso seco): Cr - 57,85 µg/g; Ni - 13,26 µg/g; Cu - 26,04 µg/g; Zn - 63,10 µg/g; As - 6,75 µg/g y Pb - 20,98 µg/g, valores estos que pueden resultar útiles a la hora de evaluar enriquecimiento metálico debido a aportes recientes.

Del estudio integrado del agua y sedimentos se destaca la Cañada de la Chacarita como la más afectada en cuanto a la calidad ambiental, seguido de la Cañada de las Canteras y el Arroyo Manga a la altura de Camino Repetto. Las principales amenazas a estos lugares son la presencia de asentamientos irregulares que llevan asociados la cría de animales, la actividad de clasificación de residuos y la presencia de basurales endémicos. Las industrias textil y de curtiembres tienen incidencia sobre la Cañada de la Chacarita y de las Canteras ya sea por actividades presentes o residuales del pasado. La Cañada de las Canteras en tanto, es la que más sufre el impacto por la cercanía al vertedero municipal.

De las hipótesis planteadas en este trabajo, la distribución espacial de metales pesados en la cuenca es explicada mayoritariamente por la distribución espacial de las actividades humanas y no por el arreglo espacial de formaciones geológicas. En cuanto a si existieron diferencias temporales en las concentraciones de metales medidos, se encontraron diferencias significativas en 9 de 22 metales, siendo las concentraciones mayores a fines de verano (2009) para K, Ti, Fe, V, As, Rb, Y y Nb. Estas diferencias concordaron con el patrón originalmente esperado, mayor concentración en los períodos de menor caudal. Solamente el Sr presentó mayor concentración a fines de invierno (2008). Además de la actividad industrial, algunos de esos elementos podrían estar asociados a un aporte diferencial de abonos orgánicos y productos agroquímicos en los cultivos.

Este deterioro de la calidad de las aguas de la CAC afecta varios servicios ecosistémicos como ser el abastecimiento de agua y alimentos, depuración del agua, el ciclo de los nutrientes y otros servicios no materiales, como los valores estéticos, educativos y recreativos.

El conocimiento de los principales focos de contaminación en la CAC y su relación con la población vulnerable expuesta a un ambiente cuya calidad ambiental está comprometida, puede resultar en una contribución valiosa para definir políticas de ordenamiento territorial y de regulación de los usos del suelo en cuenca.

Palabras clave: Cuenca del Arroyo Carrasco, metales pesados, calidad ambiental, línea de base

ABSTRACT

We studied the quality of water and sediments in Carrasco Stream Basin (CAC – Cuenca del Arroyo Carrasco) with a special focus on heavy metals in sediments. Samples were conducted on two occasions - in the late winter of 2008 (Sept/Oct) and in the late summer of 2009 (April), in order to know the spatial distribution of heavy metals in sediments, temporary differences and its relationships with the uses of the associated basin.

The CAC limits westward to the city of Montevideo and its main tributary, the Toledo Stream, acts as the limit with the department of Canelones toward East. The CAC is rural by almost 65% and the main crops are horticulture, fruit, grain fields and fodder. There is an important livestock activity, especially poultry with almost 415,000 chickens. Population density at the basin reaches 1,600 persons per Km² of which *ca.* 20,5% live in informal settlements. Industries are concentrated mainly in the Cañada de la Chacarita and also exists some active quarries whose principal exploitation are aggregates for the building industry and some abandoned quarries.

The total phosphorus and fecal coliforms were the main factors that compromised the quality of water in the CAC. The phosphorus did not meet the values stipulated by Decree 253/79 for a water use class 3 (water for the preservation of fauna and flora) in all sampling stations at both seasons, while the fecal coliform values exceeded guide in 9 of 10 sampling stations in 2008 and 6 of 10 in 2009. Other parameters analysed in water: nitrates, dissolved oxygen, and B.O.D. did not meet the values of the Decree in more sampling stations at the end of the summer (2008) than at the end of the winter (2009). Respect to the heavy metals in sediments, the Cañada de la Chacarita is the most affected, presenting levels above the PEL (Probable Effects Levels) value for the Cr, Ni, Cu, As and Hg. The Cr is the metal of greatest environmental concern in this basin, followed by the Ni, Zn, Cu and Pb.

Baseline values were proposed for the CAC ($\mu\text{g/g dw}$): Cr - 57,85 $\mu\text{g/g}$; Ni - 13,26 $\mu\text{g/g}$; Cu - 26,04 $\mu\text{g/g}$; Zn - 63,10 $\mu\text{g/g}$; As - 6,75 $\mu\text{g/g}$ and Pb - 20,98 $\mu\text{g/g}$. These values can be useful when assessing metal enrichment due to recent contributions.

Integrated study of water and sediment highlights the Cañada de la Chacarita the most affected in terms of environmental quality, followed by the Cañada de las Canteras and Manga Stream up to Camino Repetto. The main threats to these places are the presence of settlements that are associated with animal husbandry, the waste sorting activity and

the presence of dumps. The textile and tannery industries have an impact on the Cañada de la Chacarita and las Canteras caused either by present or residual activities of the past. La Cañada de las Canteras meanwhile, is the most impacted by the proximity to the municipal landfill.

From the assumptions made in this study, the spatial distribution of heavy metals in the basin is mainly explained by the spatial distribution of human activities and not by the spatial arrangement of geological formations. As to whether there were temporal differences in metal concentrations measured, significant differences were found in 9 of 22 metals, with higher concentrations in late summer (2009) for K, Ti, Fe, V, As, Rb, Y and Nb. These differences were consistent with the pattern originally expected, the higher concentration in low flow periods. Only Sr had higher concentration in late winter (2008). In addition to industrial activity, some of these elements might be associated with a differential input of organic fertilizers and agrochemicals in crops.

The deterioration of the water quality of the CAC affects several ecosystem services such as the food and water supply, purification of water, nutrient cycling and other non-material values such as aesthetic, educational and recreational.

Knowledge of the main sources of pollution in the CAC and its relationship to the vulnerable population exposed to an environment whose environmental quality is compromised, can result in a valuable contribution to define planning policies and regulation of land use in the basin.

10

Keywords: Cuenca del Arroyo Carrasco, heavy metals, environmental quality, baseline

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas sufren presiones de diferentes índoles. Entre los factores que impactan negativamente sobre los mismos podemos mencionar: la sobreexplotación de recursos, el uso de materiales que no se reciclan a la velocidad de producción, la población excedente y la pobreza (Tommasino & Foladori, 2001). Los ríos en particular son receptores de diferentes contaminantes provenientes de su cuenca de drenaje, transportando materiales desde las zonas altas de la cuenca hacia abajo, desde el continente hacia el mar.

Contaminación implica la introducción antrópica en forma directa o indirecta de sustancias o energía en el ambiente acuático, resultando en un efecto deletéreo o nocivo en los recursos vivos, daños a la salud humana, interferencias a actividades como la pesquería, reducción de la calidad del agua y pérdida de valores recreativos (Rand, 1995). Según Meybeck (1990), contaminación es la evolución en relación a un estado inicial natural, el cual es difícil determinar debido a los grandes impactos de origen humano que son múltiples y antiguos. Los efectos más dramáticos involucran cambios directos y continuos en la química de las aguas debido a la eutrofización y acidificación, a las alteraciones de largo plazo en la morfología y hábitats de los ríos y arroyos a través de rectificación y canalización, la destrucción de zonas riparias y la introducción de especies exóticas (Giller & Malmqvist, 1998). Al ser un recurso de uso múltiple, muchas de las funciones de los sistemas acuáticos se ven afectadas simultáneamente por la contaminación: suministro de agua, hábitat, calidad y cantidad de agua y producción de alimentos (IUCN, 2000).

La contaminación crónica de origen doméstico, industrial y minero pasa generalmente inadvertida a menos que el funcionamiento del sistema fluvial tenga un impacto visual

(residuos flotantes, peces muertos a la deriva, espuma, algas) (Meybeck, 1990). La contaminación de las aguas puede tener origen puntual o difuso. Las fuentes puntuales son los desagües directos de aguas residuales de industrias y domésticos. Generalmente ocurren en la escala de un tramo del río y actúa como un disturbio de corto plazo. Las aguas de escorrentía, aluvión, arrastre y la deposición atmosférica seca o húmeda, son fuente difusa de contaminación y por lo tanto mucho más difíciles de controlar e identificar (Rand, 1995).

Las aguas corrientes tienen gran resistencia al cambio y pueden autodepurarse aguas abajo si la entrada de contaminantes no es excesiva. Sin embargo, entradas extensas, continuas o concentradas, sobrepasan la capacidad de autodepuración de las aguas (Giller & Malmqvist, 1998). La autodepuración consiste en la degradación bacteriana de la materia orgánica, acompañada por procesos de dilución y sedimentación de los contaminantes, por lo que está estrechamente vinculada a las características hidrológicas del curso y a las propiedades físicas y químicas del agua y de los sedimentos (Arocena & Pintos, 1988). También va a depender de la naturaleza de las propiedades químicas, físicas y biológicas del contaminante (Petts, 1997). La degradación de la calidad de los ríos es dependiente del caudal; para una misma presión humana existe una relación inversa entre el tamaño del río y su contaminación (Meybeck, 1990).

Los metales pesados

En los sistemas acuáticos la contaminación por metales pesados tiene serias implicaciones sobre la biota dado su potencial de acumularse en tejidos vivos y su persistencia (Petts *et al.*, 1997). Los efectos de la exposición a estas sustancias van a depender del nivel y duración de la exposición (Petts *et al.*, 1997) y de la especie activa del contaminante, lo que va a determinar la biodisponibilidad del elemento (Rand, 1995, Petts *et al.*, 1997).

No hay un consenso en la definición del término "metal pesado". En general las definiciones son bastante imprecisas, refiriéndose tanto al elemento como a sus compuestos. Se han empleado varios criterios de clasificación basados en la densidad, masa atómica o número atómico, pero todas esas definiciones tienen poca significancia biológica (Duffus, 2002).

Es común encontrar que diversas fuentes bibliográficas mencionan entre los metales pesados a distintos elementos, metales y semimetales y además a algunos de sus compuestos. También se incluye a veces a un no metal. Todo esto puede contribuir a causar cierta confusión sobre este tema. Sin embargo, una clasificación más adecuada de los metales pesados debe estar relacionada con los efectos tóxicos sobre los componentes bióticos y no bióticos de la biosfera (González-Soto *et al.*, 2000). La toxicidad y la esencialidad deben ser definidas con referencia a la curva dosis-respuesta de la especie en estudio (Duffus, 2002).

El término metal pesado incluye los metales trazas esenciales y los no esenciales, que pueden ser tóxicos a los organismos vivos dependiendo de sus propiedades, disponibilidad y niveles de concentración (González-Soto *et al.*, 2000). Si bien los organismos vivos necesitan de varios de estos elementos traza para desarrollar las funciones biológicas básicas, tanto la deficiencia como el exceso de estos elementos pueden causar desorden a nivel fisiológico. Algunos elementos son prominentemente clasificados como tóxicos. El plomo, mercurio y cadmio por ejemplo, presentan efectos negativos, incluso a bajas concentraciones. Cualquier elemento traza puede ser potencialmente tóxico si excede los límites de exposición segura. Esos límites varían ampliamente entre un elemento y otro (Ward, 2000).

Entre los metales que representan mayor riesgo para la salud y que más se movilizan de manera cotidiana están el plomo, el mercurio y el cadmio. El primero ha sido usado contemporáneamente como antidetonante en las gasolinas, así como en baterías, productos metálicos diversos, soldadura y pigmentos. El mercurio se vincula con los

deshechos de los aparatos eléctricos, la producción de cloro y soda, pinturas, plaguicidas, dispositivos de medición, catalizadores y preparaciones dentales (Páez-Osuna, 2005). El cadmio por su parte, tiene un amplio uso en el galvanizado, la producción de pigmentos, estabilizadores plásticos, aleaciones y baterías. Aproximadamente 80 a 90% del arsénico producido cada año se aplica en suelos como plaguicida orgánico (Nriagu & Pacyna 1988).

Elementos traza esenciales para las plantas son aquellos que no pueden ser sustituidos por otros en sus roles bioquímicos específicos y tienen una influencia directa en el organismo de forma que él no puede crecer ni completar algún ciclo metabólico. Una variedad de elementos como boro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sílice y zinc son conocidos por ser esenciales para las plantas. Esos elementos están involucrados en procesos metabólicos claves, como respiración, fotosíntesis y asimilación o fijación de nutrientes (Ward, 2000).

En humanos y animales, los elementos traza son definidos como esenciales si la falta o agotamiento resulta en algún síndrome de deficiencia y el aporte del elemento revierte la anormalidad. Los elementos que son esenciales para humanos y animales son: arsénico, cobalto, cromo, cobre, flúor, hierro, iodo, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, sílice, estaño, vanadio y zinc (Ward, 2000).

Los metales potencialmente tóxicos pueden ser subdivididos en dos categorías: (1) metales de transición, tales como el cobalto, cobre, manganeso y zinc, los cuales son esenciales para el metabolismo en bajas concentraciones, pero pueden ser tóxicos en concentraciones elevadas; y (2) los metales y metaloides, tales como el plomo, cadmio, mercurio, arsénico, selenio y estaño, los cuales generalmente no son requeridos para el metabolismo y son tóxicos en bajas concentraciones (Páez-Osuna, 2005).

El efecto total de los elementos traza en los organismos vivos está directamente relacionado a las interacciones ambientales, geológicas y biológicas. Por ejemplo, la composición mineral del suelo puede influir fuertemente en la composición elemental de

la vegetación, la cual influye a su vez en los fluidos y tejidos humanos y animales por la vía de la trama trófica (Ward, 2000).

Cabe destacar que de los elementos analizados en este trabajo y que están todos agrupados bajo la denominación metales pesados, no todos corresponden a esta categoría. El azufre, selenio y bromo no son metales y el arsénico es un semi-metal.

Los metales pesados en el ambiente

Los elementos traza y metales pesados en el ambiente pueden ser de naturaleza geogénica (origen natural) o antropogénica. Cuando los contenidos de metales se atribuyen a la composición de los distintos minerales que componen el suelo, se habla de origen natural. Los metales son de origen antrópico cuando las concentraciones son mayores a las correspondientes a su composición geoquímica (Petts, 1997). Los metales pesados pueden provenir de varias fuentes de origen antropogénico (Tabla 1), como ser los vertidos industriales, las actividades de minería y fundición, la aplicación de productos químicos en la agricultura, de los residuos domésticos o también del tráfico de rodados a través de la deposición aérea (Petts, 1997).

Las fuentes naturales de metales pesados, en los lugares libres de la interferencia antrópica, dependen fundamentalmente de la composición mineralógica del material parental y de los procesos de meteorización a los cuales los materiales que componen el suelo están sometidos (Adriano, 1992). Los elementos traza originados desde distintas fuentes pueden alcanzar la superficie del suelo y su destino depende de las propiedades físicas y químicas del mismo (Adriano, 1992; Kabata-Pendias, 1992). Los principales procesos que aportan metales al ambiente acuático son el intemperismo o meteorización de las rocas, la degasificación, el vulcanismo terrestre y submarino, y los procesos relacionados con los sedimentos marinos (Páez-Osuna, 2005).

Para la mayoría de los metales, la fuente dominante hacia el medio marino son las aguas de escurrimiento (incluidos los ríos), siendo la excepción el caso de algunos elementos como el mercurio y el plomo, cuya ruta atmosférica es importante y significativa, particularmente, cuando se consideran los ingresos que llegan hasta el océano abierto (Páez-Osuna, 2005).

La entrada de metales pesados desde la atmosfera al suelo es importante debido a sus efectos acumulativos y porque son más difíciles de limitar y controlar (Haygarth, 1992). Esto es debido principalmente a las actividades antropogénicas de combustión, las cuales han incrementado sustancialmente la emisión de algunos metales pesados a la atmosfera.

También hay evidencia que los elementos adheridos a la superficie de los cultivos y en fase gaseosa pueden ser absorbidos por el follaje de las plantas. Para el plomo, por ejemplo, se ha demostrado que cerca del 90% del total asimilado por las plantas es debido a la deposición atmosférica más que el transporte desde los suelos, implicando que la deposición atmosférica representa una fuente significativa de entrada de metales a la trama trófica, particularmente cuando los niveles de base del suelo son relativamente bajos (Haygarth, 1992).

En áreas urbanas, la persistencia de plomo derivado de la atmosfera en la superficie de los suelos es de particular preocupación en la salud de los niños, debido a las transferencias de plomo de la mano a la boca (Haygarth, 1992; IM 2005). Recientemente la preocupación se focaliza en las implicaciones de la acumulación en los suelos de metales derivados de la atmosfera; concretamente en el impacto en la fertilidad del suelo debido a efectos sutiles sobre los microorganismos implicados en los procesos de ciclado de nutrientes y descomposición en los suelos superficiales, especialmente en bosques (Haygarth, 1992).

La concentración de elementos traza en suelos se incrementa con el aumento de las actividades industriales y agrícolas (Chen *et al.*, 1998). En los ambientes acuáticos, el estudio del sedimento superficial permite establecer una distribución espacial de los elementos depositados recientemente (Petts *et al.*, 1997). Los metales transportados en los sistemas acuáticos debido a su baja solubilidad, se fijan rápidamente sobre el material sólido (Rubio *et al.*, 2000). La unión del metal con el material en suspensión llevará en último término, a la incorporación de los elementos traza al sedimento. Es por ello que los sedimentos son adecuados para el estudio de contaminación de metales pesados ya que sus concentraciones son varios órdenes de magnitud superior que en el agua (Petts *et al.* 1997, Rubio *et al.*, 2000). Por otro lado, el estudio de la columna de sedimento, permite conocer los cambios históricos de los parámetros que interesan para definir zonas de polución o niveles basales de estos elementos (Petts *et al.* 1997, Rubio *et al.*, 2000).

En cuanto a fuentes antropogénicas, la Tabla 1 resume los aportes de metales pesados provenientes de la industria y del tránsito vehicular. También se incluyen los contenidos de metales pesados detectados en el guano de animales. En el caso particular de este estudio, el último punto es importante considerando que existen sectores de la cuenca con una importante producción animal.

Tabla 1 – Metales pesados lanzados al ambiente desde distintas actividades antropogénicas (Petts, 1997; Ward, 2000; Ministerio de Agricultura de Chile, 2005; Páez-Osuna, 2005; Zafra-Mejía *et al.*, 2007).

| Actividad | Cd | Cr | Cu | Fe | Hg | Mn | Pb | Ni | Sn | V | Zn | As | Al |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|
| Celulosa y Papel | | X | X | X | X | | X | X | | | X | | X |
| Petroquímica | X | X | | X | X | | X | | X | X | X | | |
| Química | X | X | X | X | X | | X | X | X | | X | | X |
| Fertilizantes | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| Agroquímicos | X | | X | | | | | | | | | | X |
| Preservación de la madera | | X | X | | X | | | | | | | X | |
| Refinerías de Petróleo | X | X | X | X | | | X | X | | | X | | |
| Acero | X | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | | |
| Fundidoras | X | X | X | | X | | X | | | | X | X | |
| Motriz | X | X | X | | X | | | | X | | | | |
| Cemento | | X | | | | | | | | X | X | | |
| Textil | | X | X | | | | | | | | | | |
| Curtiembre | | X | | | | | | | | | | | |
| Termoeléctrica | | X | X | | | | | | | | X | X | |
| Vehicular | X | X | X | X | | X | X | X | | | X | X | |
| Efluentes domésticos | X | X | X | | | | X | X | | | X | | |
| Guano y estiércol | X | X | X | | X | | X | X | | | X | | |
| Lodos de aguas servidas | X | X | X | | X | | X | X | | | X | X | X |

ANTECEDENTES

Hay varios estudios desarrollados en la Cuenca del Arroyo Carrasco que abordan tópicos ambientales. Estudios referentes a las obras de desecación y posterior arborización de los bañados (Quinteros, 1940; Caldevilla, 1940, Laffite, 1942), geología de los bañados (Veloza, 1975), suelos (Sganga y Silva, 1977; Frommel, 1985), fauna y flora (Legrand, 1959; Prigione & Langone, 1984) estudios de contaminación de los arroyos Toledo y Carrasco así como la relación de las comunidades bentónicas y las macrófitas con la calidad del agua y su uso como indicadores de degradación y recuperación ambiental (Arocena, 1991, 1996, 1998; Arocena *et al.*, 1988, 1989, 1992, 1994; Chalar, 1994). Dentro de la UdelaR (Universidad de la Republica) se llevaron a cabo otros trabajos en el marco de pasantías, como el de Horta (2002) y otros surgidos en los talleres de la Facultad de Arquitectura.

El IMFIA (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República) ha realizado trabajos sobre aspectos de la dinámica hidráulica-hidrológica de los Bañados de Carrasco y el funcionamiento e impacto de las obras de canalización construidas en la década de 1970.

En cuanto a metales pesados cabe mencionar el estudio de Lacerda *et al.*, 1998 en los Bañados de Carrasco y varios desarrollados en la Bahía de Montevideo: Moyano *et al.* (1991), Moresco *et al.*, (1993) Danulat *et al.* (2002), Muniz *et al.* (2002, 2004a, b), OIEA, (1997), García-Rodríguez *et al.* (2010), Burone *et al.* (2011), por mencionar algunos. Esos estudios clasifican el nivel de polución de metales pesados según parámetros internacionales y en comparación con otras regiones de Latinoamérica, encontrándose que los niveles y rangos de variación de los datos son similares a aquellos en donde se reporta sitios con gran impacto antropogénico. En todos esos estudios se encontró una importante contaminación por cromo relacionado a la actividad de las curtiembres y en menor grado de plomo y zinc.

Además de los estudios mencionados, hay una importante base de datos de la IM (Intendencia de Montevideo), la cual viene monitoreando el área desde hace décadas. También hay estudios de consultorías: CDM y Asociados (1983) sobre la contaminación del Arroyo Carrasco; Ducuing *et al.* (1985), “Estudio de ordenamiento territorial de la Cuenca del Arroyo Carrasco”; y los del PECAC (Plan Estratégico para la Cuenca del A° Carrasco, 2007).

Por último debe destacarse la actuación de ONG’s locales como APRAC (Asociación Pro Recuperación del Arroyo Carrasco) y ABCRural (Asociación Bañados de Carrasco Rural), conformadas por vecinos de la zona, maestros y docentes de la UdelaR, que permanentemente están monitoreando la zona en cuanto a la fauna, flora y calidad ambiental.

El Uruguay tiene un antecedente reciente de problema ambiental vinculado a metales pesados. La contaminación por plomo llamó la atención pública en el año 2001 a partir de altas concentraciones de plomo encontradas en la sangre de un niño proveniente del barrio La Teja. Sucesivas investigaciones revelaron que otros residentes del barrio contenían concentraciones mayores a 10 µg/dL. Hasta esta fecha se conocían casos clínicos aislados de pacientes expuestos a plomo que fueron afectados debido a su actividad laboral formal o informal incluyendo a veces la exposición de sus grupos familiares (Burger *et al.*, 2010).

A partir de este hecho, se forma una Comisión Interinstitucional del Plomo creada a instancias del Ministerio de Salud Pública en el año 2001. El principal énfasis es sobre los niños expuestos al plomo ambiental. El Uruguay adoptó los valores de referencia para niveles de plomo en sangre en niños de 10 µg/dL, tomado de CDC (1991) y niveles de plomo en sangre de 30 µg /dL para trabajadores, estos últimos tomados de los estándares de la ACGIH (Mañay, 2008).

En este mismo año se empiezan estudios en suelos por parte del Laboratorio de Higiene Ambiental (LHA) de la Intendencia de Montevideo (IM) consistentes en la determinación, estudio y evaluación de espacios contaminados por metales, principalmente plomo, pero extensivo a cromo y/o cadmio según el caso.

Para evaluar la incidencia del uso de plomo en las naftas en el suelo, el LHA realiza en el año 2002 un estudio de suelos superficiales, abarcando distintas zonas del Departamento de Montevideo (rurales, suburbanas y urbanas). Se comparan los resultados con los niveles de referencia de suelos para uso residencial con la normativa de Canadá: 140 mg/kg (*Canadian Councils of Ministers of the Environment* (CCME) 1999) y de Estados Unidos de América: 400 mg/kg (*Environmental Protection Agency* (EPA, 2001)). A partir de un total de 99 muestras se encontró que un 21,5 % de las muestras evaluadas tenían concentraciones de plomo entre el nivel de referencia de la EPA y el nivel canadiense, pero no se encontraron niveles de plomo superiores al nivel de referencia de Estados Unidos. También se realizaron muestreos en diferentes asentamientos irregulares; de 1015 muestras se encontró un 18% con concentraciones mayores que el nivel de referencia de Canadá y un 11 % mayor que la EPA. Como consecuencia de estos hechos y por recomendación de la Comisión Interinstitucional del Plomo, se prohíbe el uso de plomo orgánico como antidetonante en el mes de diciembre de 2003, pasándose a producir exclusivamente naftas sin plomo (Feola *et al.*, 2010).

También relacionado a este tema se promulgan las siguientes normas jurídicas: Resolución IMM N° 1571/ 2001, "Sobre tuberías de distribución de agua potable"; Decreto 373/003 (año 2003), "Reglamento de baterías plomo-ácido y en el año 2004 la Ley 17.774 "Prevención y control de la exposición al plomo a nivel ocupacional" y la Ley 17.775 (año 2004), "Control de la contaminación por plomo: Declaración de interés general" y en el año 2011 el Decreto 69/011 – donde se establecen limitaciones al contenido de plomo en pintura y barnices, reglamentario de la Ley 17.775.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La contaminación ambiental por metales pesados es antigua. El plomo, que es el metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente, fue ampliamente usado por los romanos para construir tuberías para conducir agua, vasijas para vino y objetos similares. Hasta la década de 1970 fue muy utilizado en pinturas, conductos para agua en las viviendas y hasta no hace mucho tiempo en algunos combustibles para automotores (Schinitman, 2004). Las actividades extractivas a gran escala han alterado el ciclo biogeoquímico de los elementos. Actividades como la minería, la industria, el uso de fertilizantes aportan diferentes elementos al ambiente, particularmente metales pesados. A nivel internacional se pueden encontrar niveles de referencia para metales en diferentes matrices ambientales (suelos, sedimentos, agua, aguas residuales), como por ejemplo en la legislación de la U.S. E.P.A., la Legislación Canadiense y de la Unión Europea.

La Legislación Uruguaya no cuenta con datos de estándares ambientales para metales pesados en sedimentos. Sí lo tiene para algunos metales en el agua (Decreto 253/79 y modificativos). En un momento de aceleradas mudanzas en el modelo económico y productivo del país, es de vital importancia comenzar a confeccionar una base de datos de la distribución y concentración de metales pesados en las diferentes matrices ambientales.

Para el Plan de Ordenamiento Territorial de Montevideo, los Bañados de Carrasco y el Arroyo Toledo son considerados áreas de recuperación ambiental (IMM, 2001). Se destacan por su biodiversidad y se considera que deberían ser objeto de medidas de gestión y manejo tendientes a preservar y recuperar estas áreas con fines de recreación, turismo y educación. En este sentido, es fundamental conocer las condiciones fisicoquímicas y el funcionamiento del sistema hidrológico para establecer las acciones a implementar para la recuperación ecológica.

La restauración o recuperación ecosistémica comprende varias fases. Este estudio estará contribuyendo a la primera fase de la restauración ecológica: identificación y posterior supresión o atenuación de los factores responsables de la degradación ambiental. La fuente de contaminación hacia los arroyos de la cuenca debe, en primer lugar, ser controlada, porque de otra forma la restauración no será posible (Primack, 2000). Es importante conocer que tan alterado está el ecosistema para saber en qué punto estamos y que posibilidades reales hay para llegar a una rehabilitación o restauración.

Si bien la zona ha sido extensamente estudiada, no hay un análisis simultáneo de agua y sedimentos. El aporte de este estudio incluye variables de peso en cuanto a la calidad ambiental del sistema. La información generada en este trabajo con énfasis en la contaminación por metales pesados va a permitir detectar sitios críticos en cuanto a la calidad ambiental. Es necesario detectar los focos de contaminación para poder controlarlos y detener los procesos de degradación ecosistémica. Todos esos elementos constituyen un importante aporte para una adecuada gestión integrada de la cuenca, tanto en la aplicación de políticas regulatorias como para la planificación territorial.

El crecimiento poblacional con el consecuente avance de la mancha urbana hacia zonas periféricas de uso rural y en particular el aumento de sectores de la población con necesidades básicas insatisfechas en el área (Instituto Nacional de Estadística - INE, 1996) ha aumentado la presión sobre los arroyos y el ambiente de la CAC. Los sectores de población vulnerable que se establecen en asentamientos irregulares (AAII) realizan como principal actividad económica, la clasificación y comercialización de residuos urbanos y la cría de animales. Estos AAII no han contado mayormente con servicios básicos de saneamiento y gestión de los residuos peligrosos que sus actividades generan. Dada las presiones derivadas de los AAII resulta pertinente la evaluación de las condiciones actuales tendientes a identificar áreas críticas y contribuir con ello a las acciones de toma de decisiones en la gestión del territorio.

OBJETIVOS

Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es conocer las concentraciones de metales pesados presentes en los sedimentos de la Cuenca del Arroyo Carrasco (CAC), sus distribuciones espaciales, diferencias temporales y las relaciones con los usos de la cuenca asociada.

Objetivos específicos:

1. Investigar los antecedentes de la zona en estudio y analizar los principales usos del suelo.
2. Determinar la concentración y la distribución de metales pesados en los sedimentos de los arroyos y cañadas de la CAC.
3. Determinar si las diferentes formaciones geológicas ejercen influencia sobre las concentraciones de los metales pesados estudiados.
4. Identificar posibles fuentes de aporte de metales pesados a la cuenca.
5. Establecer un nivel de base para los metales níquel, cromo, cobre, arsénico, plomo y zinc en la CAC.

HIPÓTESIS

La presente tesis incluye el análisis de las siguientes hipótesis:

- 1- Las distintas formaciones geológicas no condicionan la distribución espacial de metales pesados en la cuenca, los mismos son explicados mayoritariamente por la distribución espacial de las actividades humanas.
- 2- Existen diferencias temporales en las concentraciones de metales medidos debido a un efecto de dilución del sistema, considerando un período de mayor caudal (fines de invierno) y de menor caudal (fines de verano).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La CAC es una cuenca rural-urbana, compartida por los departamentos de Montevideo y Canelones (Fig. 1) que posee un área de 205,54 km² (PECAC, 2007). El clima según la clasificación climática de Köppen se corresponde con “Cfa” (templado y húmedo: tipo “C”; precipitaciones todo el año: tipo “F”; y temperatura del mes más cálido superior a 22 ° C: tipo “a”). La Tabla 2 resume las condiciones climáticas para la CAC.

Tabla 2: Datos climáticos para la estación Carrasco, media uruguaya (medias anuales) (periodo 1961 - 1990) y máximas y mínimas mensuales

| Variable | Carrasco | Uruguay |
|------------------------------------|----------------------------|--|
| Temp. °C (min- max) | 16,5 (10,7 - 22,7) | 17,5 (16 - 19) |
| % Humedad relativa (min- max) | 75% (68% - 82%) | 75% (72%- 81%) |
| Presión hPa (min- max) | 1015,2 (1011,2 -1018,4) | 1014,5 - 1016,5 |
| Velocidad viento m/s (min- max) | 5,7 (5,2 - 6,1) | 4 a 7 m/s. Es frecuente vientos > 30 m/s. |
| Precipitación mm (min- max) | 1098 (78 - 107) | 1300 (1100 - 1600) |

Fuente: Dirección Nacional de Meteorología

Las características de las principales cuencas asociadas al arroyo Carrasco son indicados en la Figura 1 y Tabla 3.

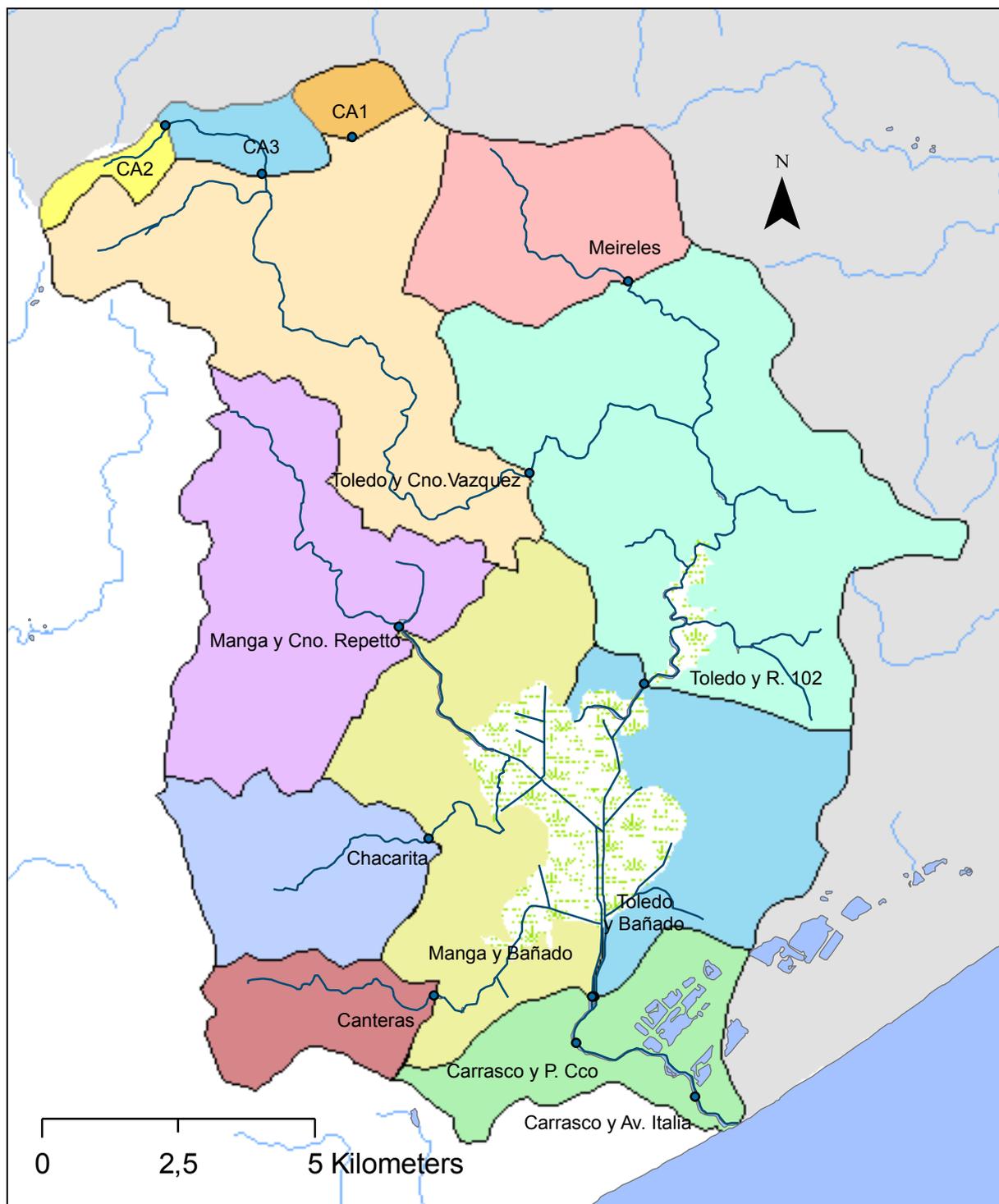


Fig. 1 - Cuenca de drenaje del arroyo Carrasco y principales tributarios. Los puntos indican las estaciones de muestreo correspondiente a cada microcuenca de drenaje. Al centro de la figura se ubican los Bañados de Carrasco, ocupando un área aproximada de 11,5 Km².

Tabla 3 - Principales cuencas asociadas al arroyo Carrasco

| Cuenca | Longitud (km) | Área (km ²) | % del área total | Caudal estimado(m ³ /s)* |
|-------------------------|---------------|-------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Toledo | 27,8 | 94,1 | 54,3 | 0,26 |
| Manga | 9,8 | 29,9 | 17,3 | 0,109 |
| Chacarita | 5,4 | 13,7 | 7,9 | 0,093 |
| Canteras | 7,4 | 10,3 | 5,9 | 0,022 |
| Carrasco | | | | 1,484 |
| Escurrimientos directos | 11,5 | 25,3 | 14,5 | |

Fuente: CDM & asociados (1983)

* Los datos de caudales fueron estimados en campañas de monitoreo realizadas por la Intendencia Municipal de Montevideo.

El Arroyo Carrasco, en el límite de los departamentos de Montevideo y Canelones, es un curso de orden 5, formado por las confluencias de los Arroyos Manga y Toledo, ambos de orden 4. El sistema hidrográfico presenta además 67 cursos de orden 1, 20 de orden 2 y 6 de orden 3 (Arocena, 1999).

27

El curso principal del sistema es el Arroyo Toledo, el cual nace en la bifurcación de la Cuchilla Pereira y Cuchilla Grande y recorre zonas rurales y suburbanas (IMM 2005). Tiene una longitud de 28 km, una cuenca de 94 km² y representa el 54% del área total (CDM 1983). Recibe las aguas del pequeño efluente del Arroyo Meireles por el norte y luego desemboca en el bañado, desde donde se encuentra canalizado.

El Arroyo Manga tiene 10 km de longitud en dirección Sureste hasta ingresar al bañado donde está canalizado y recibe los canales de las Cañadas Graserías por el Noreste y de la Chacarita por el Suroeste.

Los canales del Manga y Toledo se unen y corren paralelos en dirección Sur. El Manga recibe las aguas de la Cañada Canteras por el Oeste. Aguas abajo, donde confluyen el

Manga y Toledo, nace el Arroyo Carrasco que corre en dirección Sureste por aproximadamente 5 km hasta su desembocadura en el Río de la Plata (PECAC, 2007).

Los Bañados de Carrasco ocupan el centro de este sistema, ocupando un área aproximada de 11 km² ubicados el 70 % del área en el Departamento de Montevideo y el 30% en el Departamento de Canelones (PECAC, 2007).

Estrategia de muestreo

Se eligieron trece puntos de muestreo para este estudio (Fig. 1). La Tabla 4 detalla las coordenadas de los puntos muestreados. Las estaciones TOL2, TOL3, MAN1, MAN2, CHAC, CANT, CARR1 y CARR2 son las mismas que toma la IM en sus campañas de monitoreo para agua. La IM considera criterios técnicos tales como las características físicas del área, tamaño, forma, tributarios significativos, fuentes puntuales y difusas de contaminación (IMM, 2005). Los puntos MAN1 y CANT fueron desplazados dos cuadras de los que toma la IM con los criterios antes mencionados, debido a la imposibilidad de extraer muestras de sedimentos debido a la canalización del curso. Además se tomaron los puntos MEIR y TOL1 de forma a incluir puntos que sean representativos de cada microcuenca de drenaje. Se incluyeron tres puntos de referencia en la cuenca alta, en una región que se supone menos afectada por las actividades antrópicas, para determinar niveles de base para metales pesados para la Cuenca del A° Carrasco (puntos denominados CA1, CA2 y CA3 -Cuenca Alta (Garín, Mendoza y Toledo respectivamente). En estos puntos solo se tomaron solamente muestras de sedimentos, por tratarse de cauces intermitentes. En los demás puntos se tomaron muestras de sedimento y agua.

Tabla 4 –Puntos de muestreo: coordenadas y siglas utilizadas en este trabajo.

| Cuenca | Estación de Muestreo | X | Y | Sigla |
|------------------|-----------------------------|----------|----------|--------------|
| TOLEDO | CA 1 Garín | 581857 | 6158000 | CA1 |
| | CA 2 Mendonza | 578436 | 6158228 | CA2 |
| | CA 3 Toledo | 578434 | 6158233 | CA3 |
| | A° Meireles y Cno. Andaluz | 586908 | 6155351 | MEIR |
| | A° Toledo y Cno. Vazquez | 585073 | 6151797 | TOL1 |
| | A° Toledo y R. 102 | 587217 | 6147957 | TOL2 |
| | A° Toledo antes A° Carr. | 586276 | 6142177 | TOL3 |
| MANGA | A° Manga y Cno. Repetto | 582712 | 6148986 | MAN1 |
| | A° Manga antes A° Carr. | 586233 | 6142159 | MAN2 |
| CHACARITA | Cda. Chacarita | 583245 | 6145071 | CHAC |
| CANTERAS | Cda. Canteras | 583346 | 6142195 | CANT |
| CARRASCO | A° Carrasco y P. Carrasco | 585929 | 6141310 | CARR1 |
| | A° Carrasco y Av. Italia | 588126 | 6140360 | CARR2 |

Se realizaron dos muestreos: en setiembre/octubre del 2008, período de primavera al cual nos referimos como “fines de invierno” y en abril de 2009, período de otoño, denominado aquí “fines de verano”, con el fin de evaluar si el patrón de distribución espacial de metales pesados es estable en el tiempo. Los puntos de la cuenca alta fueron muestreados una única vez siendo CA1 y CA2 muestreados en el 2008 y CA3 en el 2009.

Usos de la cuenca

Los usos considerados para el análisis son todas aquellas actividades que de alguna forma dejan una expresión sobre el territorio. Esta expresión implica una transformación, tanto sea a través de la construcción de infraestructuras, como en una descarga de sustancias que son lanzadas al ambiente desde las distintas actividades.

Para evaluar los usos de la cuenca se recurrió al examen de imágenes satelitales disponibles en Google Earth, al relevamiento de los censos de población y vivienda

(INE), del Sistema de Información del Censo Agropecuario (SICA – DIEA - MGAP) y a datos bibliográficos.

También se contó con información digital de varias coberturas temáticas provenientes de fuentes diversas: UdelaR, PECAC y algunas disponibles en internet (INE, IM, SICA).

Se procedió a dividir la cuenca en microcuencas en función de las curvas de nivel confluyentes a cada punto de muestreo considerado. Mediante la herramienta CLIP del comando Geoprocessing del Software ArcView 3.2, se cortaron los mapas temáticos y sus bases de datos correspondientes para cada microcuenca a fin de obtener datos específicos para cada una de ellas (población, asentamientos irregulares, cobertura de saneamiento, presencia de industrias). La información disponible sobre las categorías de uso del territorio (urbano, rural o suburbano) del Plan de Ordenamiento Territorial, no cubre el 100 % del área de la cuenca, fundamentalmente relacionada al departamento de Canelones. Para completar dicha información, se asignaron usos a las áreas sin clasificar. Para ello se recurrió a las cartas J28 y J29 1:25.000 del Servicio Geográfico Militar y a imágenes de Google Earth, admitiéndose un error del 5% en el total de las áreas clasificadas.

30

Para la información geológica, se georeferenciaron las cartas geológicas de Montevideo (1:50.000) y Canelones (1:100.000) (Sporturno *et al.*, 2004) en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se digitalizó el contorno de las diferentes formaciones geológicas y se calculó el área de cada una de ellas y para cada microcuenca con un procedimiento de cálculo automático en el ArcGis 9.2.

Los segmentos censales del Sistema de Información del Censo Agropecuario (2000) no son coincidentes con la delimitación de las microcuencas y abarcan áreas mucho más amplias. Para estimar los datos cuantitativos del SICA para cada microcuenca, se ponderaron los datos de acuerdo al área relativa inserta en la CAC. Los datos son

aproximados y resultaron útiles para cuantificar la población animal y usos relacionados a cultivos en la CAC.

Además de datos censales, se realizaron diversas recorridas al terreno y se georeferenciaron aquellos hitos considerados relevantes (presencia de chatarrería, basurales endémicos locales y ladrilleras).

Una vez ingresado todos los datos en el SIG, se armó un mapa de afectaciones territoriales considerando las actividades que pueden potencialmente aportar metales pesados y las actividades que pueden aportar una carga orgánica al sistema. Se seleccionaron los puntos más conflictivos a partir del cruce de coberturas del área de influencia de algunas actividades seleccionadas y la ubicación de algunos hitos territoriales. Para las industrias, canteras y actividades de los clasificadores, se trazó un anillo de área de influencia (buffer) de 1000 m. y para el vertedero municipal y el aeropuerto, un buffer de 2000 metros. Para la cantidad de animales: círculos de diferentes magnitudes (se consideraron por un lado el conjuntos de caballos, cerdos, vacas y ovinos y por otro lado, las aves). Finalmente se ubicaron los AAI, el vertedero municipal y el aeropuerto sobre el mapa pero sin trazar el área de influencia. Los puntos de intersección de todas esas coberturas, con sus zonas de influencia fueron considerados como potenciales focos de contaminación y determinados como áreas críticas.

Colecta y procesamiento de muestras

Agua:

Las muestras de agua fueron tomadas subsuperficialmente por triplicado con botella muestreadora. Las mismas fueron almacenadas en frascos estériles para los diferentes análisis. Las muestras para coliformes fecales y demanda biológica de oxígeno (D.B.O.)

fueron realizadas por el Laboratorio de Higiene Ambiental de la IM. Los demás análisis fueron realizados en la Facultad de Ciencias.

Para el análisis de nutrientes disueltos se filtró la muestra a través de filtros GFC de poro 0.45 μ . El material suspendido retenido en el filtro fue utilizado para estimar sólidos totales en suspensión por el método gravimétrico. Las muestras filtradas y totales fueron almacenadas en frascos a 4°C hasta su procesamiento. La alcalinidad fue medida en la muestra total luego del muestreo.

Para los análisis en agua se utilizaron los siguientes protocolos: nitrógeno total y fósforo total (Valderrama, 1981), nitratos (Müller & Weideman, 1955), amonio (Koroleff, 1970), fosfato (Murphy & Riley, 1962), silicatos (Mullin & Riley, 1955), coliformes fecales (APHA, 1995), demanda bioquímica de oxígeno (APHA, 1995), materia orgánica (APHA, 1995), sólidos en suspensión (APHA, 1995), alcalinidad (APHA, 1995), dureza (APHA, 1995).

Se midieron temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y transparencia *in situ* con sensores de campo.

Sedimentos:

Se colectaron los 5 primeros cm de sedimentos con un corer de PVC de sección 11 cm, en el centro del cauce y a un metro de cada orilla. Se midió el potencial redox en sedimento *in situ* utilizando un electrodo de platino y un electrodo de referencia de calomel de acuerdo a lo descrito en Sommaruga (1987).

Las muestras para el análisis de metales pesados fueron acondicionadas en bolsas de polietileno y luego fueron transportadas al laboratorio de la DNETN para su

procesamiento. Se tomaron las debidas precauciones para no contaminar las muestras utilizando material inerte (acero inoxidable para la manipulación en laboratorio y tubo de PVC y guantes de goma en la recolección de muestras).

La preparación de las muestras para el análisis de metales pesados fue realizada por la responsable de esta investigación en el laboratorio de la DNETN. Esta etapa consistió en el secado de los sedimentos en estufa a 60°C hasta peso constante (de 48 a 96 horas). Luego fueron homogeneizados en mortero de ágata y se tamizó en malla de 63 μ para analizar la fracción de limos y arcillas. Una vez preparadas las muestras, estas fueron entregadas al equipo técnico del laboratorio de Tecnogestión de la DNETN el cual tuvo a su cargo los análisis de los metales pesados, así como todo lo referente a la metodología, calibración de la técnica, validación del método y demás aspectos técnicos relacionados a la técnica de medición empleada. Los análisis de metales pesados fueron posibles gracias a un convenio entre la UdelaR, la DINASA y la DNETN que financió parte de esta investigación, así como los análisis mencionados. Este proyecto de tesis se enmarcó en el proyecto RLA/1/010 “Mejora de la gestión de las masas de agua que están contaminadas con metales” de la ARCAL.

La medición de los metales pesados se realizó por Espectrofotometría de Fluorescencia de Rayos X Dispersiva en Energía (EDXFR) mediante un espectrofotómetro de marca SPECTRO, modelo XEPOS. Esta técnica permite detectar la presencia de metales presentes en una muestra en el rango comprendido entre el sodio y el uranio a nivel de ppm (partes por millón). Los análisis arrojaron valores de concentración para los siguientes metales: Azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), hierro (Fe), vanadio (V), cromo (Cr), manganeso (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), galio (Ga), arsénico (As), bromo (Br), rubidio (Rb), estroncio (Sr), itrio (Y), zircón (Zr), niobio (Nb), estaño (Sn), bario (Ba), y plomo (Pb).

Las muestras para el análisis de materia orgánica, carbonatos y nutrientes en sedimentos fueron tomadas de igual manera que para los metales pero fueron congeladas en frascos plásticos hasta su procesamiento en Facultad de Ciencias.



Instrumental de campo para medidas de variables fisicoquímicas *in situ*. Foto: Pablo Sierra.

Otras variables medidas fueron: granulometría, % agua, % materia orgánica y carbonatos, nitrógeno total y fósforo total. El cálculo de las fracciones granulométricas fue hecho según EMAP (1995) con la clasificación de porciones del Sistema USDA (grava fina, arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina, arena muy fina, limos y arcillas). Los cálculos de las fracciones fueron realizados con el programa Gradistat 8.0 (Blott, 2010). Luego para los análisis estadísticos se tomó las fracciones gravas (sedimentos retenidos en malla de 4 mm), arena (sedimentos retenidos en las mallas de 2 mm a 63 μm) y limos y arcillas (sedimentos < 63 μm).

Los contenidos de agua, materia orgánica y carbonatos fueron determinados por pérdida de peso. El contenido de agua fue determinado luego del secado de las muestras en estufa 60°C hasta peso constante (48 hrs. mínimo), el contenido de materia orgánica por

ignición a 500°C durante 4 horas y posteriormente el contenido de carbonatos por ignición a 900°C por 4 horas. Nitrógeno y fósforo totales fueron determinados por adaptación del método de Valderrama (1981), donde se toma una muestra de 0,5 g de sedimento y se trata con reactivo oxidante (solución alcalina de persulfato de potasio y ácido bórico) antes de someterla al autoclave.

Criterios empleados para los análisis de datos

Del total de las muestras de metales pesados analizados, solamente tres estuvieron por debajo del límite de detección (DL) del procedimiento analítico utilizado. Estos valores fueron sustituidos por DL/2 (Chen *et al.*, 1998, Batelle *et al.*, 2003).

Se aplicaron técnicas multivariadas (Análisis de Componentes Principales - ACP, Test de Mantel y Análisis de Similitud –ANOSIM, Análisis de Correlaciones) para analizar patrones entre las variables, diferencias entre muestreos, patrones entre las estaciones de muestreo y los usos de la cuenca.

El Análisis de Componentes Principales (ACP), es una técnica de ordenación que permite simplificar una matriz multivariada de datos a través de una serie de nuevas variables (componente principal) que es una combinación lineal de las variables originales. Se puede utilizar con dos objetivos:

- 1- Simplificar el conjunto de datos a través de la reducción del número de variables creando para esto una serie de nuevas variables (componentes principales)
- 2- Estudiar la estructura subyacente de los datos a través de la correlación de los componentes principales determinados con las variables originales.

La prueba de MANTEL es un método para comparar dos matrices de similitud o de distancias, computadas sobre el mismo objeto. Los datos utilizados para computar dos matrices parecidas deben haber sido obtenidas de forma independiente una de la otra (ej.

diferentes variables). La hipótesis nula de la prueba de Mantel es que las distancias entre objetos en la matriz Y no está correlacionada linealmente con la distancia correspondiente en la matriz X. Si la matriz X se refiere a distancias geográficas, los datos en Y no están estructurados en un gradiente (Legendre & Legendre, 2003).

El ANOSIM (Análisis de Disimilitud) es un test no paramétrico para testar la diferencia entre dos o más grupos, basado en alguna medida de distancia. Para detectar si existieron diferencias temporales en las concentraciones de metales pesados en la CAC, se realizó el test de Mann-Whitney con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ para cada variable en los dos periodos. Para el año 2008 se contó con un $n = 36$ y para 2009 un $n = 33$. Solamente Ca, Fe y V cumplieron con las condiciones para testes paramétricos. Pero se optó por aplicar el mismo test no paramétrico a todas las variables. Se trabajó con las variables sin transformar.

Para realizar los análisis multivariados se trabajó con los datos promedio de cada estación de muestreo y las variables estandarizadas: $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ de forma de poder comparar variables que están medidas en diferentes unidades.

Por último se aplicó el análisis de correlación de rangos de Spearman, con el objetivo de establecer si existió correlación entre los usos y las características geológicas de la cuenca con los metales pesados y las variables fisicoquímicas estudiadas.

Determinación de niveles de base para la Cuenca del A° Carrasco

El establecimiento de valores de referencia ambiental para una sustancia dada, puede ser referido a niveles de fondo (*background level*) o a niveles de línea de base (*baseline levels*). Niveles de fondo se refiere a sustancias o lugares que no han sido influenciados por la actividad antropogénica. Las fuentes naturales de metales pesados, en los lugares libres

de la interferencia antrópica, dependen fundamentalmente de la composición mineralógica del material parental y de los procesos de meteorización a los cuales los materiales que componen el suelo son sometidos (Adriano, 1986). Debido a las largas distancias aéreas en que los contaminantes son transportados, no existen ecosistemas verdaderamente prístinos, lo que dificulta determinar los niveles geoquímicos de fondo de los elementos traza presentes en los suelos (Kabata-Pendias, 1992 *et al.*, Ma *et al.*, 1997, Chen *et al.*, 1998).

El término “concentración línea de base” o “rango de concentración línea de base” es comúnmente usado para expresar un rango esperado de concentración de elementos alrededor de la media en un muestreo medio normal (Chen *et al.*, 1998). La aproximación estadística para la determinación del nivel de base consiste en sumar dos desvíos estándar (2s) a la media (\bar{X}) de cada elemento estudiado (Tack *et al.*, 1997, Chen *et al.*, 1998, Hamon *et al.*, 2004, Micó *et al.*, 2007, Zhao *et al.*, 2007). Otros autores utilizan la media más un desvío estándar (Nascimento, 2003).

Considerando que no existe un criterio único en la determinación del nivel de base, se propuso para este trabajo la media + 1 desvío de los metales Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb muestreados en la cuenca alta CA1 y CA2, asumiendo que esa zona está menos afectada por las actividades antropogénicas en relación a las demás estaciones. Se analizaron los datos para detectar potenciales *outliers* que pudieran sesgar los resultados (Batelle *et al.*, 2003). El criterio estadístico es que los *outliers* son aquellos valores que se encuentran 1.5 vez por encima del percentil 75 (o por debajo del percentil 25) multiplicado por el rango intercuartil (Batelle *et al.*, 2003).

Una vez propuestos los valores de línea de base para la CAC, se compara con los valores encontrados en las demás estaciones de muestreo y con otros valores encontrados en la literatura como referencia.

El Uruguay no cuenta con niveles de referencia de calidad de los sedimentos para la preservación de la vida acuática, por lo que se remitió a los valores propuestos por el “Consejo de Ministros del Medioambiente de Canadá” (CCME). El CCME utiliza dos modelos: el NSTP (*National Status and Trends Program*) que propone dos valores guías respecto a la toxicidad de los metales – asociando valores de medidas químicas en el sedimento y el efecto biológico observado (datos de coocurrencia), y el SSTT (*Spiked-Sediment Toxicity Test*), que incrementa el efecto toxico, combinando uno o más contaminantes, en los ensayos de toxicidad en sedimentos.

Considerando el modelo NSTP, para cada producto químico se calcula un valor funcional **TEL - nivel de efecto umbral** (*threshold effect level*). El TEL es calculado para determinar un rango de concentración química en el sedimento que implica un efecto biológico adverso. Por debajo de este valor, no se observa nunca o casi nunca este efecto. El TEL es considerado representativo de la concentración por debajo de la cual no ocurren efectos adversos.

Para determinar correctamente los valores guía de calidad de sedimentos (SQG), hay que considerar además de la información ecotoxicológica, las relaciones entre el sedimento con sus variables fisicoquímicas (ej. contenido total de carbono, granulometría) y características de la columna de agua (ej. pH). Mientras no se hayan integrado todos esos análisis e interrelaciones, solamente se pueden desarrollar “**guías interinas de calidad de sedimento**” (ISQGs).

La información recopilada en la guía asume que al aumentar la concentración del químico, aumenta el potencial para causar un efecto biológico adverso. Esta evaluación es facilitada con un segundo valor de calidad del sedimento, el valor **PEL – efecto de nivel probable** (*probable effects level*), por encima del cual el efecto biológico adverso es casi siempre o siempre observado.

Se utilizan el SQG o ISQG y el PEL para identificar rangos de concentraciones químicas asociadas con efectos biológicos adversos (CCME, 1999):

- valores de concentración <SQG o <TEL - rango de efecto mínimo - por debajo del cual los efectos biológicos adversos raramente ocurren, (<25% de ocurrencia);
- entre el SQG y el PEL - rango de efecto posible - ocurre ocasionalmente;
- valores >PEL - rango de probable efecto - frecuentemente asociado con efectos biológicos adversos (más de un 50% de los efectos ocurren por encima del PEL).

Sedimentos con valores entre ISQG y el PEL representan un riesgo potencial a los organismos expuestos. Esos valores permiten estimar la probabilidad de observar efectos adversos similares en sitios con concentraciones químicas en los sedimentos que caen dentro del rango de concentración definido.

Factor de Enriquecimiento (FE)

Para separar la influencia de los factores naturales de los antropogénicos, en la concentración de metales traza en el suelo, es necesario normalizar los datos basados en elementos de referencia resistentes a la meteorización como el Ti o Zr (Chen *et al.*, 1998) u otros elementos más abundantes de la corteza terrestre como el Al, Si y Fe (Águila Juárez, *et al.* 2005, Rubio *et al.* 2000). El Factor de Enriquecimiento permite evaluar la contribución de las fuentes adicionales de un elemento dado con respecto a una fuente de tipo natural (Machado *et al.*, 2008).

Se aplicó la ecuación:

$$FE = \frac{([X]/[Fe])_{muestra}}{([X]/[Fe])_{referencia}}$$

donde [X] representa la concentración de cada elemento (mg kg⁻¹) y [Fe] (mg kg⁻¹) en las muestras tomadas en la CAC y los sedimentos de un testigo de la bahía de Montevideo (Burone *et al.* 2010) como valores de referencia. Para los cálculos del FE se

tomó el Fe como elemento normalizador, que fue el metal presente en los testigos de la bahía y en las muestras de la CAC con esta propiedad conservativas.

Se aplicó la escala propuesta por García, *et al.*, 2002 y Machado *et al.*, 2008: Un FE < 1 es considerado como si el elemento en estudio no está enriquecido por fuentes adicionales sino su origen es netamente natural; si el FE está entre 1 y 10, la contribución es de ambos tipos natural y antropogénico; si el FE es >10, el elemento se considera altamente enriquecido y confirma que una fuente alterna del tipo antropogénica ha contribuido firmemente a la concentración del elemento.

Índice de Geoacumulación

Se utilizó el índice de geoacumulación (Igeo) propuesto por Muller (1981) para conocer el enriquecimiento de la cuenca en relación a la cuenca alta, tomándose los valores más bajos registrados:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{(1.5 * B_n)} \right)$$

40

donde C_n es la concentración del metal en la muestra analizada y B_n es la concentración en la cuenca alta.

De acuerdo a este índice, las muestras son divididas en 6 grupos: no contaminado (Igeo < 1), muy poco contaminado (1 < Igeo < 2), poco contaminado (2 < Igeo < 3), moderadamente contaminado (3 < Igeo < 4), altamente contaminado (4 < Igeo < 5), y muy altamente contaminado (Igeo > 5). El índice ha sido utilizado para evaluar enriquecimiento de metales en ríos (Nascimento, 2003) y en sedimentos estuarinos (Muniz *et al.*, 2004).

RESULTADOS

Características geológicas, edafológicas y usos de las microcuencas del arroyo Carrasco

La geología de la cuenca es mayormente sedimentaria del periodo cuaternario (pleistoceno), sobre basamento cristalino. A pesar de incluir diferentes formaciones, la composición mineral general son aluminosilicatos, con Mg, Cr (moscovitas), Fe, Ca, Mg y otros minerales alcalinos (micas) y dolomíticos (mineral compuesto por CaCO_3 y Mg).

La Formación Libertad es predominante en el área de estudio, mientras que otras formaciones aparecen en bajos porcentaje en áreas muy localizadas. Los cauces de los arroyos están ubicados en su mayoría en la formación Dolores. Las canteras ubicadas sobre esas formaciones y sobre dunas son de clase sedimentaria, cuyos principales recursos son arenas y arcillas. En algunos casos, la extracción de arena ha alcanzado la napa freática, generando lagos próximos a la desembocadura del A° Carrasco y en el cordón de la Ciudad de la Costa., algunos de los cuales presentan un estado de eutrofización más o menos acentuado (Fabre *et al.*, 2010). Otra formación que se destaca por su importancia en cuanto al área ocupada son los Bañados de Carrasco, formado por limos, arcillas y turba. Esta última es extraída informalmente para ser comercializada como sustrato en jardines o para ser utilizada como combustible luego de desecada. Las demás canteras son de clase ígneo metamórficas y sus principales recursos son la piedra partida, la tosca y el balasto (Spoturno *et al.*, 2004). En la Fig. 2 se aprecia el mapa geológico de la cuenca con la ubicación de las canteras activas e inactivas en el año 2004.

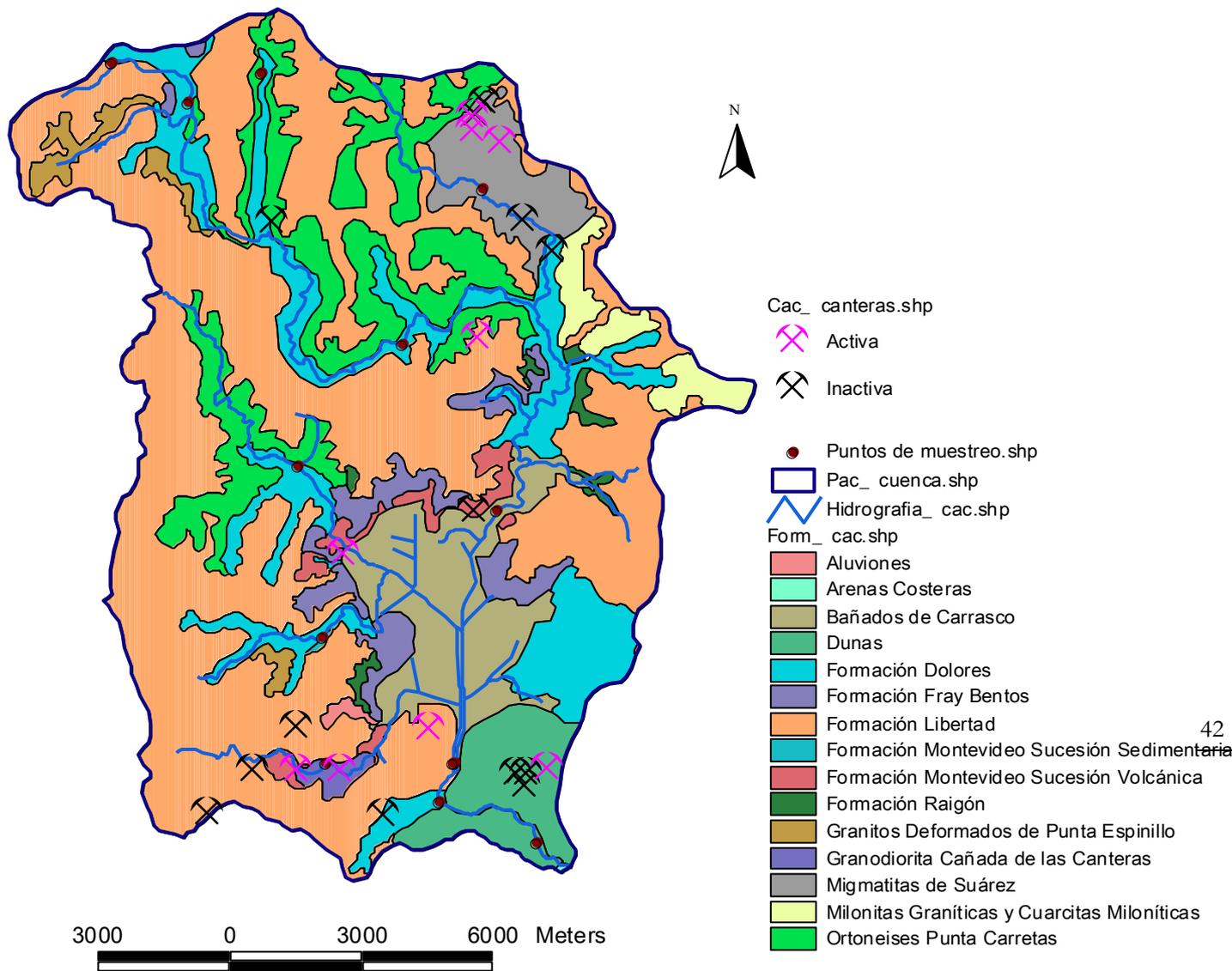


Fig. 2 – Mapa geológico de la CAC con la ubicación de las canteras activas e inactivas. Información digitalizada a partir de Spoturno *et al.*, 2004.

La Tabla 5 representa el detalle de las hectáreas de las diferentes formaciones correspondientes a cada microcuenca de muestreo.

Tabla 5 – Representación de las formaciones geológicas en hectáreas para cada microcuenca.

| ESTACIONES | Form. Dolores | Form. Libertad | Form. Montevideo | Granodiorita Cda. las Canteras | Bañados | Dunas | Granitos Punta Espinillo | Ortoneises Punta Carretas | Migmatitas de Suárez | Form. Fray Bentos | Arenas | Aluviones | Form. Raigón | Milonitas Cuarcíticas y cuarcitas miloníticas |
|------------|---------------|----------------|------------------|--------------------------------|---------|--------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|--------|-----------|--------------|---|
| CA1 | 13,46 | 144,22 | | | | | | 59,58 | | | | | | |
| CA2 | 0,01 | 176,91 | | | | | 4,13 | | | | | | | |
| CA3 | 125,10 | 180,60 | | | | | | 1,85 | | 20,76 | | | | |
| MEIR | | 500,32 | | | | | | 504,55 | 382,29 | | | | | |
| TOL 1 | 598,91 | 1.822,08 | | | | | 70,00 | 1.078,88 | | 9,74 | | | | |
| TOL 2 | 702,84 | 1.840,56 | 72,44 | | 161,15 | | | 619,67 | 362,77 | 110,12 | | | 113,35 | 471,08 |
| TOL 3 | 604,76 | 432,63 | 44,43 | | 717,27 | 65,82 | | | | 163,23 | | | | |
| MAN 1 | 163,70 | 1.731,46 | | | | | | 670,22 | | | | | | |
| MAN 2 | 179,02 | 1.177,21 | 155,76 | 70,94 | 727,50 | | | 13,09 | | 437,80 | | 40,22 | 47,62 | |
| CHAC | 182,26 | 1.034,24 | 7,02 | | | | 56,64 | | | 1,12 | | | | |
| CANT | | 674,50 | 49,61 | 31,40 | | | | | | | | | | |
| CARRASCO | 128,78 | 301,59 | | | | 824,60 | | | | | 5,73 | | | |

En cuanto a los tipos de suelos, la cuenca está formada predominantemente por la Unidad Toledo (Fig. 3). La mayoría de los puntos de muestreo cayeron sobre esta unidad, excepto el punto de la Cuenca Alta 1 (Cañada Garín - Unidad Tala-Rodríguez) y los puntos de la cuenca baja que se ubican sobre la Unidad Jaureguiberry. El material generador de la Unidad Toledo son sedimentos limo-arcillosos de la Formación Libertad, el basamento cristalino y Formación Fray Bentos y Raigón. (MGAP, División Suelos y Agua, 2001). Los suelos son brunosoles subeutricos, a veces eutricos, típicos y lúvicos, con un índice de productividad Coneat de 10,6 a y b. En la Unidad Balneario Jaureguiberry el material generador son arenas, sedimentos areno-arcillosos y aluviones. Tienen dos grupos de tipo de suelos: gleysoles, háplicos, hísticos, (gley húmicos y histosoles), con índice Coneat 3,1 y arenosoles ócricos con Coneat 7,1 (MGAP, DSA, 2001).

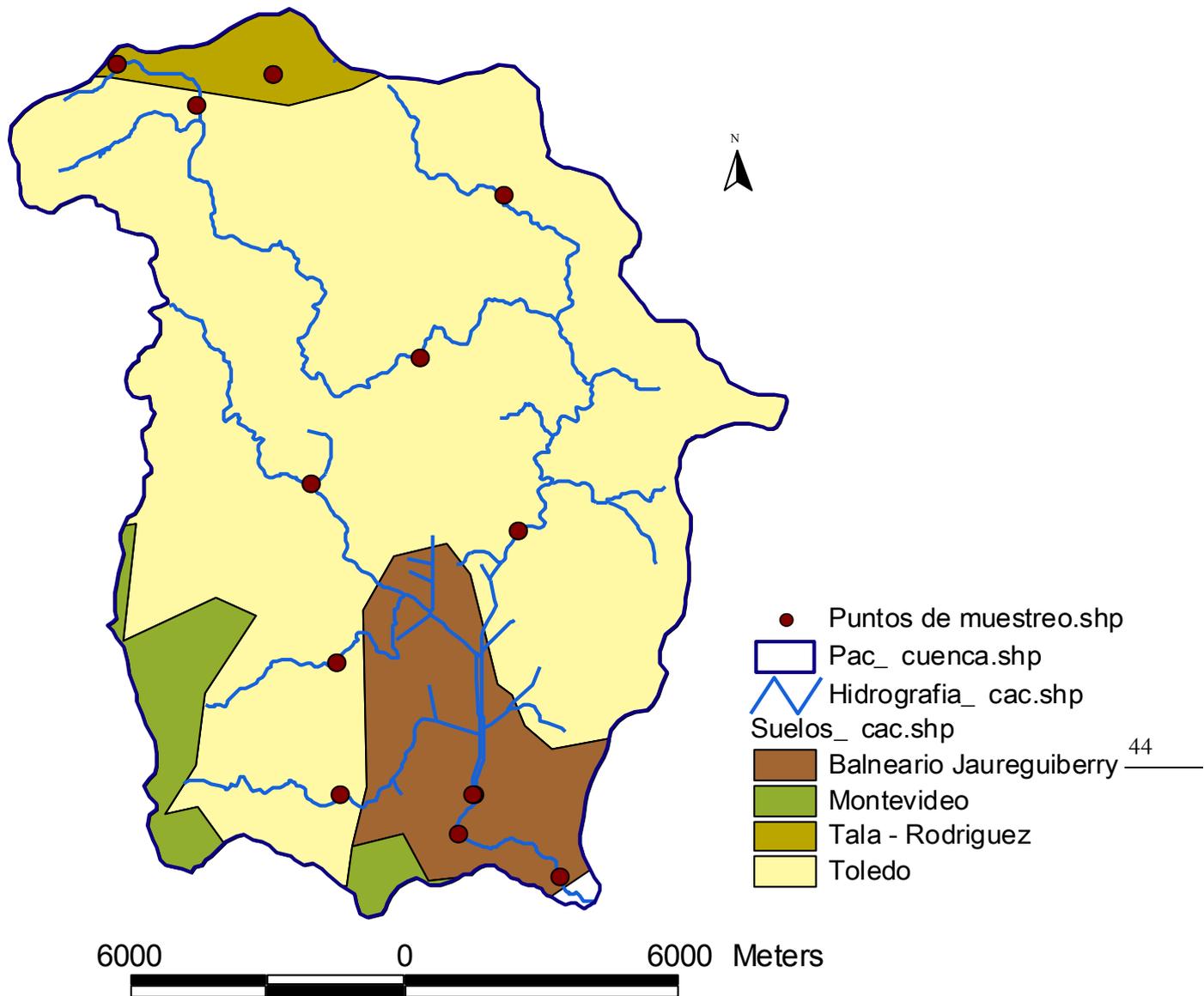


Fig. 3 – Mapa de suelos en la CAC. Fuente: SICA, 2000

Según microdatos del censo de 2004 y la encuesta nacional de hogares ampliada (ENHA, 2006), la población de la cuenca asciende a 226.051 personas, considerando solamente las secciones censales que caen íntegramente dentro de la CAC. Si consideramos las secciones censales que están en la frontera de la cuenca, este número asciende a 331.311 personas (INE, 1996). La zona rural y parte de la zona urbana de Canelones no cuenta con saneamiento y existen 137 asentamientos irregulares con una población de *ca.* 42.000

personas, con alto índice de población infantil. Se identificaron un total de 54 asentamientos irregulares ubicados sobre o muy próximos a los cursos de agua (INE, modulo de vivienda, 2006, PECAC, 2007).



Usos recreativos de los cursos de agua (Toledo y R. 102) por habitantes de la zona, reflejando la alta vulnerabilidad de esta población, sobretodo infantil, a un ambiente de calidad ambiental comprometida. Foto: Andrés Florines.

Varias de las familias que residen en esos asentamientos extraen diferentes recursos naturales de la zona -especialmente de los bañados- como forma de subsistencia. Los principales recursos naturales extraídos son: la turba, la madera mediante tala de monte para la leña, la caza y pesca furtiva (Horta, 2002). También se da el pastoreo de ganado bovino en el bañado. Otras actividades en la cuenca es la fabricación de ladrillos artesanales, con la quema de plástico y basura de todo tipo en hornos improvisados (PECAC, 2007) y la cría de cerdos que supone una reutilización de desechos sólidos domiciliarios como alimento, aunque también se utilizan desechos comerciales (como barrido de panadería) e industriales (restos de matanza de frigoríficos) (IMM, 2002). Tanto en el caso de la cría de cerdos en los asentamientos y los criaderos de aves confinadas con alta densidad, el manejo de los efluentes generados por el lavado del

estiércol y orina de las instalaciones no es adecuado existiendo riesgo de contaminación (IMM, 2002).

En la Cuenca del Arroyo Carrasco hay 49 establecimientos industriales de los cuales 13 se encuentran inactivos. Entre las industrias que se encuentran en el área se destaca la presencia de curtiembres, galvanoplastia, celulosa y papel, procesadoras de alimento y harina de pescado e industrias químicas (Ecoplata, 1999).

De acuerdo a los informes de Monitoreo Ambiental de la CAC elaborado por la IMM, de la carga orgánica (medida en DBO) producida por las industrias, el 5% se dispone a curso de agua, el 89% se vierte a colector, en tanto que el 5% restante se evacúa mediante camiones de barométricas. Menos del 1% de la carga total se infiltra al terreno. Respecto a la descarga de metales pesados (cromo) de las industrias, se han cuantificado en 3.4 kg/d que corresponden a efluentes de industrias del ramo curtiembre que evacúan únicamente a colector. La descarga de efluentes industriales vertidos directamente a los cursos de agua de la zona fue reducida en un 85% gracias a las obras de saneamiento en Montevideo y Canelones, abarcando el sector industrial (IMM, 2006). La carga orgánica de contaminantes a la cuenca es principalmente de los asentamientos irregulares, vertidos domiciliarios y de la actividad agropecuaria (IMM, 2006).

La Tabla 6 resume los principales usos asociados a cada microcuenca.

Tabla 6 – Principales usos de la tierra por microcuenca. Datos tomados de INE, 1996; Spoturno *et al*, 2004; PECAC, 2007; Dinama - (Industrias con trámite SADI – Solicitud de autorización de desagüe industrial 2008, 2009).

| USOS ESTACIONES | Rural | Urbano | Población | Dens. dem. | AAII | AAII rios | AAII | DBO AAI | Clasific. | Canteras | Industrias | | | | | |
|--------------------|-------|--------|------------|------------|---------|------------|----------|---------|------------|----------|------------|--------|----------|-----------|-------|---------|
| | Has. | Has. | nro. pers. | pers/Km2 | totales | sobre ríos | personas | Kg | nro. pers. | nro. | alimentos | textil | curtiem. | metalurg. | papel | química |
| CA1 | 217 | 0 | 844 | 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CA2 | 211 | 0 | 450 | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CA3 | 328 | 0 | 1094 | 222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MEIR | 1158 | 229 | 10244 | 714 | 2 | 1 | 153 | 6 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOL1 | 2963 | 250 | 14708 | 408 | 5 | 3 | 1007 | 40 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOL2 | 3810 | 693 | 29928 | 734 | 22 | 11 | 6473 | 259 | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| TOL3 | 1571 | 475 | 13777 | 546 | 6 | 3 | 2730 | 109 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| MAN1 | 1790 | 775 | 43964 | 1660 | 17 | 11 | 9595 | 384 | 101 | 0 | 1 | 1 | 6 | 0 | 2 | 1 |
| MAN2 | 2041 | 811 | 23495 | 601 | 15 | 6 | 5512 | 220 | 157 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CHAC | 436 | 845 | 63264 | 4728 | 18 | 9 | 4610 | 184 | 560 | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| CANT | 268 | 487 | 35292 | 4613 | 30 | 14 | 12797 | 512 | 209 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CARR | 0 | 1262 | 28622 | 2925 | 6 | 3 | 2014 | 81 | 90 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |

Todas las microcuencas son predominantemente rurales, excepto la Chacarita y las Canteras en las cuales el área rural está representada en alrededor del 35 % y la de Carrasco que es urbana en su totalidad. La clasificación de suelos admite la categoría suburbana, pero a los efectos de este estudio estas fueron integradas a la mancha urbana. En la totalidad de la Cuenca del Arroyo Carrasco la categoría de suelo de uso rural alcanza un 65% aproximadamente.

Los lugares con mayor densidad demográfica son las microcuenca de la Chacarita, Canteras. Solamente una parte de esas microcuencas cuenta con red de saneamiento (ver Fig. 5). En la Tabla 6 se indica la cantidad de asentamientos irregulares (AAII), cuántos de ellos están sobre o muy cerca de los cursos de agua y su población. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se utilizó como indicador del impacto de la carga de aguas servidas sobre los cursos de agua (calculados sobre la base de una carga diaria de 40 g/hab/día) (PECAC, 2007). Asociado a los AAII, se encuentra un importante número de personas cuya actividad principal es la clasificación y comercialización de residuos urbanos. Esas personas se encuentran concentradas en el eje de las Cdas.

Canteras y Chacaritas, Manga y al suroeste de Carrasco, en el área de influencia de la usina de disposición de residuos de Felipe Cardozo. Por último, se incluyen las canteras activas y las industrias ubicadas en la CAC.

De la información procesada a partir del SICA (2000), se estimó la cantidad de animales por microcuenca y las hectáreas de usos agrícolas que supone el uso de productos fitosanitarios (Tabla 7).

Tabla 7 – Usos de la tierra según el Sistema de Información del Censo Agropecuario (2000)

| USOS ESTACIONES | animales | | | | animales total (sin aves) | aves | hortifruti | cereal/forraj. | prad./campo | Total Has. |
|--------------------|----------|--------|---------|--------|------------------------------|--------|------------|----------------|-------------|---------------|
| | vacunos | ovinos | equinos | cerdos | | | Has. | Has. | Has. | |
| CA1 | 101 | 16 | 13 | 137 | 266 | 39510 | 25,35 | 21,45 | 35,88 | 82,68 |
| CA2 | 45 | 48 | 13 | 170 | 275 | 12207 | 61,68 | 6,16 | 17,28 | 85,12 |
| CA3 | 111 | 50 | 17 | 251 | 429 | 23545 | 96,77 | 22,7 | 39,81 | 159,28 |
| MEIR | 441 | 148 | 78 | 461 | 1129 | 50236 | 138,8 | 72,72 | 315,2 | 526,72 |
| TOL 1 | 738 | 406 | 165 | 1564 | 2873 | 190085 | 499,39 | 130,48 | 421,18 | 1051,05 |
| TOL 2 | 190 | 93 | 40 | 304 | 626 | 10700 | 146,84 | 21,32 | 108,07 | 276,23 |
| TOL 3 | 92 | 82 | 40 | 353 | 568 | 3680 | 162,21 | 12,69 | 40,2 | 215,1 |
| MAN 1 | 117 | 183 | 82 | 762 | 1144 | 78060 | 245,22 | 32,73 | 95,19 | 373,14 |
| MAN 2 | 112 | 100 | 85 | 561 | 859 | 5052 | 170,72 | 30,03 | 120,01 | 320,76 |
| CHAC | 32 | 23 | 25 | 150 | 229 | 1144 | 43,18 | 6,37 | 35,97 | 85,52 |
| CANT | 14 | 2 | 12 | 54 | 82 | 125 | 12,1 | 0 | 18,26 | 30,36 |
| CARRASCO | 26 | 16 | 11 | 84 | 137 | 645 | 40,07 | 0,28 | 11,51 | 51,86 |

La mayor producción animal ocurre en la microcuenca de TOL 1, seguido de MAN 1 y TOL 2. Por otro lado, en Meireles se encuentra el mayor porcentaje de producción vegetal, seguido de la Cuenca Alta 3 y Tol 1.

En síntesis, la cuenca del A° Toledo, que incluye las microcuencas CA1, CA2, CA3, Meireles, Toledo-Vázquez (TOL 1) y Toledo-102 (TOL 2), es predominantemente agrícola, con una importante producción animal y vegetal. Esta cuenca está sujeta a una fuerte presión hortícola, con un uso intensivo de los suelos y una elevada utilización de agroquímicos (IMM, 2006). El uso de fertilizantes en los cultivos es muy alto en Montevideo, frecuentemente se aplican a niveles mayores a las necesidades de los cultivos (IMM, 2001). Es la de menor densidad demográfica y es importante la

producción de aves de corral. En la parte baja de la cuenca (TOL 1 y TOL 2), se destaca la presencia de AAI. Otros elementos con posibles impactos al medio detectados en las recorridas de campo, son la presencia de chatarrerías, ladrilleras y basurales endémicos. Esos depósitos de restos de automóviles y productos electrónicos, son una fuente potencial de metales pesados por lixiviado. Esta cuenca no cuenta con servicio de saneamiento.

La cuenca del arroyo Manga presenta un grado de urbanización e industrialización superior a la del Toledo. A pesar de presentar un área de saneamiento mayor, esa cuenca sufre la presión de los asentamientos irregulares sin acceso a la red de saneamiento y es en donde se realiza la clasificación de residuos sólidos (IMM, 1994). Las condiciones del canal Manga se agravan por los aportes de las Cañada de las Chacarita y de las Canteras.

Las cuencas de las Cañadas de la Chacarita y de las Canteras presentan el mayor grado de industrialización del área considerada y una mayor densidad de población. La presencia de residuos sólidos es muy importante en gran parte del cauce de las cañadas (PECAC, 2007). Junto a la cañada de las Canteras está ubicado el vertedero municipal de Montevideo. El aislamiento de la capa inferior no existe y hay infiltración al terreno de los lixiviados de dicha usina (IMM, 2006). Los lixiviados escurren directamente a la cañada de las Canteras. Hay repercusiones directas sobre la población de la zona: riesgo de enfermedades e infecciones por los insectos y roedores, lixiviado que traspasa el suelo contaminando las aguas subterráneas y malos olores (Font *et al*, 1998). Estas son las cuencas más comprometidas en cuanto a calidad ambiental y salubridad pública. Son las que poseen una mayor cantidad de personas viviendo en AAI, además de la cría de animales, la actividad relacionada a la basura, los depósitos de materiales electrónicos y basurales endémicos. Es la zona más industrializada de la CAC, con un total de 19 industrias. En la actualidad todas esas industrias, excepto una de papel en la microcuenca de la Cda. Chacarita, vierten sus efluentes a colector.

La cuenca baja del Carrasco es urbana en casi su totalidad, con algo de producción agropecuaria en los intersticios rurales. Los principales impactos son los propios de la ciudad formal, como la emisión de gases de los vehículos e industrias.

La zona de los bañados, que incluye las microcuencas bajas del Manga y Toledo no está demasiado densificada. Se destaca la presencia de un par de industrias (una química y otra de pintura) que utilizan el sistema de barométricas para sus efluentes. En esa zona se observa una importante acumulación de basura sólida en los cauces, principalmente en la Cda. de la Chacarita junto a la Av. Punta de Rieles y el encuentro de la Cda. de la Chacarita con el A° Manga. En las crecidas mucho de la basura generada aguas arriba termina en esos cauces y en el bañado. Pese al crecimiento de la ciudad el área del Parque Nacional Bañados de Carrasco se ha mantenido inalterada. Sin embargo el régimen hidrológico del humedal sufrió dramáticas modificaciones, resultado de las obras de canalización, desecación y la introducción de especies exóticas. Otros impactos que sufre esa microcuenca es el uso de recursos del bañado de forma no sustentable. La extracción de turba es de larga data y no existe ningún tipo de control (Horta, 2002, IMM 2006). También se realizan actividades de tala de árboles (Horta 2002) y caza de aves. Algunas ONG's como ABC Rural, Vida Silvestre y Aver Aves han registrado cerca de 140 especies de aves permanentes y ocasionales.

Las transformaciones estructurales ejecutadas en la cuenca han cambiando drásticamente el régimen hidrológico del sistema. Por Decreto del Poder Ejecutivo nro. 105/75 se resolvió la desecación de los Bañados de Carrasco, canalizándose los cauces de los arroyos Manga y Toledo hacia el bañado. También han sido canalizados los cauces de las cañadas de la Chacarita y de las Canteras hasta el canal Manga (IMM, 1994). Esas medidas causaron la disminución del tiempo de residencia del agua en el bañado, disminuyendo consecuentemente la capacidad de depuración del mismo. Actualmente, los aportes hidrológicos al bañado son fundamentalmente por escurrimientos superficiales de los arroyos Toledo y Manga y las cañadas Chacarita y Canteras (IMM,

1994). Las obras de desecación fueron proyectadas como una acción conjunta entre la construcción de las canalizaciones y la arborización con plantaciones de árboles exóticos (Brazeiro, 2001). Actualmente la vegetación del bañado está dominada por especies exóticas (Horta, 2002).

Entre las obras realizadas, se instaló un dispositivo de tipo “bypass” para desagotar las aguas del Arroyo Toledo hacia el Arroyo Manga (Fig. 4). En el punto donde los arroyos Manga y el Toledo comienzan a transcurrir paralelos por obra de la canalización existe una alcantarilla que conecta ambos canales, lo cual permite el pasaje de agua del Toledo al Manga cuando el Toledo trae mucha agua, generalmente cuando llueve intensamente en la cuenca. (Ing° Chreties, com. pers.).

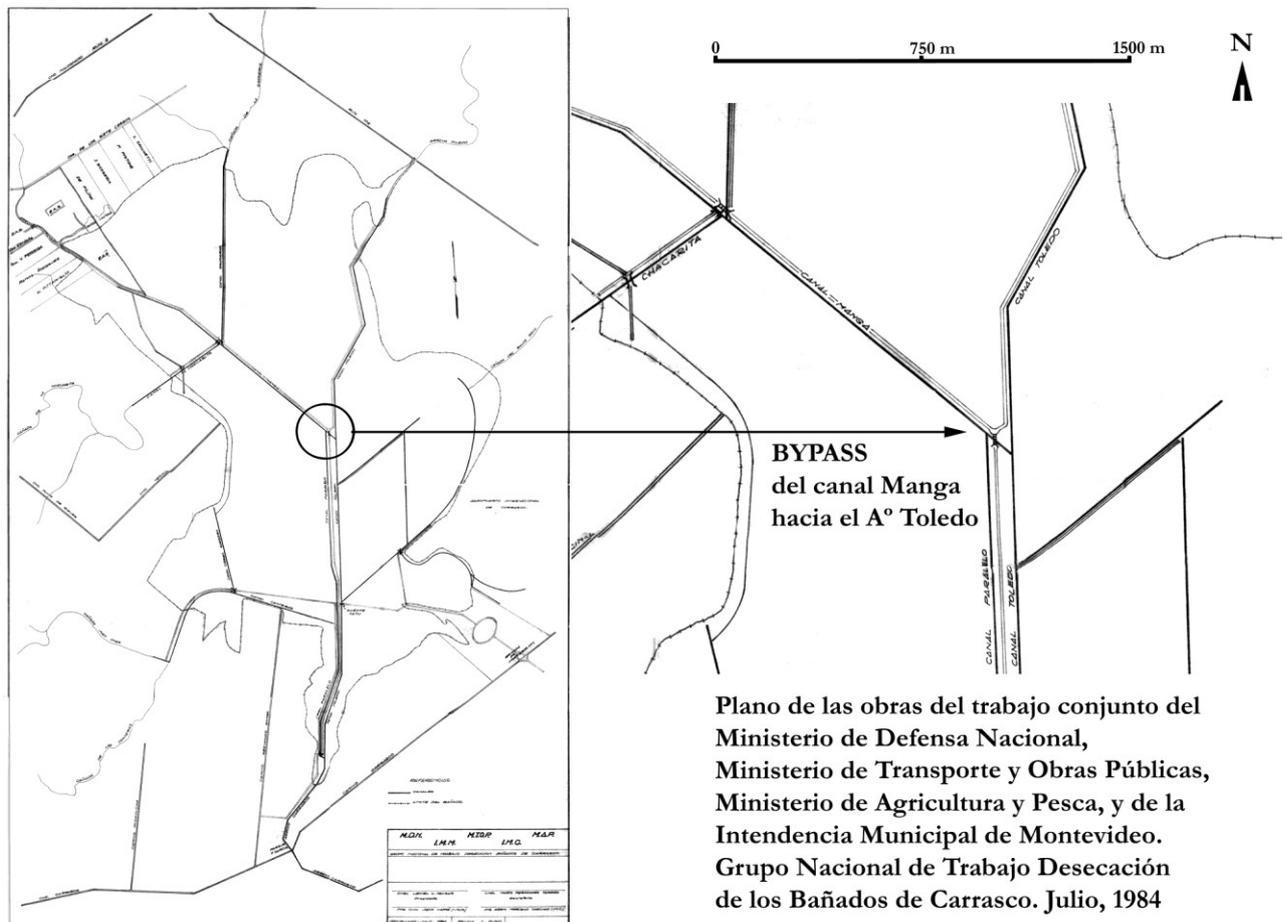


Fig. 4 – Plano de las obras de Desecación Bañados de Carrasco, 1984.

Para facilitar la lectura de los impactos de los diferentes usos y de otras fuentes puntuales como el vertedero municipal y el aeropuerto, se confeccionaron mapas de afectaciones potenciales causadas por las actividades llevadas a cabo en la cuenca. En la Fig. 5 se muestran las áreas críticas (AC) en cuanto a afectación potencial por metales pesados y carga orgánica.

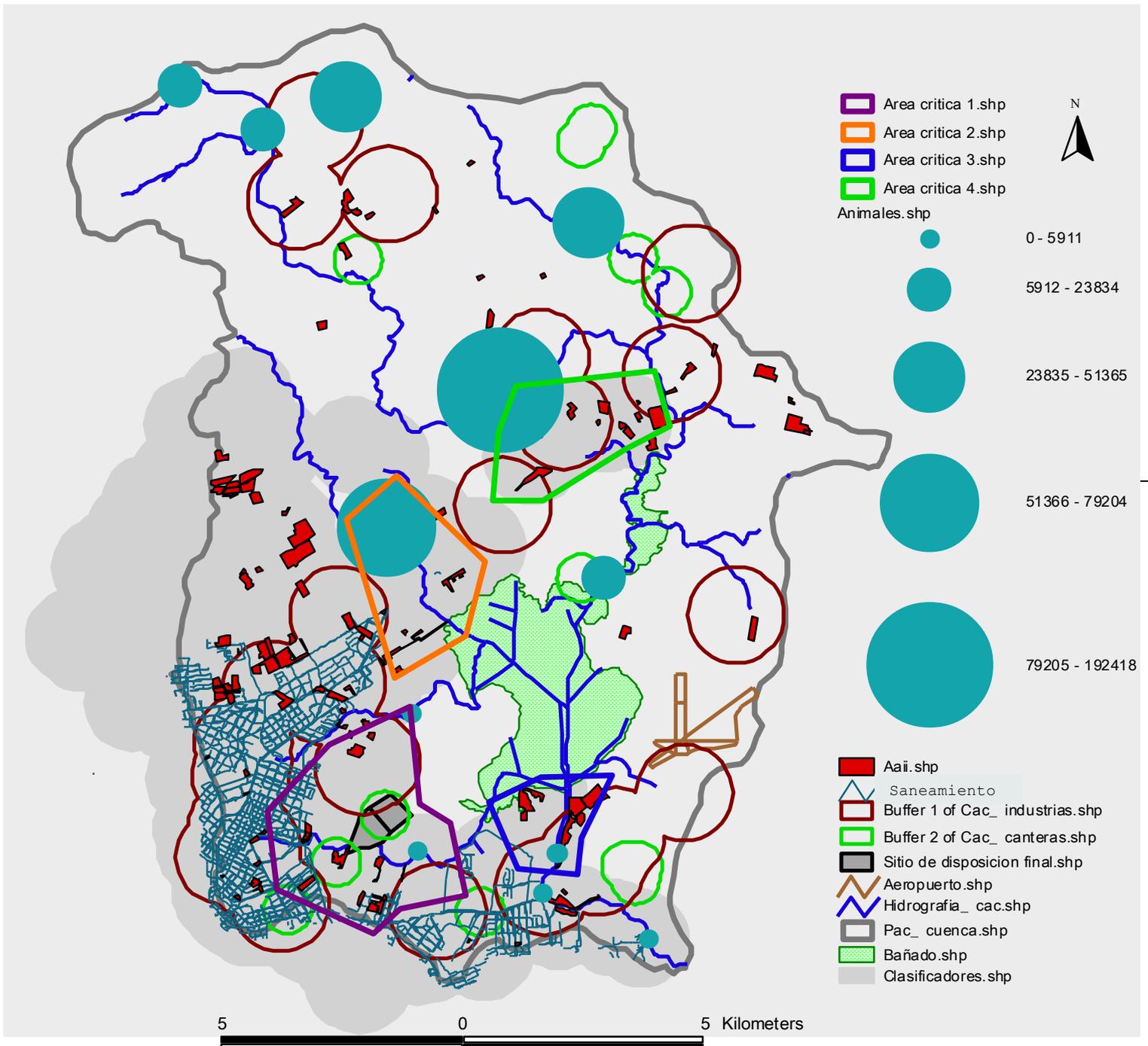


Fig. 5 -Mapas de afectaciones en la cuenca según las diferentes actividades

De esta forma, se definen 4 áreas críticas en cuanto a posibles afectaciones con metales pesados y contaminación orgánica:

AC1 – Área de influencia del vertedero municipal. Zona con alta densidad demográfica, presencia de clasificadores y AAI, presencia de 19 industrias entre ellas 7 curtiembres y 1 metalúrgica pero todas vierten al colector. Impacto por cría de animales sueltos medio a alto.

AC2 – En el ámbito del A° Manga y Cno. Repetto – AAI, presencia de animales e industria de papel que infiltra al terreno, además una industria de hormigón junto al arroyo, animales confinados (78.000 aves, 1100 entre vacunos, ovinos, suidos y equinos), cultivos con uso de productos fitosanitarios, área rural no saneada.

AC3 – AAI, aguas abajo de la Cda. de las Canteras, AAI muy precarios (Servando Gómez), cría de animales sueltos, basurales endémicos. Área de influencia de industria química que infiltra al terreno.

AC4 – Área rural no saneada, presencia de animales en confinamiento (414.000 aves, casi 3000 de animales de mayor porte), AAI, área de influencia de industria papelera, actividad de producción de ladrillos artesanales, presencia de basureros endémicos

Condiciones climáticas durante el período de los muestreos

El primer muestreo fue realizado a fines de invierno, en setiembre-octubre del 2008, y el segundo en abril del 2009. Las precipitaciones entre el mes de febrero de 2008 y febrero de 2009 se encontraron por debajo de los promedios históricos con un mínimo en el mes de noviembre de 2008 y un mínimo secundario en abril de 2008 (Fig. 6). La precipitación acumulada en los 3 meses previos al muestreo a fines de invierno en 2008 fue de 137,5 mm, valor por debajo de la media histórica para el trimestre (274 mm) y en el muestreo de fines de verano del 2009 fue de 284,5 mm, valor que no se alejó de los valores medios históricos (285 mm).

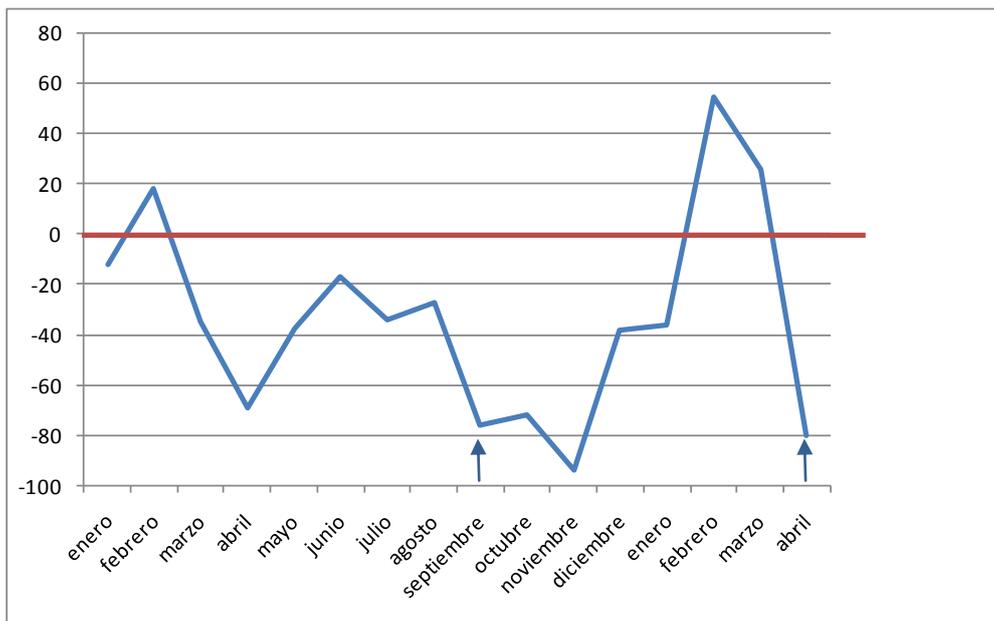


Fig. 6 - Medias pluviométricas mensuales históricas (1961-1990) y precipitación acumulada en milímetros para los meses comprendidos entre enero de 2008 y abril de 2009. El trazado azul indica las variaciones de la pluviosidad para el periodo considerado en relación a los valores de la media histórica. Las flechas indican el momento del muestreo. Elaborado en base a datos del INIA Las Brujas y de la DNM.

La Fig. 7 muestra el diagrama ombrotérmico para el período estudiado. Los valores de precipitación que caen por debajo de la línea de temperatura media mensual indican periodos secos. En los 17 días previos al muestreo del 2008, la precipitación acumulada fue de 1 mm, para el mismo periodo en 2009 la precipitación acumulada fue de 12,3 mm.

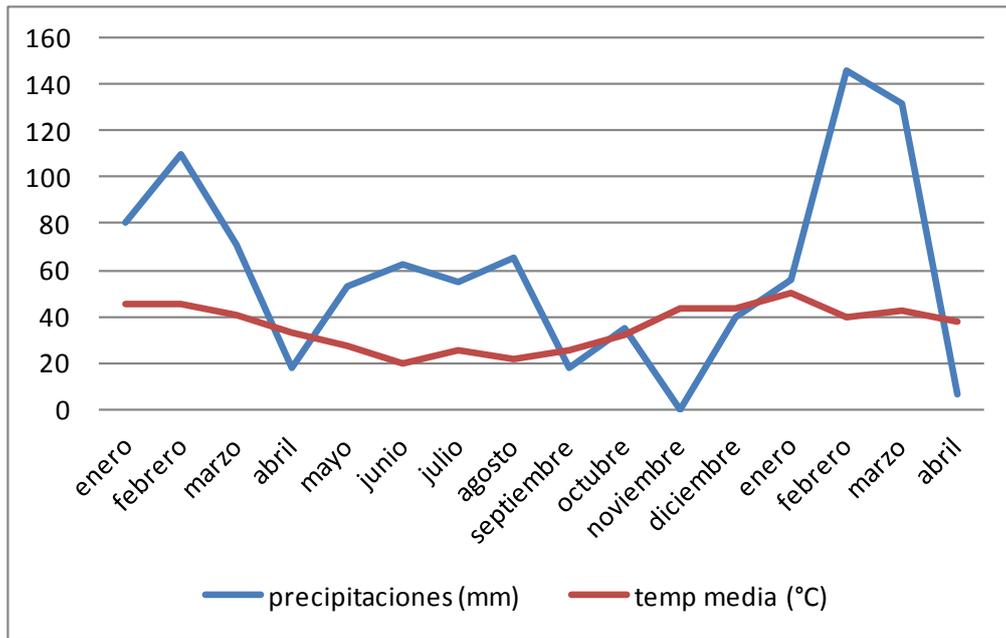


Fig. 7 – Relación entre temperatura y pluviosidad durante el período enero 2008 – abril 2009. Elaborado en base a datos del INIA – Estación Las Brujas (2011).

Calidad de agua

Los valores medios (n=3) y desvíos por punto de muestreo de las variables estudiadas en el agua para los dos muestreos están representados en la Tabla 8 a y b.

Tabla 8 a, b – Descriptivos básicos de las variables muestreadas en 2008 y 2009. Se señala en rojo los valores obtenidos que no cumplieron con los estipulados por el Decreto 253/79 y modificativos, para la clasificación de cuerpos de agua Clase 3, que se refiere a “*aguas destinadas para la preservación de los peces en general y otros integrantes de la flora y fauna...*”: pH entre 6,5 y 8,5; concentración de oxígeno disuelto mínima de 5 mg/L; coliformes fecales máximo de 2000 UFC/100mL; demanda bioquímica de oxígeno máximo 10 mg/L; amoníaco máx. $2E10^{-4}$ µg /L; nitrato máx. $10E10^3$ µg /L y fósforo 25 µg P/L.

Tabla 8a - MUESTREO PRIMAVERA

| 2008 estación | temp (°C) | | K (uS/cm) | | pH | | alcalin. (mg CaCO3/l) | |
|------------------|-----------|--------|-----------|--------|-------|--------|-----------------------|--------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 16,2 | 0,5 | 925 | 20,5 | 7,65 | 0,04 | 339,0 | 8,2 |
| TOL 1 | 16,5 | 0,4 | 1024 | 5,5 | 7,82 | 0,03 | 403,0 | 7,9 |
| TOL 2 | 15,8 | 0,2 | 942 | 7,0 | 7,57 | 0,05 | 363,3 | 12,5 |
| TOL 3 | 18,3 | 0,4 | 873 | 5,6 | 6,79 | 0,02 | 234,7 | 1,2 |
| MAN 1 | 16,2 | 0,6 | 1039 | 16,5 | 7,76 | 0,03 | 382,3 | 9,6 |
| MAN 2 | 19,2 | 0,4 | 849 | 10,6 | 7,14 | 0,01 | 340,7 | 8,1 |
| CHAC | 13,1 | 0,1 | 921 | 10,1 | 7,38 | 0,10 | 332,3 | 5,9 |
| CANT | 13,8 | 0,3 | 1021 | 7,1 | 7,62 | 0,03 | 418,0 | 5,3 |
| CARR 1 | 14,8 | 0,6 | 812 | 4,0 | 7,08 | 0,04 | 295,3 | 14,2 |
| CARR 2 | 15,8 | 0,2 | 822 | 11,2 | 6,92 | 0,04 | 285,3 | 8,7 |

| 2008 estación | SST (mg*l-1) | | % MOS | | OD (mg/l) | | DBO (mg/l) | | col. féc.(ufc/100mL) | |
|------------------|--------------|--------|-------|--------|-----------|--------|------------|--------|----------------------|----------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 11,5 | 4,5 | 11,2 | 7,4 | 9,2 | 0,2 | 1,0 | 0,0 | 34333,3 | 47606,0 |
| TOL 1 | 8,8 | 1,4 | 28,7 | 9,8 | 11,7 | 0,4 | 2,0 | 1,7 | 5400,0 | 3504,3 |
| TOL 2 | 6,4 | 0,4 | 27,4 | 15,0 | 9,8 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 3000,0 | 0,0 |
| TOL 3 | 1,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | 5,5 | 0,6 | 1,0 | 0,0 | 4000,0 | 1732,1 |
| MAN 1 | 5,0 | 1,2 | 43,4 | 17,5 | 10,3 | 0,5 | 1,0 | 0,0 | 59666,7 | 52204,7 |
| MAN 2 | 2,5 | 2,6 | 22,9 | 37,9 | 4,0 | 0,8 | 1,0 | 0,0 | 161000,0 | 17320,5 |
| CHAC | 16,0 | 2,2 | 91,3 | 4,3 | 5,8 | 1,1 | 37,7 | 5,8 | 1291000,0 | 199248,6 |
| CANT | 4,1 | 0,5 | 73,2 | 4,8 | 7,2 | 0,4 | 8,7 | 0,6 | 62000,0 | 12767,1 |
| CARR 1 | 2,3 | 0,4 | 37,1 | 12,7 | 5,1 | 0,7 | 1,0 | 0,0 | 1000,0 | 0,0 |
| CARR 2 | 3,4 | 1,0 | 59,3 | 7,2 | 2,9 | 0,2 | 1,0 | 0,0 | 3666,7 | 577,4 |

| 2008 estación | SRP (µg/l) | | Pt (µg/l) | | NO3 (µg/l) | | NH4 (µg/l) | | Nt (µg/l) | |
|------------------|------------|--------|-----------|--------|------------|--------|------------|--------|-----------|--------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 293,9 | 42,5 | 455,6 | 85,7 | 903,3 | 692,9 | 1,9 | 2,1 | 2966,7 | 2493,0 |
| TOL 1 | 507,2 | 64,7 | 656,7 | 25,2 | 643,3 | 1027,7 | 5,0 | 1,9 | 2420,0 | 2321,0 |
| TOL 2 | 426,1 | 31,0 | 526,7 | 69,8 | 1310,0 | 72,1 | 1,0 | 1,1 | 2893,3 | 704,4 |
| TOL 3 | 455,0 | 86,7 | 854,4 | 66,2 | 213,3 | 100,2 | 1,7 | 0,4 | 3486,7 | 2480,1 |
| MAN 1 | 738,9 | 445,6 | 1018,9 | 197,0 | 376,7 | 83,3 | 3,6 | 1,2 | 1686,7 | 1103,7 |
| MAN 2 | 1511,1 | 438,2 | 1993,3 | 609,9 | 470,0 | 105,8 | 3,8 | 3,5 | 4006,7 | 1920,6 |
| CHAC | 2202,2 | 141,5 | 2463,3 | 176,4 | 43,3 | 23,1 | 2,4 | 0,8 | 4006,7 | 1341,8 |
| CANT | 941,1 | 210,2 | 1055,6 | 337,0 | 2540,0 | 2465,0 | 0,7 | 0,7 | 6846,7 | 4970,2 |
| CARR 1 | 671,7 | 165,6 | 1057,8 | 27,8 | 876,7 | 180,4 | 9,5 | 0,4 | 4873,3 | 2368,6 |
| CARR 2 | 610,6 | 13,5 | 1140,0 | 81,9 | 650,0 | 347,0 | 6,0 | 5,1 | 2713,3 | 2864,8 |

Tabla 8b - MUESTREO OTOÑO

| 2009 | temp (°C) | | K (uS/cm) | | pH | | alcalin. (mg CaCO3/l) | |
|--------|-----------|--------|-----------|--------|-------|--------|-----------------------|--------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 19,1 | 1,6 | 991 | 34,1 | 7,33 | 0,14 | 367,0 | 37,4 |
| TOL 1 | 14,2 | 0,3 | 1020 | 4,5 | 7,58 | 0,07 | 395,3 | 3,1 |
| TOL 2 | 21,3 | 2,2 | 879 | 303,4 | 7,32 | 0,14 | 371,3 | 9,0 |
| TOL 3 | 19,9 | 2,2 | 1264 | 10,5 | 6,41 | 0,05 | 226,7 | 3,3 |
| MAN 1 | 16,3 | 0,3 | 880 | 5,6 | 7,41 | 0,01 | 302,0 | 2,0 |
| MAN 2 | 18,5 | 1,6 | 1000 | 10,6 | 6,91 | 0,10 | 337,4 | 4,8 |
| CHAC | 18,6 | 0,7 | 810 | 14,7 | 7,32 | 0,02 | 314,0 | 6,0 |
| CANT | 17,0 | 1,8 | 996 | 1,5 | 7,41 | 0,10 | 399,0 | 3,6 |
| CARR 1 | 22,3 | 2,1 | 1069 | 14,2 | 6,90 | 0,06 | 290,7 | 3,1 |
| CARR 2 | 24,3 | 2,6 | 3962 | 34,7 | 6,93 | 0,03 | 253,3 | 9,5 |

| 2009 | SST (mg*l-1) | | % MOS | | OD (mg/L) | | DBO (mg/l) | | Col. Fec.(ufc/100mL) | |
|--------|--------------|--------|-------|--------|-----------|--------|------------|--------|----------------------|----------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 58,0 | 47,5 | 46,6 | 14,9 | 6,5 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1333,3 | 577,4 |
| TOL 1 | 44,3 | 6,6 | 27,0 | 17,9 | 7,5 | 0,9 | 1,0 | 0,0 | 1000,0 | 0,0 |
| TOL 2 | 49,1 | 12,9 | 42,6 | 10,9 | 5,2 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 1000,0 | 0,0 |
| TOL 3 | 68,6 | 26,4 | 32,8 | 20,6 | 2,9 | 0,2 | 3,7 | 2,5 | 4500,0 | 2645,8 |
| MAN 1 | 105,4 | 10,7 | 39,2 | 20,6 | 6,9 | 0,2 | 2,0 | 1,7 | 11000,0 | 5567,8 |
| MAN 2 | 57,5 | 75,0 | 53,2 | 21,8 | 1,8 | 0,2 | 2,0 | 1,7 | 1000,0 | 0,0 |
| CHAC | 36,0 | 15,9 | 42,8 | 26,2 | 2,5 | 1,2 | 27,7 | 5,8 | 1804000,0 | 361838,4 |
| CANT | 40,5 | 37,0 | 70,0 | 17,2 | 4,0 | 0,3 | 10,0 | 1,0 | 85666,7 | 17673,0 |
| CARR 1 | 64,9 | 7,1 | 56,1 | 1,9 | 2,8 | 0,4 | 3,0 | 1,7 | 181000,0 | 155913,4 |
| CARR 2 | 202,8 | 186,8 | 54,6 | 14,5 | 1,4 | 0,5 | 3,7 | 2,3 | 7333,3 | 4509,2 |

| 2009 | SRP (µg/l) | | Pt (µg/l) | | NO3 (µg/l) | | NH4 (µg/l) | | Nt (µg/l) | |
|--------|------------|--------|-----------|--------|------------|--------|------------|--------|-----------|--------|
| | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío | media | desvío |
| MEIR | 540,0 | 202,1 | 622,2 | 173,1 | 100,0 | 34,6 | 7,4 | 2,9 | 673,3 | 241,1 |
| TOL 1 | 287,8 | 17,1 | 1173,3 | 152,5 | 140,0 | 20,0 | 9,3 | 3,1 | 836,7 | 306,6 |
| TOL 2 | 174,4 | 25,9 | 384,4 | 69,9 | 153,3 | 80,8 | 7,1 | 1,2 | 1006,7 | 46,2 |
| TOL 3 | 193,3 | 43,7 | 324,4 | 55,9 | 273,3 | 50,3 | 29,5 | 0,4 | 1673,3 | 23,1 |
| MAN 1 | 705,6 | 152,8 | 1613,3 | 473,9 | 586,7 | 385,9 | 29,5 | 11,0 | 2686,7 | 1484,0 |
| MAN 2 | 858,9 | 320,9 | 1726,7 | 639,3 | 213,3 | 80,8 | 54,5 | 17,9 | 3073,3 | 1000,3 |
| CHAC | 1944,4 | 127,6 | 2186,7 | 98,2 | 53,3 | 11,5 | 70,0 | 22,7 | 3940,0 | 1270,0 |
| CANT | 1596,7 | 551,4 | 2380,0 | 161,7 | 73,3 | 30,6 | 124,5 | 46,9 | 6993,3 | 2624,3 |
| CARR 1 | 746,7 | 206,7 | 982,2 | 73,1 | 186,7 | 11,5 | 56,7 | 2,9 | 3193,3 | 161,7 |
| CARR 2 | 591,1 | 88,8 | 737,8 | 117,1 | 233,3 | 161,7 | 12,4 | 7,4 | 1300,0 | 747,3 |

La temperatura en la CAC osciló entre 13,1°C en la Chacarita y 19,2 °C en MAN 2 durante fines de invierno del 2008 y entre 14,2°C en TOL 1 y 24,3 °C en CARR 2 durante fines de verano de 2009.

La conductividad presentó los valores extremos en el muestreo del 2009: mínimo en la Chacarita con 810 µS/cm y máximo 3962 µS/cm en CARR 2.

El pH en general no se alejó de la neutralidad, excepto en la estación TOL 3 en el muestreo de fines de verano, 2009 que fue levemente ácido (6,41) (Tabla 8).

El menor valor de alcalinidad fue en TOL 3 (226,7 mg CaCO₃/L) y el mayor en TOL 1 (403 mg CaCO₃/L).

Los mínimos y máximos para sólidos en suspensión fueron TOL 3 (1 mg/L - fines de invierno CARR 2 (202,76 mg/L - fines de verano) y para materia orgánica, mínimo 1% en TOL 3 y máximo CHAC 91,32% ambos a fines de invierno (Tabla 8).

Las estaciones MAN 1 y CARR 1 presentaron déficits de oxígeno en ambos muestreos. En 2009 aparecieron otras estaciones con déficits de O₂: Chacarita, Las Canteras, Tol 3 y CARR 1. Para el muestreo del 2008, la estación TOL 1 fue la que presentó los valores más altos de O₂ (115% de saturación), seguido de MAN 2. Para el 2009 los valores más altos de O₂ se dieron en TOL 1 pero en una concentración bastante menor que el muestreo anterior (Tabla 8). Se realizó un análisis de correlación entre el O₂ y la temperatura encontrándose para el 2008 ausencia de correlación y para el 2009, la correlación fue $r = -0.57$, ($p = 0,04$).

La DBO de la Cañada estuvo en 38 y 28 mg/L para 2008 y 2009 respectivamente, seguido de la Cañada de las Canteras (9 y 10 mg/L), mientras que las demás estaciones presentaron valores entre 1 y 4 mg/L (Tabla 8).

Las concentraciones de coliformes fecales (CF) llaman la atención por sus valores elevados, particularmente en la Cañada de la Chacarita que presentó el máximo de concentración para el año 2009 (1.804.000 ufc/100 mL) y el segundo máximo en 2008 (1.291.000 ufc/100 mL), con valores muy por encima del Decreto. También estuvieron altas las concentraciones en otras estaciones, en menor medida, pero igualmente llamativas. Las únicas estaciones que tuvieron los valores dentro de la norma fueron CARR1 a fines de invierno, y TOL 1, MAN 2, TOL 2 y MEIR a fines de verano.

El fósforo presentó concentraciones elevadas en todas las estaciones en ambos muestreos. Las estaciones que presentaron valores más bajos fueron MEIR en el 2008 (455,6 $\mu\text{g/L}$) y TOL 3 (324,4 $\mu\text{g/L}$) en el 2009. Los valores más altos se dieron en la CHAC a fines de invierno de 2008 (2463,3 $\mu\text{g/L}$) y en la CANT a fines de verano de 2009 (2380 $\mu\text{g/L}$). Para los demás nutrientes los valores mínimos y máximos fueron los siguientes: SRP - 174,4 $\mu\text{g/L}$ (TOL 2, 2009) y 2202,2 $\mu\text{g/L}$ (CHAC, 2008); Nt - 673,3 $\mu\text{g/L}$, (MEIR, 2009) y 6846,7 $\mu\text{g/L}$ (CANT, 2008); NO_3 - 53,3 (CHAC, 2009) y 2450 (CANT, 2008) y NH_4 - 0,95 $\mu\text{g/L}$ (T102, 2008) y 124,5 $\mu\text{g/L}$ (CANT, 2009) (Tabla 8).

Se evaluó la relación NH_4/NO_3 que da una idea de la predominancia de procesos reductores u oxidativos (Fig. 8). La relación entre las dos variables es mayor en el año 2009, denotando condiciones más reductoras que en el muestreo del 2008. En el año 2009 los valores de NH_4 en las cañadas de las Canteras y la Chacarita fueron más altos que el NO_3 ($\text{NH}_4/\text{NO}_3 > 1$).

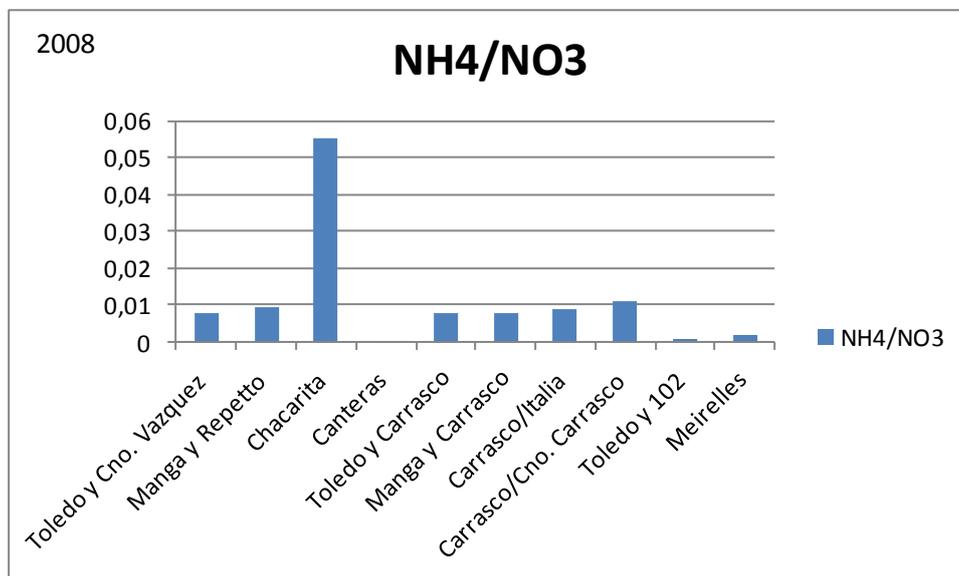


Fig. 8a – Relación entre NH_4/NO_3 año 2008.

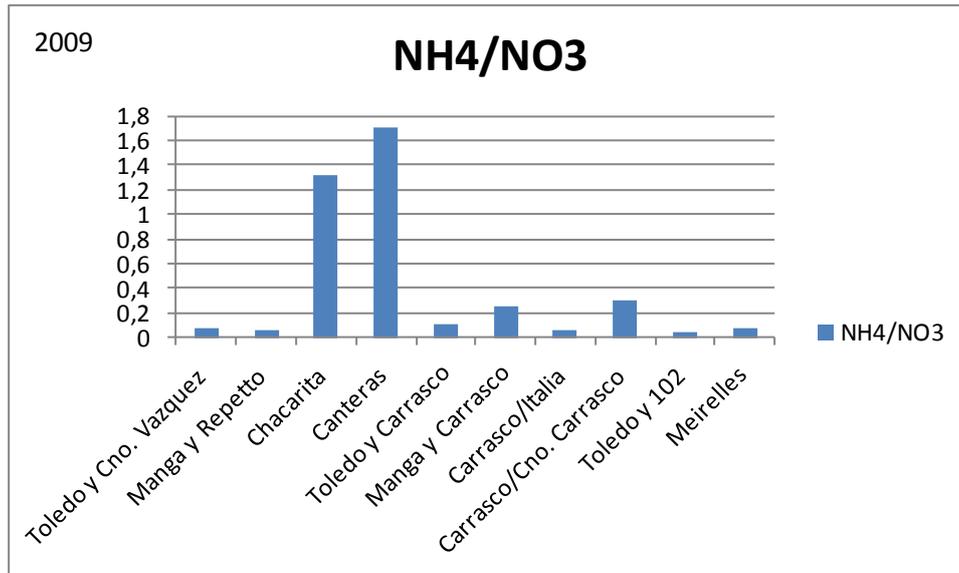


Fig. 8b – Relación entre NH4/NO3 año 2009.

Análisis de componentes principales

Los resultados de los ACP realizados para conocer los principales gradientes espaciales en relación a la calidad de agua para cada período muestreado se presentan en las Figs. 9 y 10.

Para el muestreo de 2008, los dos primeros componentes explicaron el 69,1 % de variación de los datos, siendo que el CPI (componente principal I) explicó el 38,4 % (Fig. 9). El CPI se correlacionó positivamente con DBO, CF, SST, MOS, SRP y Pt y negativamente con la temperatura, y el CPII lo hizo positivamente con el NH4 y negativamente con OD, pH, K y alcalinidad. En el diagrama se identifica dos grupos de estaciones de muestreo y el punto Chacarita que queda aislado debido a los elevados valores de DBO, coliformes, Pt y SRP. El primer grupo está formado por TOL 3 MAN 2, CARR 1 y CARR 2, todas ubicadas en la cuenca baja, y por otro las estaciones que están en la cuenca media: MEIR, TOL 2, MAN 1, TOL 1 La estación de las Canteras estuvo próxima a este grupo.

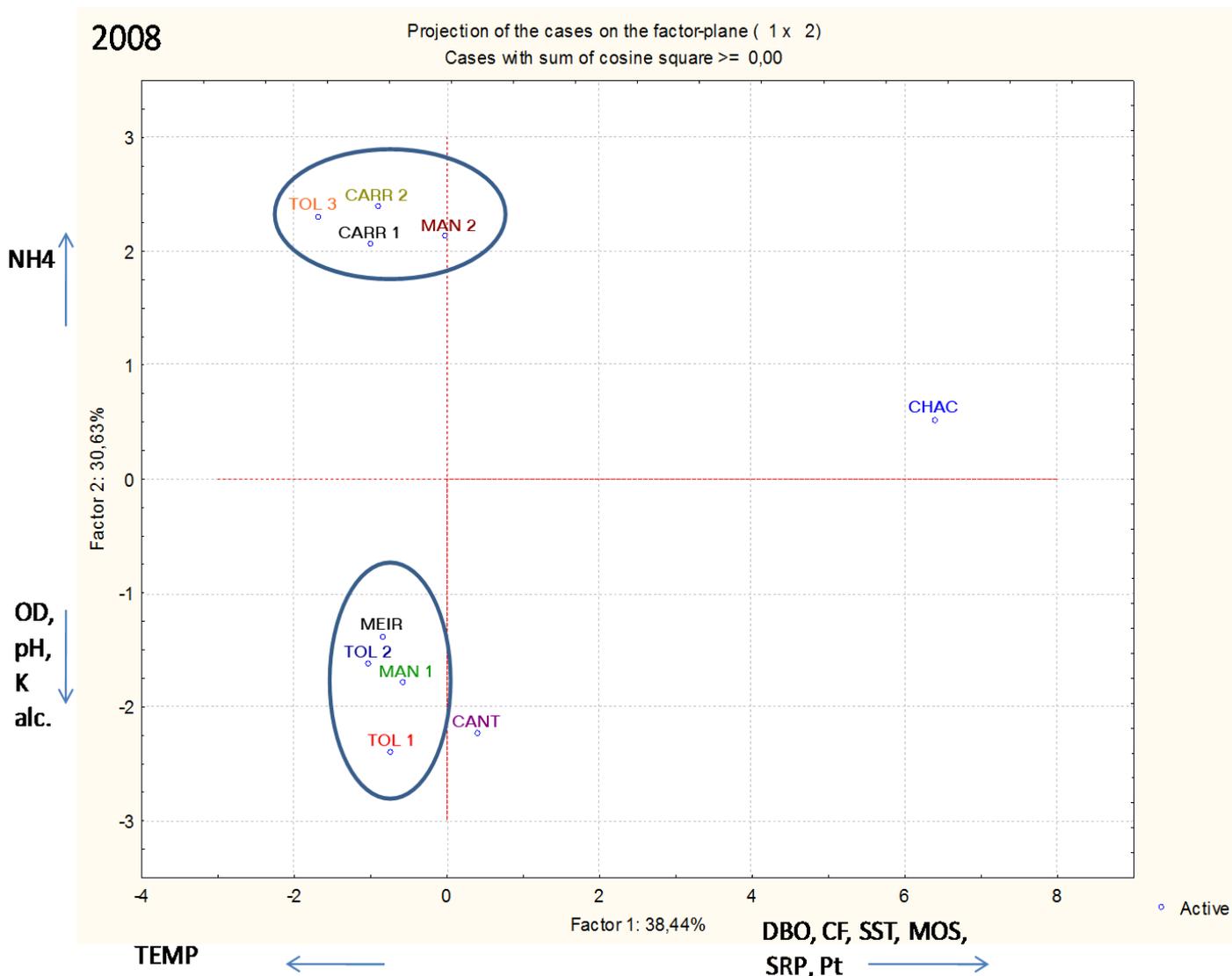


Fig. 9 – Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de agua de 2008. En la tabla adjunta – contribución de las variables en la formación de los dos primeros componentes en agua para el año 2008

| ACP agua 2008 - Contribución de las variables en la formación de los dos primeros componentes | | |
|---|-------|--------|
| 2008 | ACP I | ACP II |
| Temp | -0,58 | 0,32 |
| Conduct | 0,08 | -0,92 |
| pH | 0,11 | -0,96 |
| Alcalin | 0,13 | -0,86 |
| SST | 0,72 | -0,42 |
| MOS | 0,98 | -0,05 |
| OD | -0,16 | -0,9 |
| DBO | 0,98 | 0 |
| CF | 0,98 | 0,1 |
| SRP | 0,89 | 0,23 |
| Pt | 0,8 | 0,44 |
| NO3 | -0,23 | -0,48 |
| NH4 | -0,19 | 0,46 |
| Nt | 0,22 | 0,09 |

En el ACP realizado para el muestreo del 2009, los dos primeros componentes explicaron un 69,1 % de la varianza, siendo que el primer componente explicó un 40,5 % de la varianza (Fig. 10). El patrón espacial para el año 2009 mantiene una cierta similitud en el conjunto de estaciones con relación al observado en el 2008, reflejando

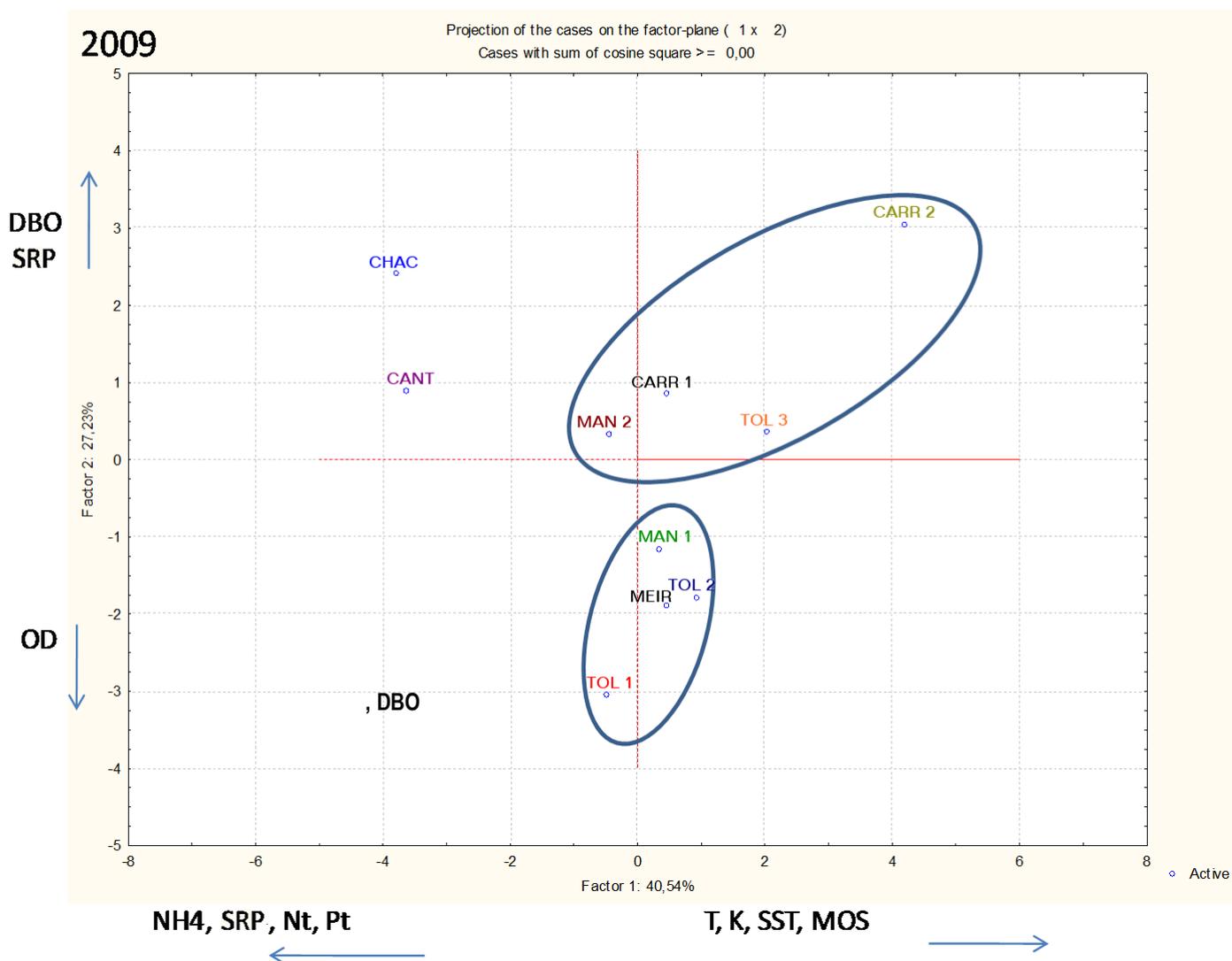


Fig. 10 - Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de agua de 2009. En la tabla adjunta – contribución de las variables en la formación de los dos primeros componentes en agua para el año 2009

| ACP agua 2009 - Contribución de las variables en la formación de los dos primeros componentes | | |
|---|-------|--------|
| 2009 | ACP I | ACP II |
| Temp | 0,6 | 0,57 |
| Conduct | 0,67 | 0,54 |
| pH | -0,51 | -0,46 |
| Alcalin | -0,58 | -0,57 |
| SST | 0,75 | 0,44 |
| MOS | 0,63 | 0,56 |
| OD | -0,11 | -0,88 |
| DBO | -0,66 | 0,56 |
| CF | -0,58 | 0,46 |
| SRP | -0,79 | 0,57 |
| Pt | -0,82 | 0,3 |
| NO3 | 0,42 | -0,13 |
| NH4 | -0,73 | 0,47 |
| Nt | -0,72 | 0,45 |

una mayor homogeneidad en cuanto a las características fisicoquímicas de sus aguas. En este caso, la contribución de las variables en cada componente es distinta: el componente 1, queda explicado por las variables SST, MOS, conductividad y temperatura. Como contribución negativa a este eje están todas las formas de nutrientes y la DBO. Las cañadas Chacarita y Canteras se alejan del conjunto y se correlacionan a la carga orgánica expresada por la DBO y SRP.

Se aplicó la prueba de Mantel para verificar si las relaciones de (dis)similitud entre las estaciones de muestreo eran significativas o no entre las épocas del año relevadas. La prueba ($R: 0,41, p < 0,001$) confirma la persistencia del patrón espacial independiente de la época de muestreo. Esto implica correlación entre las matrices de disimilitudes entre años. También se utilizó la prueba de Mantel para determinar las relaciones entre las características fisicoquímicas del agua y los usos del suelo. En ambos muestreos no fueron identificadas relaciones estadísticamente significativas: año 2008: $R: -0,016, p=0,2309$; año 2009 $R: -0,003, p=0,1466$), es decir, los patrones espaciales de la calidad de agua no guardaron relación con el conjunto de los usos del suelo.

Análisis de correlaciones en agua

1. Análisis temporal de las variables fisicoquímicas en agua

A efectos de analizar las relaciones entre los atributos estudiados se realizaron análisis de correlaciones múltiples utilizando el coeficiente de Spearman. En algunos casos se consideró la totalidad de la base de datos (años 2008 y 2009 combinados) y en otros los valores para cada muestreo (Anexo I – Tabla 1) Se analizaron solamente aquellas correlaciones significativas que se expresan en las tres variantes estudiadas (2008+2009, 2008 y 2009).

Un conjunto importante de valores presentaron correlaciones positivas como la DBO, CF, SRP y Pt. Las estaciones con mayor contenido de SST también presentaron mayores valores de materia orgánica en la columna de agua. Las estaciones con mayor reserva alcalina presentaron los mayores valores de pH y contenido de oxígeno disuelto.

Las estaciones con menor contenido de oxígeno disuelto presentaron una mayor concentración de SRP y aquellas con mayores valores de DBO los menores registros de NO₃.

2. Análisis de correlación entre los usos de la cuenca y la calidad de agua

Analizando las correlaciones entre calidad de agua y los usos de la cuenca de cada uno de los muestreos y de los dos muestreos en conjunto (Anexo I – Tabla 2), encontramos que las variables del agua afectadas por los usos fueron: la transparencia, OD, CF, SRP y Pt. De estas, el OD presentó correlación positiva con diferentes usos: presencia de animales (vacunos, ovinos, animales totales y cobertura de usos cerealero/forrajero y pradera/campo. Las actividades que tuvieron mayor incidencia en la calidad de agua fueron: la presencia de clasificadores, población total en la cuenca e industria textil y curtiembres.

Las correlaciones positivas más marcadas se dieron entre la presencia de clasificadores con CF, SRP y Pt y población total con SRP y Pt. La transparencia se correlacionó negativamente con industria textil y curtiembre.

El Nt y NH₄ se correlacionaron negativamente con algunos usos solamente en el muestreo a fines de verano (2008) y con los datos combinados de ambos muestreos, y positivamente con la actividad de los clasificadores en el muestreo de fines de invierno (2009) y los datos combinados. La conductividad se correlacionó negativamente con algunos usos solamente en el segundo muestreo.

En cuanto a las correlaciones entre los datos del SICA y las variables fisicoquímicas en el agua, (Anexo I – Tabla 3) las variables mayormente afectadas fueron el OD, el pH, la transparencia y el nitrógeno total. Las diferentes clases de animales computadas y los diferentes usos del suelo presentaron correlaciones positivas con el O.D. en los tres casos analizados; correlación positiva con el pH principalmente a fines de verano de 2008 y con la transparencia a fines de invierno de 2009; y correlaciones negativas con Nt en casi todos los casos estudiados. Se dieron correlaciones negativas entre todas las clases de animales computadas en la CAC y los usos de la tierra considerados en este estudio con los nutrientes (SRP, Pt, NH₄, NO₃ y Nt), CF, DBO y materia orgánica en suspensión, aunque estas últimas no fueron significativas.

3. Análisis entre geología de la cuenca y variables fisicoquímicas en sedimentos

En el análisis de correlaciones entre la geología de la cuenca y calidad de agua (Anexo I – Tabla 4), aparecieron algunas correlaciones significativas: correlaciones positivas entre Form. Libertad, Ortoneises y OD y Granodiorita y Nt; y correlaciones negativas entre dunas, pH y alcalinidad. Las variables que aparecen entonces afectadas por la geología son: pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y nitrógeno total.

Análisis de sedimentos

Granulometría

En general la fracción arena fue la dominante seguida de grava y limos y arcillas (Fig. 11). La fracción arena fue dominante en casi todas las estaciones de muestreos excepto en CHAC, CANT cuya fracción dominante fue grava en ambos muestreos y MAN 1 para el 2008. El porcentaje de arena varió entre 19% (CHAC) y 92% (MAN 2) en el 2008 y entre 32% (CHAC) y 94% en MAN 2 en el 2009. La mayor representación de la fracción lodo fue en CA3, 21% seguido de CA1 con 11% y TOL 2 con 10 % en ambos muestreos.

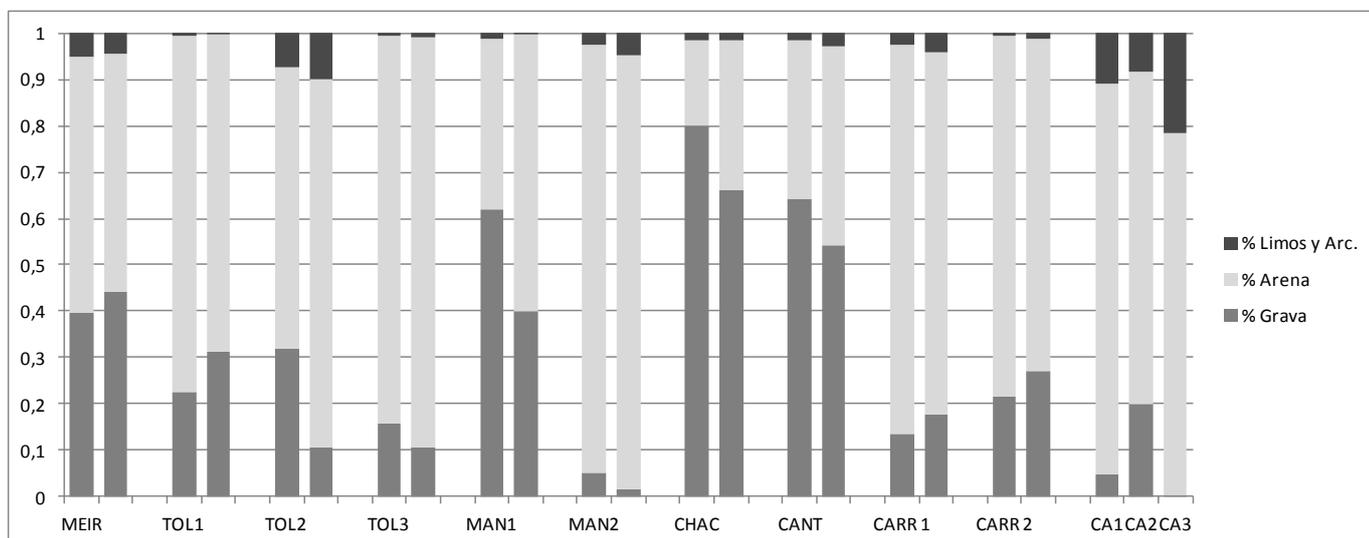


Fig. 11 - Porcentajes relativos de las principales fracciones de sedimentos en las estaciones de la Cuenca del Arroyo Carrasco. La barra de la izquierda representa el año 2008 y la de la derecha, 2009. CA1 y CA2 fueron muestreadas en 2008 y CA3 en 2009.

Potencial de oxido reducción

Los valores de oxido reducción medidos en la interfase agua-sedimento están representados en la Tabla 9. El valor + 200 mV indica el límite entre las condiciones de oxidación y reducción. De acuerdo a este umbral, se observa que CHAC y CARR 2 presentaron condiciones reductoras en ambos muestreos. Otras estaciones que presentaron esta condición en el 2008 fueron MAN 1, CARR 1, TOL 2 y MEIR; y en el

2009 MAN 2. Se señala en la Tabla 9 las estaciones que presentaron condiciones de reducción. El potencial redox tuvo correlación inversa con la materia orgánica y con el contenido de CO₃, pero esas correlaciones no fueron significativas: materia orgánica: (2008, r = -0,36 (p = 0.31); 2009 r = -0,21 (p = 0.55)) y CO₃: (2008, r = -0,47 (p = 0.17); 2009, r = -0,36 (p = 0.31).

Tabla 9 – Potencial de Oxido reducción medido en la interfase agua sedimento

| Eh | MEIR | TOL 1 | TOL 2 | TOL 3 | MAN 1 | MAN 2 | CHAC | CANT | CARR 1 | CARR 2 |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------|
| 2008 | 51 | 381 | 71 | 278 | 197 | 210 | 65 | 268 | 35 | 152 |
| 2009 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 | 244 |

Estadísticos básicos de los datos medidos en sedimentos

Los valores medios (n=3) y desvíos por punto de muestreo de las variables fisicoquímicas estudiadas en sedimentos para los dos muestreos están representados en la Tabla 10.

Tabla 10 – Estadísticos básicos para las características fisicoquímicas de los sedimentos.

| 2008 | % M.O. | | % AGUA | | Pt (µg/l) | | Nt (µg/l) | | % CO2 | |
|----------|----------|--------|----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|----------|--------|
| estación | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío |
| CA1 | 3,8 | 0,3 | 32,4 | 1,2 | 74,2 | 63,1 | 35,4 | 6,0 | 2,6 | 0,1 |
| CA2 | 2,9 | 0,2 | 27,9 | 0,4 | 91,2 | 49,6 | 18,6 | 2,2 | 0,5 | 0,1 |
| MEIR | 1,4 | 0,6 | 22,1 | 22,5 | 97,6 | 171,4 | 56,0 | 127,3 | 1,3 | 0,4 |
| TOL 1 | 0,7 | 0,3 | 22,7 | 6,8 | 74,1 | 54,7 | 7,1 | 18,6 | 0,5 | 0,4 |
| TOL 2 | 4,0 | 1,1 | 34,1 | 3,1 | 204,1 | 74,4 | 108,9 | 30,8 | 1,3 | 0,2 |
| TOL 3 | 1,8 | 1,1 | 28,8 | 6,8 | 141,3 | 45,8 | 79,3 | 35,1 | 0,4 | 0,2 |
| MAN 1 | 0,7 | 0,4 | 16,8 | 0,2 | 57,6 | 45,0 | 7,1 | 14,8 | 0,3 | 0,1 |
| MAN 2 | 3,5 | 0,4 | 35,8 | 3,6 | 213,8 | 69,8 | 100,8 | 40,8 | 0,8 | 1,7 |
| CHAC | 1,5 | 2,3 | 35,6 | 9,7 | 169,7 | 106,5 | 147,4 | 94,9 | 1,5 | 0,2 |
| CANT | 0,4 | 0,4 | 22,3 | 2,4 | 58,7 | 76,4 | 17,9 | 61,9 | 0,8 | 0,6 |
| CARR 1 | 2,3 | 1,0 | 29,6 | 2,8 | 203,8 | 136,8 | 74,9 | 31,5 | 1,4 | 0,0 |
| CARR 2 | 0,5 | 0,4 | 24,7 | 6,7 | 68,1 | 17,1 | 32,7 | 10,3 | 0,2 | 1,2 |
| | | | | | | | | | | |
| 2009 | % M.O. | | % AGUA | | Pt (µg/l) | | Nt (µg/l) | | % CO2 | |
| estación | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío | promedio | desvío |
| CA3 | 7,9 | 0,6 | 40,3 | 5,0 | 218,5 | 40,4 | 756,3 | 96,8 | 2,1 | 0,1 |
| MEIR | 1,1 | 0,1 | 20,9 | 4,5 | 118,7 | 39,3 | 144,3 | 43,1 | 1,0 | 0,3 |
| TOL 1 | 0,7 | 1,6 | 17,5 | 7,8 | 51,1 | 10,2 | 139,6 | 15,6 | 0,3 | 3,3 |
| TOL 2 | 2,4 | 1,7 | 29,9 | 11,0 | 84,2 | 90,8 | 413,2 | 617,4 | 3,1 | 0,6 |
| TOL 3 | 0,7 | 0,7 | 22,3 | 2,7 | 88,3 | 102,6 | 168,5 | 175,3 | 1,2 | 1,4 |
| MAN 1 | 1,2 | 7,1 | 20,2 | 17,7 | 52,8 | 270,1 | 85,9 | 569,1 | 0,7 | 1,6 |
| MAN 2 | 9,8 | 1,9 | 62,0 | 14,9 | 305,5 | 125,5 | 3392,1 | 488,7 | 2,2 | 0,5 |
| CHAC | 1,6 | 3,6 | 26,1 | 7,9 | 88,6 | 97,5 | 82,5 | 294,4 | 3,6 | 1,1 |
| CANT | 2,3 | 0,8 | 30,2 | 6,9 | 130,7 | 23,4 | 604,9 | 251,7 | 0,9 | 1,3 |
| CARR 1 | 5,5 | 0,4 | 42,5 | 1,3 | 226,4 | 77,4 | 343,1 | 93,0 | 1,8 | 0,6 |
| CARR 2 | 2,6 | 2,7 | 39,8 | 8,6 | 187,3 | 119,7 | 932,8 | 384,3 | 0,8 | 1,7 |

Los mínimos y máximos para materia orgánica fueron 0.40 % en CANT en 2008 y CHAC 9,79 % a fines de invierno 2009 respectivamente (Tabla 10).

Los porcentajes de agua en sedimentos variaron entre 16,8% en MAN 1 en el 2008 y 62 5 en MAN 2 en el 2009.

El fósforo total presentó concentraciones mínimas en TOL 1 (51,1 µg/L) en 2009 y máximo en MAN 2 (305,5 µg/L) ambas a fines de verano del 2009. Para el nitrógeno total los valores mínimos y máximos fueron los siguientes: Nt - 7,1 µg/L (MAN 1 a fines de invierno del 2008) y 3392,1 µg/L, (MAN 2, fines de invierno 2009).

Para carbonatos el mínimo se presentó en CARR 2 0,2 % (2008) y máximo en 3,6 % en CHAC (2009).

Las correlaciones entre las variables fisicoquímicas medidas en sedimentos fueron todas significativas ($p < 0.05$) y positivas (Tabla 11).

El contenido de materia orgánica se correlacionó positivamente fósforo y nitrógeno totales, carbonatos y la fracción limos y arcillas en ambos muestreos; el fósforo total se correlacionó con nitrógeno total en ambos muestreos y además con contenido de carbonatos y fracción limos y arcillas; el nitrógeno se correlacionó con limos y arcillas solamente en 2009 y contenido de carbonatos de correlacionó con limos y arcillas en ambos muestreos.

Tabla 11 – Correlaciones entre variables fisicoquímicas en sedimentos para los años 2008 y 2009

| 2008 | % M.O. | % agua | Pt | Nt | % CO3 | Ly A | 2009 | % M.O. | % agua | Pt | Nt | % CO3 | Ly A |
|--------|--------|--------|------|------|-------|------|--------|--------|--------|------|------|-------|------|
| % MO | 1,00 | | | | | | % MO | 1,00 | | | | | |
| % agua | 0,72 | 1,00 | | | | | % agua | 0,87 | 1,00 | | | | |
| Pt | 0,41 | 0,61 | 1,00 | | | | Pt | 0,77 | 0,76 | 1,00 | | | |
| Nt | 0,43 | 0,69 | 0,71 | 1,00 | | | Nt | 0,67 | 0,74 | 0,67 | 1,00 | | |
| % CO3 | 0,56 | 0,40 | 0,28 | 0,34 | 1,00 | | % CO3 | 0,56 | 0,52 | 0,43 | 0,22 | 1,00 | |
| Ly A | 0,56 | 0,32 | 0,10 | 0,23 | 0,72 | 1,00 | Ly A | 0,68 | 0,54 | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 1,00 |

También se hizo las correlaciones entre el promedio de las variables fisicoquímicas y el potencial redox. Las únicas correlaciones significativas se dieron entre Eh y fósforo total ($r = -0.73$) y contenido de agua ($r = -0.63$) en el año 2009.

Con el fin de conocer el patrón general de los metales pesados en la CAC se tomó en cuenta la totalidad de las muestras tomadas en ambos muestreos ($n=69$). La Tabla 12 resume la estadística descriptiva básica para los metales analizados. Los metales S, K, Ca, Ti y Fe están representados en % (porcentaje), los demás en $\mu\text{g/g}$ o ppm (partes por millón). Todos los datos obtenidos están referidos a cantidad de muestra seca.

Las muestras presentaron una gran variedad por elemento considerado. De los metales pesados, un 45 % de los mismos fueron muy variables espacialmente, un 32% variable y solamente un 23% presentó poca variación. En particular las concentraciones de los metales Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb fueron muy heterogéneas entre las muestras.

Tabla 12 – Estadísticos básicos para los metales de la CAC

| variable | N | promedio | mínimo | máximo | desvío | CV |
|----------------------------------|----|----------|-----------|-----------------------------|--------|--------|
| S | 69 | 0,32 | 0,01 | 1,10 | 0,32 | 101,70 |
| K | 69 | 1,27 | 0,30 | 2,06 | 0,30 | 23,25 |
| Ca | 69 | 2,10 | 0,93 | 6,80 | 1,06 | 50,27 |
| Ti | 69 | 0,61 | 0,12 | 1,62 | 0,18 | 30,08 |
| Fe | 69 | 3,08 | 1,33 | 7,53 | 1,05 | 34,13 |
| V | 69 | 86,67 | 7,00 | 179,00 | 41,22 | 47,56 |
| Cr | 69 | 249,93 | 7,20 | 2002,00 | 335,81 | 134,37 |
| Mn | 69 | 654,48 | 153,70 | 2007,00 | 303,41 | 46,36 |
| Ni | 69 | 32,17 | 6,10 | 222,50 | 42,40 | 131,82 |
| Cu | 69 | 67,56 | 14,70 | 667,50 | 94,84 | 140,39 |
| Zn | 69 | 202,96 | 39,70 | 2289,00 | 319,87 | 157,60 |
| Ga | 69 | 15,71 | 8,20 | 20,40 | 1,97 | 12,53 |
| As | 69 | 7,95 | 1,15 | 80,40 | 9,44 | 118,72 |
| Br | 69 | 11,90 | 1,30 | 39,00 | 7,31 | 61,44 |
| Rb | 69 | 66,99 | 8,30 | 100,30 | 15,76 | 23,52 |
| Sr | 69 | 248,84 | 173,60 | 660,00 | 92,16 | 37,04 |
| Y | 69 | 26,99 | 8,30 | 51,80 | 6,97 | 25,83 |
| Zr | 69 | 546,15 | 97,20 | 3060,00 | 353,34 | 64,70 |
| Nb | 69 | 10,84 | 1,90 | 19,20 | 3,29 | 30,39 |
| Sn | 69 | 19,74 | 7,60 | 99,80 | 12,77 | 64,72 |
| Ba | 69 | 575,46 | 105,40 | 1008,00 | 139,28 | 24,20 |
| Pb | 69 | 31,58 | 0,50 | 141,30 | 22,70 | 71,90 |
| $C.V. = \frac{S}{\bar{X}} * 100$ | | | CV<30% | La muestra es poco variable | | |
| | | | CV 30-60% | La muestra es variable | | |
| | | | CV>60 | La muestra es muy variable | | |

Se analizaron además el cadmio y el antimonio en ambos muestreos, encontrándose para todas las muestras valores $< 2 \mu\text{g/g}$ y $< 3 \mu\text{g/g}$ respectivamente. El mercurio fue analizado solamente para el primero muestreo, encontrándose $\text{Hg} < 1,0 \mu\text{g/g}$, excepto para una de las muestras de Chacarita ($\text{Hg} = 1,1 \mu\text{g/g}$) y una de las muestras de Tol 2 = $1,2 \mu\text{g/g}$.

Análisis de componentes principales

En las Fig. 12 y 13 se observa el patrón espacial de estaciones de muestreo en función de las principales características del sedimento. En el muestreo de 2008, los dos primeros componentes explicaron un 56,7 % de la varianza correspondiendo un 32 % al CP1. El

primer componente se correlacionó positivamente con Ni, Sn, Cr, Sr y % grava y negativamente con Nb, % MO y % lodo. El segundo componente estuvo conformado por Ba y K y por contribuciones negativas de Fe, N y As.

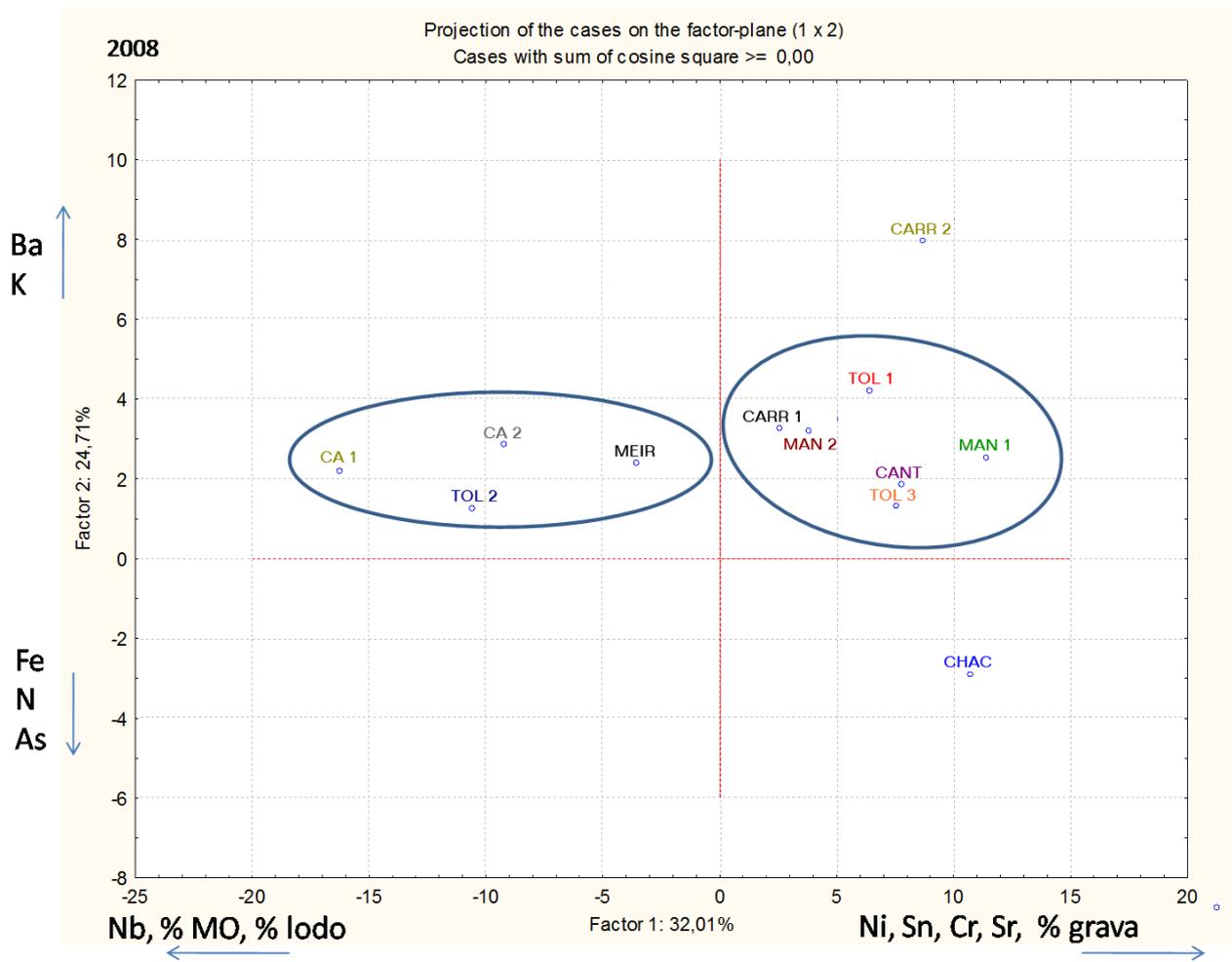


Fig. 12- Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de sedimentos de 2008. En la tabla adjunta – Contribución de las variables en la conformación de cada factor–basado en correlaciones. En la tabla adjunta – contribución de las variables en la conformación de cada factor–basado en correlaciones, para el muestreo del 2008 en sedimentos.

Peso de las variables en la formación de los componentes I y II - año 2008

| VARIABLES | CP I | CP II | VARIABLES | CP I | CP II |
|-----------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| S | 0,21 | -0,49 | Sr | 0,64 | 0,51 |
| K | -0,35 | 0,68 | Y | -0,72 | -0,22 |
| Ca | 0,59 | -0,33 | Zr | -0,58 | 0,25 |
| Ti | -0,69 | -0,18 | Nb | -0,79 | 0,27 |
| Fe | 0,05 | -0,93 | Sn | 0,83 | -0,18 |
| V | -0,02 | -0,78 | Ba | 0,46 | 0,74 |
| Cr | 0,63 | -0,25 | Pb | 0,33 | -0,66 |
| Mn | 0,56 | -0,14 | N | -0,18 | -0,88 |
| Ni | 0,95 | 0,16 | Pb | -0,29 | -0,72 |
| Cu | 0,56 | -0,45 | % agua | -0,5 | -0,73 |
| Zn | 0,63 | -0,03 | % M.O. | -0,76 | -0,42 |
| Ga | 0,65 | -0,06 | % CO3 | -0,55 | -0,35 |
| As | -0,14 | -0,85 | % grava | 0,64 | -0,26 |
| Br | 0 | -0,16 | % arena | -0,55 | 0,27 |
| Rb | -0,64 | 0,54 | % lim. y arc. | -0,76 | -0,03 |

En la Fig. 12 se observa dos grupos de estaciones: uno ubicado en el primer cuadrante que recibe contribuciones positivas de las variables que componen el CP1 y CP2: TOL 1, TOL 3, CARR 1, CANT, MAN 1 y MAN 2. Ubicados en el cuadrante 4 están las estaciones CA1, CA2, TOL 2 y MEIR que se correlacionan con Ba, K, Nb, % MO y % lodo. Las estaciones CARR 2 y CHAC aparecen aisladas de las demás.

En el muestreo de 2009 los dos primeros componentes explicaron un 55,4 % de la varianza. El CP1 explicó un 33,4 % y está conformado principalmente por Ca, Ni y Fe correlaciones negativas con Rb y K. El componente 2 se relaciona con Cu, Pt, % materia orgánica y contenido de carbonatos.

Se observan dos conjuntos de estaciones: CANT, TOL 2, MEIR, MAN 1 y TOL 1 correlacionado negativamente con el componente 2 y contribución nula del CP1 y otro grupo formado por MAN 2, CARR 2; CARR 1 y CA3, correlacionado positivamente con Cu, Pt, M.O. y contenido de CO3. Las estaciones CHAC y TOL 3 aparecen separadas del resto del conjunto y se correlacionaron positivamente con el componente 1 y 2.

Las variables que explicaron la varianza en los dos primeros componente fueron distintas para cada muestreo. La Chacarita apareció aislada en ambos muestreos, revelando que los valores encontrados para esta estación se destacan de todos los demás.

Las estaciones que se mantuvieron agrupadas en ambos muestreos fueron MEIR y TOL 2 por un lado y por otro CANT y MAN 1 y TOL 1. El Ni, Sn y Cr tuvieron un peso importante en la conformación del componente 1 a fines de invierno y 8 de 12 estaciones se ubicaron del lado positivo de este componente. A fines de verano el Cu tuvo un importante peso en la conformación de eje 2 y las estaciones MAN 2 CARR 1, CARR 2 y CA 3 se ubicaron a lo largo del eje positivo de este componente.

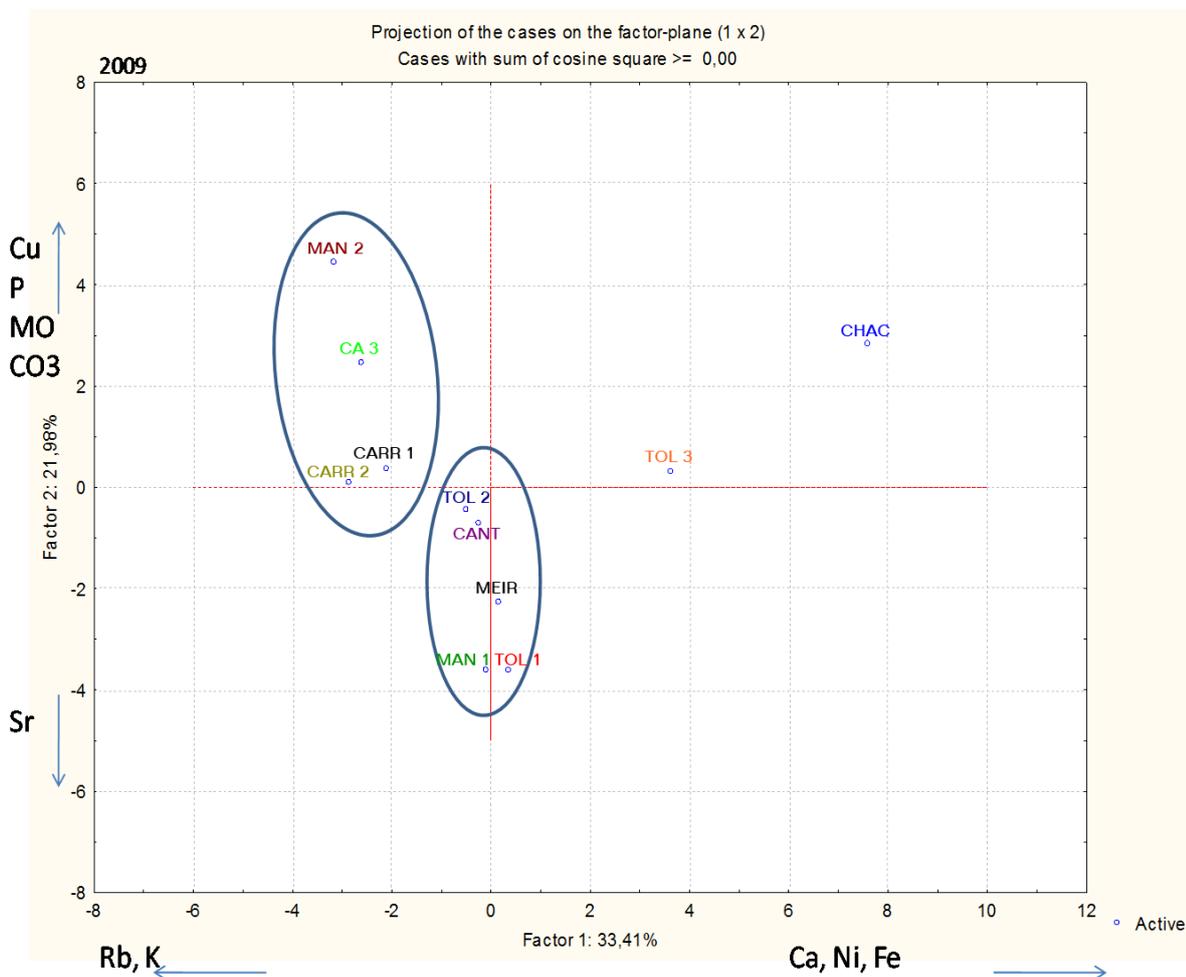


Fig. 13- Gráfica de los dos primeros factores para el muestreo de sedimentos de 2009. En la tabla adjunta – contribución de las variables en la conformación de cada factor – basado en correlaciones, para el muestreo de sedimentos del 2009

Peso de las variables en la formación de los componentes I y II - año 2009

| VARIABLES | CP I | CP II | VARIABLES | CP I | CP II |
|-----------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| S | 0,34 | 0,48 | Sr | -0,03 | -0,7 |
| K | -0,91 | -0,19 | Y | -0,42 | 0 |
| Ca | 0,88 | 0 | Zr | 0,26 | -0,22 |
| Ti | 0,41 | -0,06 | Nb | -0,5 | -0,15 |
| Fe | 0,82 | 0,46 | Sn | 0,19 | -0,38 |
| V | 0,71 | 0,47 | Ba | -0,54 | -0,58 |
| Cr | 0,35 | 0,18 | Pb | -0,29 | 0,68 |
| Mn | 0,57 | -0,56 | N | -0,5 | 0,64 |
| Ni | 0,86 | 0,43 | Pb | -0,62 | 0,72 |
| Cu | 0,45 | 0,71 | % agua | -0,58 | 0,77 |
| Zn | -0,01 | -0,24 | % M.O. | -0,59 | 0,73 |
| Ga | -0,73 | -0,1 | % CO3 | 0,35 | 0,68 |
| As | 0,74 | 0,5 | % grava | 0,6 | -0,39 |
| Br | -0,63 | 0,07 | % arena | -0,56 | 0,3 |
| Rb | -0,95 | -0,09 | % lim. y arc. | -0,43 | 0,47 |

Al aplicar ANOSIM basado en distancia euclídea, entre temporadas (fines de invierno del 2008 y a fines de verano del 2009) se encontró que existieron diferencias marginalmente significativas en la globalidad de los datos $R: 0.036$, ($p = 0.0589$). Las diferencias entre las estaciones de muestreo en cada muestreo fueron mayores que entre las dos épocas muestreadas: ANOSIM para el 2008: $R: 0.5$ ($p < 0.0001$) y para el 2009 $R: 0.49$ ($p < 0.0001$). Todas las estaciones presentaron valores diferentes entre sí, excepto en el muestreo del 2008 donde las estaciones CANT y CARR 2 fueron similares ($R=1$).

Se utilizó la prueba de Mantel para verificar la constancia en el tiempo de los patrones espaciales. La prueba de Mantel permitió establecer que una parte del patrón espacial de las características del sedimento estudiadas permanecen en el tiempo ($R= 0,57$ $p=0,0026$). El resultado de la prueba de ANOSIM entre muestreos es consistente con la prueba de Mantel. Los métodos de permutación entre ambos tests es el mismo, lo que produce probabilidades similares (Legendre & Legendre, 2003). Sin embargo, no se observó (con la prueba de Mantel) relaciones entre las características físico-químicas del sedimento y la geología de las cuencas (2008: $R= -0,044$; $p= 0,5$ y 2009: $R= -0,04$; $p= 0,48$), ni con los usos de la cuenca (2008: $R = -0,2$; $p = 0,75$ y 2009: $R = -0,2$; $p = 0,83$). Por último, las propiedades del sedimento no presentaron relación con los patrones espaciales de calidad del agua (2008: $R = -0,21$; $p = 0,74$ y 2009: $R = -0,14$; $p = 0,62$).

Prueba de Mann-Whitney

Para detectar si existieron diferencias temporales en las concentraciones de metales pesados en la CAC, se realizó test de Mann-Whitney para cada variable. Los resultados están presentados en la Tabla 13.

Tabla 13 – Resultados de la prueba de Mann-Whitney tomando cada par de variables muestreadas a fines de invierno y a fines de verano. Se señala en rojo aquellas variables que presentaron diferencias significativas entre ambos muestreos.

| Mann-Whitney - Factor: estaciones del año | | | |
|---|----------|----------|----------|
| VARIABLE | p | VARIABLE | p |
| S | 0,136229 | Sr | 0,005127 |
| K | 0,003246 | Y | 0,014008 |
| Ca | 0,847582 | Zr | 0,301570 |
| Ti | 0,007118 | Nb | 0,001577 |
| Fe | 0,002671 | Sn | 0,592852 |
| V | 0,001156 | Ba | 0,131648 |
| Cr | 0,078426 | Pb | 0,424359 |
| Mn | 0,239107 | % grava | 0,8055 |
| Ni | 0,796176 | % arena | 1 |
| Cu | 0,163462 | % lodo | 0,8535 |
| Zn | 0,192450 | % M.O. | 0,354986 |
| Ga | 0,190242 | % AGUA | 0,524345 |
| As | 0,028665 | P | 0,605479 |
| Br | 0,128572 | N | 0,000000 |
| Rb | 0,003936 | % CO3 | 0,085836 |

El 40% de los metales pesados presentaron diferencias temporales significativas entre los dos muestreos: K, Ti, Fe, V, As, Rb, Sr, Y y Nb y de las variables fisicoquímicas solamente el nitrógeno. Entre los metales pesados, solamente el Sr presentó mayores niveles en el año 2008, los demás tuvieron concentraciones superiores a fines de verano (2009).

Análisis de correlaciones en sedimentos

Se aplicó el Análisis de Correlación de Spearman entre las variables fisicoquímicas del sedimento para los años 2008, 2009 y ambos combinados; para los usos de la cuenca y para la geología y variables fisicoquímicas del sedimento (Anexo II – Tablas 1, 2 y 3). En estas tablas resumen se muestran solamente aquellas correlaciones significativas que se expresan en las tres variantes estudiadas (2008+2009, 2008 y 2009).

1. Análisis de las variables fisicoquímicas y los metales pesados en sedimentos (análisis espacial considerando los dos muestreos por separado y todos los datos combinados).

Del análisis de correlaciones de las variables, (Anexo II – Tabla 1) se desprende que el estroncio es el único metal que se correlacionó con las variables fisicoquímicas. La correlación se dio con todas las variables y todas fueron negativas. (M.O., % agua, Pt, Nt, contenido de CO₃ y fracción limos y arcillas).

Luego se pueden apreciar correlaciones positivas entre los macroelementos Ca, Fe y Ti y entre S, Ca y Fe con Cr, Zn, Pb, Ni, As y V.

En cuanto a los elementos traza podemos encontrar correlaciones positivas entre los grupos Cr, Zn y Pb (que a su vez se asocian al S), Cr y Ni, Cu, Zn y Pb.

El Zn y Pb aparecen correlacionados varias veces, combinados con el Cu, o con el Cr y S o con Br y Sn. El Ni se correlaciona con Cu, Cr y As y V y también se correlacionan el Sr y Ba.

El K se correlacionó negativamente con Ca y Fe, y el Ti con S entre los macroelementos. Entre los oligoelementos se dieron correlaciones negativas entre Zr y Ni con Zn y Cu; Mn y Rb; y Sr y Pb.

2. Análisis entre usos de la cuenca y variables fisicoquímicas en sedimentos

En el análisis de la variabilidad espacial entre los usos de la cuenca y las variables estudiadas en sedimentos -datos promedio de todas las replicas- se encuentra que las actividades que más impactaron sobre la calidad de los sedimentos fueron la presencia de clasificadores que se correlacionó positivamente con Zn y Pb y negativamente con Zr, y las industrias textil y de curtiembre que se correlacionaron positivamente con Zn, Sn y Ni.

Los atributos relacionados a la presencia de AAI (proximidad a cursos de agua, población, carga de DBO estimada a partir de su población) estuvieron correlacionados positivamente con el Zn. La presencia de animales se correlacionó positivamente con Ca y Ti y negativamente con el Pb (vacunos, ovinos, aves), y los usos forrajeros y hortofrutícola negativamente con Zn y Pb (Anexo II - Tabla 2).

Al comparar los usos que afectaron conjuntamente la calidad de agua y de sedimentos, encontramos que las actividades que ejercen impacto en ambas matrices ambientales son la presencia de clasificadores, población total, industria textil y curtiembres, animales y diferentes usos agrícolas.

3. Análisis entre geología de la cuenca y variables fisicoquímicas en sedimentos

Las principales correlaciones entre las formaciones geológicas y variables fisicoquímicas están resumidas abajo y en más detalle en el Anexo II – Tabla 3.

Correlaciones positivas

- Form. Dolores - V
- Form. Libertad – Ga
- Form. Montevideo – Fe, As, Nt
- Granodiorita – Cr, Pb, Nt

- Bañados – Pt
- Granitos Punta Espinillo – Ca
- Ortoneises Punta Carretas – Ga
- Migmatitas de Suárez – limos y arcillas
- Form. Fray Bentos – Fe y V
- Form. Raigón – Pt, agua y M.O.

Correlaciones negativas:

- Form. Dolores – potasio
- Form. Libertad – zirconio
- Dunas – manganeso
- Ortoneises Punta Carretas – azufre, cromo y % agua
- Migmatitas de Suarez – azufre, cromo, zinc e ítrio
- Form. Raigón – níquel

Las formaciones que estuvieron correlacionadas con las variables fisicoquímicas de agua y sedimentos en conjunto fueron: Granodiorita de las Canteras (correlaciones positivas con Cr, Pb y Nt), Ortoneises de Punta Carretas (correlaciones positivas con Ga y O.D. y negativas con S, Cr y % agua), Form. Libertad (correlaciones positivas con Ga y O.D. y negativas con Zr) y dunas (correlaciones negativas con Mn, pH y alcalinidad).

4. Análisis entre las variables fisicoquímicas en agua y en sedimentos

De forma esquemática se presentan las correlaciones significativas entre las variables medidas en agua y en sedimentos que se dieron para fines de invierno del 2008, para fines de verano de 2009 y los dos años combinados. El factor de la izquierda son las variables en agua y a la derecha en sedimentos.

Correlaciones positivas entre:

| | |
|-------|-------------------|
| Agua | sedimento |
| - pH | Sr |
| - DBO | Cu |
| - CF | Cr |
| - SRP | Cu, Zn, Sn, Pb |
| - Pt | S, Cu, Zn, Sn, Pb |
| - Nt | Pb |

Correlaciones negativas entre:

| | |
|-----------------|-----------|
| Agua | sedimento |
| - Conductividad | % M.O. |
| -pH | S, Y |
| -alcalinidad | S |
| -OD | S, % M.O. |
| - CF | K, Rb, Zr |
| - SRP | Zr |
| - Pt | Zr |
| - NO3 | V |

Propuesta de Niveles de Base para la CAC

Para el cálculo de valores de línea de base para la CAC se consideraron las muestras tomadas en las estaciones CA1 y CA2 de la cuenca alta. No se consideró en este caso los valores de la estación CA3 que por estar enriquecida con Cu, distorsiona los resultados y eleva el valor de línea de base para este elemento. De todas maneras se presentan los resultados considerando los datos de CA1 y CA2 por un lado y CA1, CA2 y CA3 por otro. Para cada caso se analizaron posibles *outliers* que pudieran sesgar los resultados. Al tomar solamente CA1 y CA2, un valor de Cu (CA2D) debió ser removido por encontrarse fuera del límite inferior de los datos. Al considerar las tres estaciones, se

debió remover un valor de Cr (CA2I) por encontrarse por encima del límite superior de los datos. La Tabla 14 representa los datos crudos para las estaciones en la cuenca alta.

Tabla 14 – Valores para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb medidos en la cuenca alta. Los valores marcados en la tabla fueron removidos en los cálculos de valores de línea de base. Ver explicación en el texto.

| estación | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb |
|----------|-------|------|-------|-------|------|------|
| CA1C | 25,3 | 8,5 | 23,3 | 59,3 | 5,2 | 19,3 |
| CA1C | 34,8 | 10,6 | 26,6 | 62,0 | 5,8 | 21,6 |
| CA1C | 16,0 | 7,7 | 25,3 | 64,5 | 5,7 | 21,0 |
| CA2D | 74,9 | 11,7 | 20,3 | 54,8 | 6,5 | 16,1 |
| CA2I | 124,5 | 14,2 | 23,8 | 59,2 | 7,1 | 15,6 |
| CA2C | 14,8 | 12,3 | 24,7 | 53,1 | 6,2 | 15,6 |
| CA3I | 18,0 | 14,0 | 106,6 | 86,5 | 8,0 | 26,0 |
| CA3C | 20,0 | 14,8 | 128,2 | 88,9 | 10,0 | 23,0 |
| CA3D | 20,0 | 15,5 | 129,7 | 102,3 | 8,0 | 31,0 |

Se calculó la línea de base a partir de la media de los datos para cada metal + 1 desvío estándar. La Tabla 15 resume los valores calculados como línea de base para la CAC.

80

Tabla 15 – Valores de Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb propuestos como línea de base para la CAC

| CAC - Cuenca Alta | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| CA1, CA2, CA3 | 47,97 | 14,92 | 105,71 | 87,80 | 8,45 | 26,20 |
| n° de muestras consideradas en el cálculo | n=8 | n=9 | n=9 | n=9 | n=9 | n=9 |
| CA1, CA2 | 57,85 | 13,26 | 26,04 | 63,10 | 6,75 | 20,98 |
| n° de muestras consideradas en el cálculo | n=6 | n=6 | n=5 | n=6 | n=6 | n=6 |

Por las consideraciones anteriores se toman los siguientes valores como línea de base:

Cr - 57,85 µg/g; Ni - 13,26 µg/g; Cu - 26,04 µg/g; Zn - 63,10 µg/g; As - 6,75 µg/g y Pb - 20,98 µg/g.

Se compararon los valores propuestos como línea de base para la CAC con otros valores para la región de Montevideo. Se hallaron concentraciones por debajo del mínimo reportado por Muniz *et al.*, (2004a, b) y dentro del rango medio publicado por los demás autores en trabajos anteriores al 2004 (Tabla 16). Si contrastamos con los resultados obtenidos de muestras de sedimentos sacadas de los Bañados de Carrasco por Lacerda *et al.* (1996), encontramos que algunos de los valores se encuentran por encima (Cu y Pb) y otros por debajo del mínimo (Cr y Zn) de la CAC. Los valores mínimo de Pb encontrados por Moresco & Dol (1996) son mayores que los de la CAC, no así para el Cu. De los elementos estudiados por Moyano *et al.* (1993), los mínimos encontrados fueron más bajos que los mínimos de la CAC.

Tabla 16 - Concentración de metales pesados en sedimentos de la cuenca alta de la CAC y para otros lugares de Montevideo. Concentraciones expresadas en $\mu\text{g/g}$ de peso seco.

| | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb | lugar | parámetro |
|----------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Este trabajo | 57,85 | 13,26 | 26,04 | 63,10 | 6,75 | 20,98 | CAC-cuenca alta | línea de base |
| Este trabajo | 22,93 - 121,50 | 8,93 - 14,77 | 22,93 - 121,50 | 55,7 - 92,57 | 5,57 - 8,67 | 15,77 - 20,63 | CAC-cuenca alta | min - máx |
| Burone et al., 2011 | 11,37 \pm 5,73 | 9,49 \pm 4,95 | 10,07 \pm 6,73 | 36,15 \pm 17,63 | 2,95 \pm 1,82 | 7,24 \pm 4,39 | Bahía | media \pm desvío |
| Muniz et al., 2004a | 79 - 253 | 26 - 34 | 58 - 135 | 183 - 491 | | 44 - 128 | Bahía | min - máx |
| Muniz et al., 2004a | 162 \pm 62 | 30 \pm 2 | 89 \pm 25 | 312 \pm 102 | | 85 \pm 31 | Bahía | media \pm desvío |
| Muniz et al., 2004b | 68 - 1062 | | | | | 99 - 365 | Bahía interna | min - máx |
| Muniz et al., 2004b | 37 - 50 | | | | | 38 - 56 | Costa | min - máx |
| Lacerda et al., 1998 | 10 - 108 | | 30 - 56 | 40 - 210 | | 17 - 73 | Bañado - CAC | min - máx |
| Moresco & Dol, 1996 | | | 10 - 112 | | | 40 - 148 | Bahía | min - máx |
| Moyano et al., 1993 | 0,48 - 57 | | 1 - 109 | 2,4 - 105 | | 1 - 141 | Bahía | min - máx |

Los valores observados por Burone *et al.* (2011) en estudio paleolimnológico revelan que al 3400 ± 40 ap., la cantidad de metales pesados encontrados podrían ser tomadas como niveles de fondo (*background level*) para la región. Se utilizaron los valores promedios de los últimos 5 cm de los testigos muestreados en la bahía de Montevideo en el 2011 para el cálculo del Factor de Enriquecimiento de la Cuenca del A° Carrasco (Tabla 17).

Factor de Enriquecimiento

Tomando como valores background los últimos 5 cm del testigo tomado por Burone *et al.* (2010), se calculó los factores de enriquecimiento para la CAC (Tabla 17).

Tabla 17 – Factores de enriquecimiento para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb en la CAC

| estación | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb |
|----------|-------|------|------|------|------|------|
| CA1 | 0,61 | 0,26 | 0,68 | 0,47 | 0,52 | 0,78 |
| CA2 | 1,30 | 0,28 | 0,47 | 0,32 | 0,47 | 0,45 |
| CA3 | 0,38 | 0,35 | 2,68 | 0,57 | 0,65 | 0,82 |
| MEIR | 2,47 | 0,69 | 0,58 | 0,36 | 0,54 | 0,63 |
| TOL 1 | 5,81 | 1,31 | 3,39 | 0,55 | 0,42 | 0,73 |
| TOL 2 | 0,74 | 0,39 | 0,61 | 0,35 | 0,39 | 0,51 |
| TOL 3 | 6,51 | 0,72 | 0,82 | 0,59 | 0,43 | 0,44 |
| MAN 1 | 4,23 | 1,30 | 0,88 | 7,33 | 0,44 | 0,79 |
| MAN 2 | 9,00 | 0,51 | 1,66 | 1,42 | 0,74 | 1,96 |
| CHAC | 3,87 | 0,78 | 2,56 | 0,89 | 0,89 | 0,86 |
| CANT | 12,58 | 0,99 | 1,31 | 1,06 | 0,65 | 1,49 |
| CARR 1 | 1,47 | 0,38 | 0,81 | 0,85 | 0,47 | 1,06 |
| CARR 2 | 5,87 | 0,82 | 0,82 | 0,65 | 0,41 | 1,19 |

EF < 1 elemento no enriquecido
 1 < EF < 10 elemento moderadamente enriquecido
 EF > 10 muy altamente enriquecido

De la tabla se desprende que el Cr fue el elemento más enriquecido en la CAC, en 10 de 13 estaciones a distintos niveles, siendo altamente enriquecidos en CANT y MAN; el Cu apareció altamente o moderadamente enriquecido en 5 estaciones y Ni, Zn y Pb moderadamente enriquecido.

Índice de geoacumulación (I_{geo})

Tomando los valores más bajos encontrados para la cuenca alta, se calculó el índice de enriquecimiento para esos metales en las diferentes estaciones de muestreo según la fórmula propuesta por Müller (1981). La Tabla 18 representa el grado de enriquecimiento de metales pesados para cada estación de muestreo.

Tabla 18 – Índice de Geoacumulación de las estaciones de muestreo para Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb en relación a la cuenca alta.

| Estación | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|
| CA 1 | 1,89 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,00 |
| CA 2 | 0,00 | 0,73 | 2,41 | 0,73 | 0,64 | 0,76 |
| CA 3 | 0,39 | 0,00 | 0,13 | 0,15 | 0,00 | 0,39 |
| MEIR | 3,75 | 1,77 | 0,49 | 0,72 | -0,24 | 1,10 |
| TOL1 | 3,75 | 2,46 | 2,56 | 0,50 | -0,18 | 0,40 |
| TOL 2 | 1,88 | 0,77 | 0,61 | 1,23 | 0,09 | 1,06 |
| TOL 3 | 4,51 | 2,19 | 1,10 | 1,18 | 0,45 | 0,25 |
| MAN 1 | 3,24 | 2,40 | 0,56 | 4,18 | -0,17 | 0,47 |
| MAN 2 | 4,71 | 1,41 | 1,85 | 2,18 | 0,95 | 2,15 |
| CHAC | 4,25 | 2,78 | 3,23 | 2,26 | 1,97 | 1,72 |
| CANT | 4,87 | 2,05 | 1,19 | 1,44 | 0,45 | 1,44 |
| CARR 1 | 1,21 | 1,13 | 0,52 | 0,28 | 0,14 | 0,32 |
| CARR 2 | 2,60 | 1,61 | 0,09 | -0,04 | 0,25 | 0,27 |

| | |
|--------------|----------------------------|
| Igeo < 1 | no contaminado |
| 1 < Igeo < 2 | muy pobremente contaminado |
| 2 < Igeo < 3 | baja contaminación |
| 3 < Igeo < 4 | moderadamente contaminado |
| 4 < Igeo < 5 | altamente contaminado |
| Igeo > 5 | muy altamente contaminado |

El orden de enriquecimiento de los metales fue Cr < Ni < Zn < Cu < Pb < As. La cañada Chacarita fue la que presentó grados de enriquecimiento para la mayor cantidad de metales considerados, seguido de MAN 2, CANT y TOL 3. Las estaciones menos afectadas fueron las de la cuenca alta.

Según este índice algunas estaciones aparecen altamente (o moderadamente) contaminadas por cromo y una (MAN 1) por Zn. La Chacarita aparece como moderadamente contaminada por Cu y para el Ni, Pb, Cu y Zn el Igeo varía entre < 1 y 3. La única estación que tiene afectación por As es la Chacarita que aparece muy pobremente contaminada por este metal.

Comparación con valores de referencia del CCME

Se seleccionaron algunos metales para analizarlos con mayor profundidad debido a su potencial toxicidad sobre la biota y los humanos: Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd y Hg. Los valores obtenidos para cada estación de muestreo en la CAC fueron comparados con los valores TEL y PEL propuestos por la legislación canadiense (Tabla 19). Se señalaron en la tabla los valores por encima del TEL (gris claro) y por encima del PEL (gris oscuro).

Tabla 19 - Valores promedio y el desvío estándar (n=6) de Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cd y Hg por punto de muestreo. En las últimas filas se presentan valores PEL y TEL utilizados por la legislación canadiense para determinar niveles de toxicidad de esos metales.

| Lugar | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb | Cd | Hg | µg/g |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|
| CA1 | 25,37 | 8,93 | 25,07 | 61,93 | 5,57 | 20,63 | <2,0 | <1,0 | Cuenca alta 3 |
| CA2 | 71,40 | 12,73 | 22,93 | 55,70 | 6,60 | 15,77 | <2,0 | <1,0 | Cuenca alta 1 |
| CA3 | 19,33 | 14,77 | 121,50 | 92,57 | 8,67 | 26,67 | <2,0 | <1,0 | Cuenca alta 2 |
| MEIR | 117,53 | 27,30 | 24,37 | 54,12 | 6,63 | 19,02 | <2,0 | <1,0 | Carrasco y Av Italia |
| TOL 1 | 260,58 | 49,02 | 134,77 | 78,88 | 4,90 | 20,83 | <2,0 | <1,0 | Toledo y Cno. Vazq. |
| TOL2 | 44,80 | 19,53 | 32,85 | 67,62 | 6,15 | 19,67 | <2,0 | <1,0 | Carrasco y Cno. Carr. |
| TOL 3 | 440,27 | 40,77 | 49,12 | 125,77 | 7,58 | 18,80 | <2,0 | <1,0 | Toledo y Bañ |
| MAN 1 | 183,12 | 47,13 | 33,80 | 1008,43 | 4,94 | 21,87 | <2,0 | <1,0 | Manga y Cno. Rep. |
| MAN 2 | 504,35 | 23,78 | 82,47 | 253,17 | 10,73 | 69,87 | <2,0 | <1,0 | Manga y Bañ |
| CHAC | 366,73 | 61,32 | 215,22 | 267,30 | 21,83 | 52,02 | <2,0 | 1,1 | Chacarita |
| CANT | 566,62 | 37,10 | 52,37 | 151,40 | 7,58 | 42,87 | <2,0 | <1,0 | Canteras |
| CARR1 | 71,37 | 15,23 | 35,03 | 130,63 | 5,94 | 32,88 | <2,0 | 1,2 | Toledo y 102 |
| CARR2 | 260,73 | 30,50 | 32,18 | 91,60 | 4,71 | 33,77 | <2,0 | <1,0 | Meirelles |
| Valores de Referencia | 37,30 | 18,00 | 35,70 | 123,00 | 5,90 | 35,00 | 0,60 | 0,17 | CCME TEL |
| | 90 | 35,9 | 197 | 315 | 17 | 91,3 | 3,5 | 0,486 | CCME PEL |
| | Cr | Ni | Cu | Zn | As | Pb | Cd | Hg | |

La Cañada de la Chacarita presentó valores altos para la mayoría de los metales considerados cinco con valores por encima del PEL y dos con valores por encima del TEL; MAN 1 presentó valores por encima del PEL para tres metales y TOL 1, TOL 3 y CANT para dos metales. El cromo presenta valores por encima del PEL en ocho de trece estaciones estudiadas y tres con en relación al TEL. Esto indica que la cuenca está fuertemente afectada por este metal. El Ni también presentó valores superiores al PEL en cinco estaciones y cuatro con valores superiores al TEL. El Cu, Zn y As aparecieron con valor superior al PEL en una sola estación y el plomo llegó a valores superiores al TEL en tres estaciones. Los valores de Cd y Hg estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica de análisis empleada y poco se puede decir de su toxicidad en el ambiente, excepto para el caso del Hg en CHAC y CARR1 que estuvieron por arriba del nivel PEL.

DISCUSIÓN

Los usos que afectan conjuntamente la calidad de agua y de sedimentos de la CAC son: la presencia de clasificadores, la industria textil, las curtiembres y la deposición final de residuos domésticos. Las microcuencas de las cañadas de la Chacarita y de las Canteras son las más afectadas en cuanto a la calidad ambiental. En ellas se concentran el 100% de la industria textil y de curtiembres y el 68% de los clasificadores de residuos.

Los niveles de Cr, Ni, Zn, Cu y Pb en el sedimento de la Cuenca del Arroyo Carrasco son elevados y superan los niveles de base registrados en el sistema, previo al establecimiento y desarrollo de la zona metropolitana. El patrón espacial de contaminación por metales y de origen orgánico es bastante conservativo en el tiempo, independiente de variaciones importantes del régimen de caudales.

Los análisis multivariados demuestran que el grupo de gradientes ambientales que explican los patrones espaciales observados, por un lado atributos vinculados con la carga orgánica y microbiológica y por otro lado parámetros físicos y los nutrientes, son similares entre los períodos estudiados aunque aparecen con distintos grados de importancia en cada muestreo. Además, la prueba de Mantel indicó que para el conjunto de las variables fisicoquímicas muestreadas en agua no hubo diferencias significativas temporales.

Características físico-químicas del agua

El primer muestreo fue realizado en condiciones más secas en relación al promedio histórico. Según Ducuing *et al.*, (1985) se aprecia que existe un período crítico de bajas precipitaciones entre octubre y febrero. Durante los meses de febrero y marzo de 2009 hubo una cierta recuperación de las lluvias pero el efecto acumulativo de la baja

precipitación en los meses previos al segundo muestreo no fueron suficientes para recuperar el sistema y los caudales no tuvieron una variación importante en relación al muestreo anterior. En resumen, la falta de lluvias provocó un estrés hídrico en la cuenca durante el período de estudio, lo que se vio reflejado en una disminución en los caudales y en consecuencia sobre la calidad de agua.

Los valores de conductividad se correspondieron a sistemas con alta carga de solutos disueltos y estuvo correlacionada con SST y % M.O. A su vez esas dos variables también estuvieron correlacionadas positivamente indicando que parte de la carga particulada en el sistema de la CAC corresponde a materia orgánica, patrón típico de sistemas que reciben aportes importante de desechos domésticos. La conductividad eléctrica fue alta debido a la presencia de geología sedimentaria con concreciones de carbonato de calcio (Formación Libertad) en gran parte de la cuenca. Sin embargo, parte de la variación entre estaciones de muestreo puede estar vinculadas a los aportes antrópicos (Arocena *et al.*, 2008).

La alcalinidad, una medida de la dureza del agua, generalmente asociada a los niveles de carbonato de calcio (CaCO_3), corresponden a lo reportado por Arocena *et al.* (2008) para cuencas sedimentarias (100-660 mg CaCO_3 /L). Se esperaría que debido a los altos porcentajes de materia orgánica en los SST, los procesos de oxidación de la materia orgánica condujesen a condiciones del medio ácidas. El pH del agua no se alejó de la neutralidad, solamente en una estación TOL 3 fue levemente ácido. Las correlaciones positivas entre alcalinidad, pH y O.D. sugieren una importante capacidad buffer del sistema capaz de amortiguar la acidificación asociado a la descomposición de importantes cargas de materia orgánica.

Las menores concentraciones de oxígeno disuelto a fines del verano se pueden deber a las mayores temperaturas registradas. La solubilidad de este gas está condicionada por la temperatura del agua, a mayor temperatura menor solubilidad. Estadísticamente se

observó una correlación negativa entre esas dos variables para el muestreo del 2009. En particular la concentración de oxígeno disuelto se presentó muy baja en la estación Carrasco y Av. Italia en ambos muestreos, al igual que reportado por Feola *et al.* (2005). La ausencia de correlación entre OD y temperatura a fines de invierno del 2008 sugiere que hay otros factores, además de los naturales, que regulan la concentración de este gas en este período.

La contaminación orgánica asociada a descargas domésticas o industriales, reduce las concentraciones de O₂ significativamente en los tramos de los ríos en la medida que los procesos microbianos consumen el mencionado gas (Hauer & Lamberti, 2007). Esto se vio reflejado en los altos valores de DBO en la Cañada de la Chacarita. El aporte orgánico al sistema hídrico en la Chacarita está vinculado a la mayor densidad demográfica, mayor concentración de personas en AAI y una mayor concentración de actividades de clasificadores en relación a las demás estaciones. Las industrias ubicadas en esta cuenca vierten sus efluentes al colector y no habría en el presente un aporte significativo desde esta rama de actividad al sistema (PECAC, 2007). Los valores de DBO se correlacionaron muy significativamente con las concentraciones de coliformes fecales encontrados en ambos muestreos en esta estación, lo que indica que la depleción de oxígeno se debe a la degradación de materia orgánica de efluentes domésticos. En este sector de la cuenca, los sólidos en suspensión totales (SST) corresponden casi totalmente a materia orgánica. A la altura de la Av. Punta de Rieles y luego en el canal del Manga cuando se encuentra con el Chacarita es donde se observa el mayor cúmulo de residuos sólidos sobre el cauce. Lo que más se encuentra son diferentes tipos de plásticos y bandejas de espumaplast que no tienen valor comercial y son descartadas por los clasificadores en la cañada. Cuando encuentra un obstáculo la basura se amontona y enlentece la velocidad de la corriente, evita el intercambio gaseoso con la atmósfera, todos estos factores agravan las condiciones de anoxia y degradación anaeróbica de la materia orgánica. Son comunes los olores a SH₂ y otros olores típicos de la podredumbre, agravando las condiciones sanitarias del entorno. Los valores de DBO en

la Cañada de las Canteras estuvieron en el límite de los valores estipulados por el Decreto en los dos muestreos. La principal amenaza asociada a la cañada de las Canteras es la presencia del vertedero municipal.

Los indicadores fósforo total y CF fueron superiores al estándar de calidad en un porcentaje altamente significativo (esto se dio en todas las estaciones para el fósforo y en casi todas para el CF excepto en CARR 1 a fines de invierno de 2008 y MAN 2, MEIR, TOL 1 y TOL 23 a fines de verano de 2009). Esas variables se correlacionaron positivamente entre sí y con la DBO y SRP. Estos contaminantes están asociados al vertimiento de aguas servidas domésticas al sistema hídrico (Cetesb, 2008), indicando la carencia en el tratamiento de los efluentes domésticos. La influencia de las aguas servidas domésticas, pueden ser la fuente de la materia orgánica generadora del nitrógeno amoniacal (Cetesb, 2008), parámetro que fue elevado en 6 de 10 estaciones en el muestreo del 2009. El nitrato es la forma nitrogenada que predomina en las aguas corrientes, excepto bajo condiciones de contaminación en que el amonio lo puede superar (Arocena *et al.*, 1989). La relación NH_4/NO_3 que denota la predominancia de procesos reductores alta (>1) en la cañada de las Canteras y de las Chacaritas a fines de verano, estuvo correlacionada a la presencia de altas cantidades de coliformes fecales y con la consecuente ausencia de O_2 . De manera general, las estaciones con mayores valores de DBO presentaron los menores registros de NO_3 . En algunas estaciones predominó la fracción NH_4 reflejando ambientes reductores, ricos en materia orgánica y con condiciones de hipoxia.

El máximo valor de nitrógeno total se registró en la estación de la cañada de las Canteras, ubicada aguas abajo de la usina Felipe Cardozo. Otros valores que se presentaron altos fueron CARR 1 y MAN 2 (posiblemente estas elevadas concentraciones estén generados por los lixiviados del vertedero municipal) y la Cañada de la Chacarita.

Los valores de nitrato fueron más altos en el muestreo a fines de invierno que el de fines de verano y siguieron un patrón similar al del nitrógeno total, excepto en la Chacarita (a fines de verano) que fue muy bajo. El valor máximo registrado fue en la cañada de las Canteras a fines de invierno, seguido de MEIR y TOL 2. El nitrógeno en estas dos últimas estaciones podría representar una carga al sistema derivado del uso de abonos orgánicos zafrales.

Las estaciones de la cuenca media fueron muy similares en cuanto a las características fisicoquímicas en ambos muestreos, con una influencia baja de carga orgánica, menos SST y más oxigenadas en relación a las demás estaciones. A pesar de la elevada utilización de agroquímicos reportado por la IMM (2001) y de la mayor población animal (SICA, 2000), no se encontraron valores elevados de nitrógeno total y nitratos ni de coliformes fecales. Al ser una cuenca rural, los procesos de infiltración del agua pueden ser más importantes que los de escorrentía evitando que la carga de lavados de diferentes sustancias llegue directamente a los cursos de agua o efecto amortiguador de la vegetación.

Pese a la proximidad geográfica de las estaciones de la cuenca baja, esas hacen parte de dos sistemas diferentes. Por un lado está la cuenca del Manga que recibe las aguas de las Cañadas de la Chacarita y de las Canteras y por el otro, el sistema del arroyo Toledo. El canal del Manga y el del Toledo se encuentran al norte de los Bañados de Carrasco y corren paralelos hasta que sus aguas se unen a la salida del bañado formando el A° Carrasco. En periodos de intensas lluvias, ocurre un trasvase desde el Toledo hacia el Manga mediante una alcantarilla que comunica ambos canales, lo que podría contribuir a homogeneizar las características del agua de las estaciones aguas abajo del bañado. Pero las condiciones de sequía previas al muestreo descartan esa posibilidad durante el período considerado. Los factores que inciden en la similitud de esas estaciones están vinculados a la presencia de AAI y al hecho de encontrarse aguas debajo de la cuenca captando diferentes contaminantes de las actividades generadas aguas arriba. El sistema

de los Bañados de Carrasco, antes de las obras de canalización y desecación, constituían un filtro natural, depurando las aguas que ingresaban al bañado a través de la retención de SST y procesos microbiológicos de degradación de la materia orgánica. Según Arocena & Pintos (1988), previo a las obras de desecación el bañado se mantenía inundado de marzo a noviembre. En la actualidad, los caudales medios y bajos son canalizados de manera casi inmediata a su ingreso y son conducidos hacia el Río de la Plata con mínimo o nulo tiempo de residencia (Arocena & Pintos, 1988). La función del bañado se vio seriamente comprometida con las obras realizadas y los contaminantes captados en la cuenca son transportados agua abajo condicionando una pérdida importante de la capacidad de autodepuración del sistema.

La ausencia de relaciones significativas, mediante la prueba de Mantel, entre las características físico-químicas del agua, los usos y características geológicas de la cuenca no implica definitivamente ausencia de relación entre los usos del territorio y la calidad de agua. En este sentido, el análisis de correlaciones de Spearman entre los datos de calidad de agua y los usos indica que la cobertura urbana y las actividades asociadas aumentan el aporte de SRP al sistema y disminuyen la concentración de O.D. Además, sugieren que la población total aumenta el aporte de SRP y PT al sistema. Ambas actividades tienen relación directa con aguas servidas y residuales. La presencia de clasificadores parece ser la actividad que más impacta los cuerpos de agua de la CAC, relacionándose directamente con los valores de DBO, CF y SRP. La actividad de clasificación de basura trae apareado otros hábitos como la cría de animales (cerdos, caballos, gallinas) que indirectamente puede ser el factor asociado a los clasificadores que esté impactando sobre el agua. Otro factor asociado a los clasificadores es que desechan los materiales que no les sirven a los cuerpos de agua y esto provoca el cúmulo de basura, grasas y aceites lo que ocasiona sombra en la columna de agua impidiendo la producción de O₂ por la fotosíntesis y compromete la circulación del agua acentuando las condiciones de anoxia.

Características del sedimento

El sedimento presentó condiciones de anoxia en una mayor cantidad de estaciones a fines de invierno que a fines de verano. Generalmente, el potencial redox es afectado por la concentración de oxígeno disuelto. Dicha relación es particularmente observada en ambientes acuáticos eutróficos, en cuerpos de agua con una estratificación termal marcada y en cuerpos de agua contaminados con altas concentraciones de materia orgánica oxidable (Reddy & DeLaune, 2008). En general los valores bajos de Eh están correlacionados a una alta DBO inducida por la descomposición de materia orgánica en el sedimento (Muniz *et al.*, 2004a). En nuestro estudio el Eh tuvo correlación negativa con la materia orgánica, nitrógeno y fósforo totales, pero no fue significativa para ninguno de los dos años. El Eh presentó correlación alta con coliformes fecales en agua, sobretodo a fines de invierno, lo que podría explicar las condiciones predominantes de anoxia en ese período. En condiciones aeróbicas, las formas oxidadas de Fe actúan como receptores de electrones y el Fe^{+++} se reduce a Fe^{++} liberando el fósforo que se encontraba unido al hierro (Reddy & DeLaune, 2008), por lo tanto es de esperarse correlaciones positivas entre el Eh y el fósforo en sedimentos si consideramos solamente este mecanismo. Sin embargo, la liberación de fósforo hacia la columna de agua, está regulado por otros factores como la vegetación (decaimiento vegetal y acumulación de detritus), propiedades fisicoquímicas del sedimento, las cargas de fósforo hacia el sistema, velocidad de la corriente, entre otros (Reddy & DeLaune, 2008).

Las correlaciones positivas y significativas entre limos y arcillas con materia orgánica y % de agua es el comportamiento esperado entre esas variables. Las fracciones más finas del sedimento retienen mayores porcentajes de agua y materia orgánica y también se correlacionaron positivamente con el contenido de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Las muestras analizadas en la CAC presentaron un alto coeficiente de variación (CV) entre réplicas, reflejando la heterogeneidad espacial en cuanto a la concentración de metales pesados, granulometría y variables fisicoquímicas en un tramo corto del río, Distribución espacial de metales pesados en la Cuenca del Arroyo Carrasco y su relación con los usos de la cuenca asociada
Luciana Mello

(dentro del cauce). La dinámica fluvial y sus procesos de transporte, sedimentación y erosión dan características puntuales al sedimento en cuanto a la granulometría, que a su vez, condiciona el contenido de arcillas y de materia orgánica de los sedimentos (Páez-Osuna, 2005). En situaciones donde existe una alta estacionalidad de los influjos fluviales pueden ocurrir cambios significativos en la distribución del tamaño de grano del sedimento, y por ende de la concentración de los metales pesados, modificando los gradientes formados durante los flujos fluviales menores (Lacerda *et al.* 2000).

El CV fue particularmente alto para los metales Cr, Ni, Cu, Zn, As y Pb. Esos metales están vinculados a actividades industriales, fertilizantes y lodos de aguas servidas. Sus entradas al sistema pueden ser muy variables en el tiempo ya que pueden ingresar como fuentes puntuales, o como fuente difusa desde la escorrentía de cuencas agrícolas o áreas urbanizadas o por deposición atmosférica proveniente del tránsito vehicular (Haygarth, 1998). La mayoría de estos elementos (excepto el As) estuvieron correlacionados positivamente. Además este grupo comparte el mismo comportamiento en base a sus respuestas al potencial redox, el Cd, Cu, Ni, Pb y el Zn son fijados en condiciones reductoras (Margalef, 1984) lo que podría estar explicando también sus correlaciones.

Los metales que menos variaron fueron K, Ga, Rb, Y y Ba. Esos metales tienen poca relación con procesos industriales o agrícolas y aparecieron poco correlacionados con los demás metales. El Ga no se correlacionó con ningún metal.

Los macroelementos (Ca, Fe, K) constituyen materiales estructurales del suelo (Zhao *et al.*, 2007), sus concentraciones están más relacionadas a la composición química de los materiales parentales de formación del suelo y el grado de meteorización que a la influencia antropogénica (Hamon *et al.*, 2004). El Ca, Fe, Mn, V y As estuvieron correlacionados entre sí. El Fe y Mn son fijados en condiciones oxidantes (Margalef, 1984). Los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn ejercen un control en la disponibilidad de

elementos traza en suelos (Adriano, 1986). Esto podría explicar en parte las correlaciones entre esos elementos.

Algunos metales estuvieron correlacionados con la materia orgánica (K, Ti, Fe, Cu, As, Rb, Y, Nb) o con el limo (Ti, As, Rb, Y, Nb, Pb) en por lo menos uno de los muestreos. Estas asociaciones pueden estar condicionadas por el transporte y deposición del sedimento en suspensión transportado por los ríos. Las zonas de deposición en los ríos tienen implicancias ambientales ya que en estas zonas, donde la velocidad del agua disminuye, el sedimento en suspensión es depositado cargando elementos adsorbidos como fósforo, metales pesados y compuestos como algunos pesticidas (Kaj *et al.* 2006). Esto sumado a los ingresos al sistema acuático va a incidir en la distribución de los contaminantes en las diferentes matrices ambientales. La distribución de los metales no está determinada solo por las características del sedimento, como el tamaño de grano o el contenido de carbono, sino que los gradientes reflejan la importancia relativa de las fuentes (Páez-Osuna *et al.* 2005).

Según Bertacini (2010) los elementos Fe, Cu, Si, V y Zn son típicos de emisiones de caño de escape de vehículos automotores. En la CAC se encontró correlaciones positivas y significativas para el Fe y V, para el Cu y Zn y para el Pb y S, lo que revela el origen común de esos metales. Otras asociaciones típicas de áreas contaminadas son entre el Zn, Cu, Pb (Tack *et al.*, 1997). Kabata-Pendias *et al.*, (1992) han encontrado correlaciones significativas entre As, Cd, Cr, Cu, Mn, Se, y Zn. Esta condición puede ocurrir porque esos elementos poseen el mismo radio iónico (Chen *et al.*, 1999), por lo que exhiben comportamientos geoquímicos similares durante los procesos edáficos (Ma *et al.*, 1997). También se han reportado correlaciones entre las concentraciones de Ni y Cr para suelos en California, Minnesota y Washington. Se han sugerido que esos elementos están asociados a la fase mineral del suelo (Chen *et al.*, 1998). Dudka (1993) encontró buenas correlaciones entre As, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, y Se y concentraciones de Al y Fe en suelos superficiales de Polonia, concluyendo que los niveles de esos

elementos son controlados principalmente por factores naturales. Algunas de esas asociaciones fueron halladas en este estudio.

El ACP agrupó las estaciones más similares en cuanto a sus características fisicoquímicas. En ambos muestreos se constató el agrupamiento de las estaciones Meireles y TOL 2 y aproximado al grupo de estaciones CANT y MAN 1 y TOL 1. El níquel y el cromo explicaron parte del peso del componente 1 a fines de invierno y el cobre parte del peso en la conformación del componente 2 a fines de verano. Esos metales están muy relacionados a la basura electrónica, al tránsito de rodados y a la presencia de chatarrerías, principalmente de autos en las inmediaciones de las estaciones TOL 1 y MEIR. En las estaciones MAN 1, MEIR y CANT se observó basurales en los márgenes y chatarra en el cauce de las Canteras.

La Chacarita presenta una gran disimilitud con el resto de las estaciones en los análisis multivariados con base en la información analizada en los sedimentos (de forma similar a las características analizadas en la columna de agua). Posiblemente esta cuenca reciba aportes de metales que deben estar relacionados a los materiales acopiados para el reciclado por parte de los clasificadores y por la cría de animales. A pesar de la presencia de 10 industrias en las cercanías de la Chacarita (6 curtiembres, 1 textil, 2 de papel, 1 química y 1 de alimento), todas esas vuelcan sus efluentes a colector, excepto una de papel que infiltra al terreno. No obstante, el sistema de saneamiento de Montevideo es unitario, lo que implica que además de transportar aguas domésticas e industriales, transporta también aguas pluviales. Durante periodos de lluvia medianamente prolongados, o luego de eventos puntuales de alta precipitación, la capacidad de las estaciones de bombeo es superada y se vierte a cursos de agua debido al desborde (IMM, 2006).

Los valores encontrados en la Chacarita, además de las actividades actuales nombradas arriba, pueden ser remanentes de una época en que la zona carecía de saneamiento y volcaba sus efluentes directamente a curso o infiltraba al terreno. La red de saneamiento

que recogía los efluentes de las curtiembres de la zona (que los vertía directamente a los arroyos) fue derivada a mediados de 1989 hacia el caño Paraguay (Moyano *et al.*, 1993). En el citado trabajo se infiere una mejora de las condiciones ambientales de la Playa Carrasco como consecuencia del desvío de efluentes de las curtiembres que hasta entonces descargaban directamente al arroyo. A esto se suma las obras de saneamiento en la zona, las cuales son llevadas a cabo a partir del año 1997 con el desarrollo del Plan de Saneamiento Urbano III (IMM, 2001). Las concentraciones que se encuentran en los sedimentos son el resultado de un proceso de acumulación temporal (Petts *et al.*, 1997). La concentración de cromo encontrada en esta cuenca probablemente sea una herencia de un pasado donde la industria vertía sus efluentes directamente al arroyo. Rubén Álvarez, un vecino de la zona relata lo siguiente respecto a una curtiembre localizada sobre la ruta 8, donde hoy está el laboratorio Roche, a la margen izquierda del A° la Chacarita:

Su galpón, aunque ya no existe era de mampostería con techos de chapas inclinadas hacia el arroyo, y es de suponer además que los efluvios de la rivera de la curtiembre se vertían en el mismo; evidentemente ya por esos años, fines de la década de los cuarenta, las aguas de ese arroyo se contaminaban (Álvarez, 2006).

El resultado de las diferentes pruebas de Mantel realizadas para el sedimento, evidenció la existencia de patrones similares entre las diferentes épocas de muestreo, pero no entre la geología, entre los usos de la cuenca y en relación a la calidad de agua. Este es un análisis que evalúa la globalidad de los datos. El no encontrar correlaciones entre las dos matrices de análisis (ambiental y de usos o geología) no implica que esas relaciones sean inexistentes.

Los resultados del ANOSIM indican que en cuanto a las características fisicoquímicas en sedimentos, la cuenca presentó gran heterogeneidad espacial pero no temporal, aunque

podrían existir, una vez que el valor de p fue marginalmente significativo. Las características naturales de cada punto muestreado y las diferentes actividades llevadas a cabo en la cuenca le confieren a cada estación de muestreo características únicas, y que a nivel de cuenca se mantuvieron similares entre los dos muestreos.

Los metales que presentaron diferencias significativas en las dos épocas, según la prueba de Mann-Whitney fueron: K, Ti, Fe, V, As, Rb, Sr Y y Nb y el nitrógeno. Los valores fueron mayores a fines de verano para todos los metales, excepto para el Sr. El clima de la CAC atravesó condiciones muy secas durante el período previo a y durante los muestreos. La mayor concentración de algunos metales en sedimentos a fines de verano podría ser explicada por la evapotranspiración de verano, que aumentó aun más el estrés hídrico de la cuenca.

El K, Fe, V, As y el nitrógeno podrían estar asociados a un aporte diferencial de abonos orgánicos y productos agroquímicos en los cultivos. En cuanto a las diferencias entre los demás elementos según Hamon *et al.* (2004), dada la alta variabilidad natural de las concentraciones de elementos traza en el ambiente, la robustez de los valores va a ser proporcional a la intensidad de muestreo. Además es ampliamente asumido que los procesos biogeoquímicos y hidrológicos que conduce a la génesis y meteorización de los suelos, ha resultado en una dispersión diferencial de elementos a través de los distintos tipos de suelos (Hamon *et al.*, 2004).

Debe recordarse que las obras de canalización pueden concentrar metales sobre los márgenes, en simples palabras, los valores en los márgenes puede resultar de una acumulación histórica de procesos industriales debido a la remoción de sedimento del centro del canal y su disposición en los márgenes.

La actividad de dragado también puede afectar la biodisponibilidad de los metales localmente y en el sitio de disposición a través de cambios en las condiciones de

oxidación–reducción causada por remoción y posterior deposición del material (Carreón-Martínez *et al.*, 2001).

Las actividades que más impactaron sobre la calidad de los sedimentos fueron la presencia de clasificadores (correlación positiva con Pb y Zn) y las industrias textil y de curtiembre (correlación positiva con Zn, Sn y Ni). El Pb puede ser derivado del lixiviado de cañería doméstica (Moyano *et al.*, 1991) o debido al lixiviado de las calles y -antes del 2004- por la limpieza de la ciudad de partículas cargadas del metal proveniente de la combustión de los autos (Moresco & Dol, 1996). La presencia de Zn y también del Pb puede deberse a la descarga de efluentes de fábricas de baterías, galvanoplástica y químicas, además de algunas curtiembres (Moyano *et al.*, 1991). El Ni está asociado al uso de fertilizantes, tránsito vehicular o efluentes domésticos y estiércol (Tabla 1).

Todas las curtiembres (7 en total) y textiles (4 en total) de la CAC están ubicadas en las microcuencas de la Chacarita y las Canteras y vierten sus efluentes al colector. El efecto de esas industrias en el sedimento puede ser residual de una época pasada, cuando el área no contaba con saneamiento. El 70% de los clasificadores están en esas microcuencas ejerciendo un impacto activo sobre las mismas. A pesar de que se dieron correlaciones entre esos usos y algunas de las variables, puede haber otros efectos locales que carecieron de significancia estadística, pero que pueden potencialmente repercutir sobre la calidad ambiental de la CAC. Esas áreas ya habían sido señaladas anteriormente como áreas de mayor vulnerabilidad ambiental (Fig. 5) debido además a otros factores (AII, población, animales creados sueltos, el vertedero municipal en las Canteras). Se destaca que estos usos también fueron los que más impactaron sobre la calidad de agua.

Algunas formaciones geológicas presentaron correlaciones con algunas variables fisicoquímicas en aguas y sedimentos. Las correlaciones entre las variables fisicoquímicas con las formaciones tienen una interpretación en función de la localización de esas formaciones. “Dunas” y Granodiorita las Canteras están localizadas en partes acotadas

de la cuenca y las asociaciones que se dan estarían vinculadas más a los usos de la tierra que a la formación propiamente dicha. “Dunas” está muy localizada en el sureste de la cuenca y asociado a las estaciones TOL 3, MAN 2, CARR 1 y CARR 2 y Granodiorita las Canteras, asociado a las estaciones CANT y MAN 1 (cercanía al vertedero municipal, actividad de clasificación de la basura, etc.). Además estas estaciones aparecieron agrupadas o muy próximas en los ACP realizados tanto para agua como para sedimentos (Figs.9 a 12). En cuanto a las correlaciones con las demás formaciones, es más complejo sacar conclusiones ya que se encuentran de forma dispersa por la cuenca (Fig. 2).

Del análisis entre las variables fisicoquímicas medidas en agua y en sedimentos, encontramos que el SRP y el Pt estuvieron correlacionados positivamente con Cu, Zn y Pb. Todos estos elementos pueden ser derivados de los aportes de la escorrentía urbana. Se ha reportado la co-ocurrencia de Cu, Zn y Pb -metales asociados a sulfidos-relacionado a la actividad industrial (Moyano *et al.*, 1991), típico de áreas contaminadas (Tack *et al.*, 1997) o cercano a plantas de tratamiento de aguas servidas (Ruiz *et al.*, 2001). Las relaciones de estos metales con Pt y SRP pueden ser explicadas además por la proximidad a plantas de tratamiento de agua, pero no es este el caso en el área. Lacerda *et al.* (1998) encontraron que el material en suspensión contenía altas concentraciones de Zn y Pb en las estaciones de la cuenca baja. Estos resultados sugieren que la mayor fuente de metales al sistema de la CAC es del agua de escorrentía superficial (Arocena *et al.*, 1992; Lacerda *et al.*, 1998).

Las correlaciones entre DBO en agua y el Cu en sedimentos podrían ser explicadas en parte por la tendencia del Cu de asociarse a la fracción orgánica del sedimento (Moresco & Dol, 1996). Un mayor índice de DBO estaría reflejando áreas con una mayor carga orgánica que puede sedimentarse y favorecer la asociación entre esas dos variables.

En cuanto a la correlación entre CF y Cr, Lacerda *et al.* (1998) han encontrado que la materia orgánica puede ser el principal transportador de Cr en el sistema del Arroyo

Carrasco. La distribución de Cr en la fase orgánica del sedimento es concordante con el tipo de efluentes provenientes de curtiembres y residuos urbanos (Lacerda *et al.*, 1998).

Una de las hipótesis manejadas en este trabajo se refiere a que las distintas formaciones geológicas no condicionan la distribución espacial de metales pesados en la cuenca y que las mismas son explicadas mayoritariamente por la distribución espacial de las actividades humanas. A este respecto se considera que los valores de *p* obtenidos en el test de Mantel, no son suficientes ni conclusivos para afirmar la relación entre la geología y los metales pesados. Por otro lado, los Factores de Enriquecimiento son una herramienta útil para detectar si los aportes son de origen geológico o antrópico, pero sería necesario realizar otro tipo de análisis, más directo, de la composición misma de las formaciones, para conocer los potenciales aportes de metales pesados. Sería adecuado tomar muestras de sedimento en profundidad, libre de contaminación antrópica para conocer con mayor precisión el aporte de elementos de cada formación geológica

La otra hipótesis de trabajo planteada fue que existen diferencias temporales en las concentraciones de metales medidos en sedimentos debido a un efecto de dilución del sistema. Eso se vio reflejado solamente en parte de los metales pesados. De los 22 metales analizados, solamente 9 metales presentaron diferencias significativas entre las dos épocas muestreadas, de los cuales solamente uno presentó mayor concentración a fines de invierno. El período entre los dos muestreos fue seco en relación a la media histórica y parte de la diferencia podría ser explicada por procesos de evapotranspiración que contribuyó a aumentar el estrés hídrico de la cuenca incrementando la concentración de algunos metales hacia fines del verano. Por otro lado, la mayoría de los metales no presentaron diferencias significativas entre las dos épocas estudiadas. Los inputs de metales a la cuenca pueden no verse reflejados directamente en los valores encontrados en los sedimentos debido a aportes diferenciales de abonos orgánicos y de agroquímicos en los cultivos. Otras diferencias podrían ser atribuidas a la heterogeneidad espacial del sedimento y a procesos biogeoquímicos. Solamente las fracciones solubles o débilmente

ligadas a las partículas del sedimento van a perderse de esta matriz, ya sea diluyéndose aguas abajo o siendo incorporados por la biota.

Niveles de base

Los valores considerados en el cálculo de la línea de base para este sistema fueron menores en promedio que los obtenidos para los demás puntos de la cuenca, lo cual corrobora la presunción de un menor aporte antropogénico en la cuenca alta. Los valores propuestos están en el rango de los valores encontrados en otros estudios de la región (Tabla 16). Sin embargo, Muniz *et al.*, (2004b) comparando los resultados para la Bahía de Montevideo con otros estuarios de Europa, Norteamérica y Sudamérica, encontró que los niveles y rangos de variación de estos datos son similares a los reportados para sitios con alto impacto antropogénico. Esto significa que los valores obtenidos en la cuenca alta no podrían ser considerados niveles de fondo, sino ya impactados por la actividad humana.

Es difícil hacer generalizaciones involucrando concentraciones de metales a nivel regional, ya que los diferentes autores generalmente no utilizan los mismos procedimientos analíticos y también el hecho de que diferencias menores en la geología y las características ambientales pueden resultar en grandes disparidades en lo que a concentraciones de metales se refiere (Lacerda *et al.*, 1998).

Los niveles de base deben ser calculados para cada sistema particular. Representan una concentración específica para un área en un momento en el tiempo y por ende no representan siempre el nivel de fondo verdadero (Kabata-Pendias, *et al.*, 1992; Micó, *et al.*, 2007). En este sentido, los valores de línea de base son útiles como parámetro para identificar los valores actuales de metales y sirven para evaluar el grado de contaminación por actividades humanas (Micó *et al.*, 2007). Los valores encontrados en

la cuenca alta sirven entonces como referencia para este sistema y es posible evaluar el grado de enriquecimiento de los demás puntos de la cuenca en relación a estos valores, pero los mismos no pueden ser tomados como nivel de fondo, sí como líneas de base. En un contexto más amplio, se han obtenido recientemente en la Bahía de Montevideo muestras de testigos de sedimentos (Burone *et al.*, 2010), los cuales sí pueden ser tomados como valores de fondo (*background*) para la región. Los mismos fueron calculados en base a testigos de sedimento datados en 3400 años antes del presente, momento para el que no hay evidencia arqueológicas que las ocupaciones humanas aportaran metales pesados al área. Los valores propuestos como línea de base para la CAC están entre 1,5 y 2,5 veces por encima del valor de Burone *et al.*, excepto para el Cr que está elevado 5 veces más.

Factor de Enriquecimiento, Índice de geoacumulación (I_{geo}) y comparación con valores TEL y PEL

Los puntos ubicados en la cuenca alta presentaron en general, menores concentraciones de metales con relación a los demás puntos de la cuenca y por debajo de los valores de referencia de otros estudios anteriores (Tabla 16), excepto para los niveles considerados por Burone *et al.* (2010). La determinación de los niveles de base para la cuenca alta – comparado a los demás puntos, sirve para evaluar rápidamente aquellos sitios que podrían estar afectados por contaminación (Micó *et al.*, 2007).

En este estudio fue posible evaluar el grado de enriquecimiento antropogénico (Tabla 17) solamente de algunos metales que eran de los que se disponían de datos de valores *background*. Se encontró que la Cañada de las Canteras está altamente enriquecida por Cr y 10 de 12 estaciones se encuentran moderadamente enriquecidas, incluso un punto de la estación CA2, el cual debió ser removido en los cálculos de niveles de base para la CAC debido a que fue detectado como un *outlier*. En todas las estaciones enriquecidas con Cr,

las concentraciones alcanzaron valores PEL (8 estaciones) y TEL (3 estaciones), excepto en CA2.

El Cu fue el segundo elemento enriquecido y condicionó los valores PEL en la CHAC y valores TEL en tres estaciones (CANT, TOL 3 y MAN 2). El Ni presentó enriquecimiento en dos estaciones, sin embargo en 5 estaciones superó el valor PEL y el valor TEL en otras 4. El Pb, y Zn aparecieron moderadamente enriquecidos en 4 y 3 estaciones respectivamente y el As no presentó grado de enriquecimiento antropogénico. A pesar de moderadamente enriquecidos, el Zn alcanzó valores PEL en MAN 2 y valores TEL en 5 estaciones y el As alcanzó valor PEL en CHAC y valor TEL en 8 estaciones y el Pb alcanzó valores TEL en tres estaciones. Los valores altos de Igeo coincidieron con aquellas estaciones donde la concentración de los metales alcanzó el valor PEL, y los valores medios alcanzaron los valores TEL. El valor del Igeo fue más consistente con los valores de riesgo ambiental encontrados en la cuenca que el Factor de Enriquecimiento ya que este último índice indicó enriquecimiento antrópico en algunas estaciones pero sin llegar a constituir un riesgo ambiental y en otras donde no indicó enriquecimiento antrópico, sí indicó valores de riesgo (valores PEL o TEL). El FE sirve para conocer que un metal está enriquecido a partir de fuentes antropogénicas y el Igeo como está enriquecido el sistema de la CAC en relación a sus valores de línea de base. La coincidencia entre valores Igeo y riesgo ambiental valorizan el uso del Igeo y los valores de línea de base propuestos para la CAC.

Analizando el índice de enriquecimiento geológico, se encontró que la cañada Chacarita resultó muy contaminada, seguida de las Canteras y MAN 2. El metal que apareció en mayor concentración en todos los puntos fue el Cr. El Cr ha sido reportado como un elemento con alta concentración en otros estudios realizados en los Bañados de Carrasco (Lacerda *et al.*, 1998) y para la Bahía de Montevideo (Moyano *et al.*, 1991, Moresco & Dol, 1996, Muniz *et al.*, 2002, 2004 a,b, Burone *et al.*, 2011). Este elemento está vinculado principalmente a la industria del cuero que en Uruguay se desarrolla desde el comienzo de la historia del territorio en el siglo XVII aunque la actividad de curtido de cuero con cromo empieza en fines del siglo XIX abarcando todo el siglo XX hasta el presente

(Baker, 1998). La investigación de Cranston & Kurucz (García-Rodríguez *et al*, 2010), que analizó testigos de la Bahía interna de Montevideo, encontró una intensificación de la actividad industrial en los últimos 70 años (20 cm del tope de los testigos), representada por las concentraciones de Cr y Zn. Estos autores identificaron a las curtiembres como la mayor fuente de metales pesados a la bahía. Información adicional no publicada asevera que la industria del cuero ha tenido una importante caída desde 1993 y actualmente la cuenca del Pantanoso recibe menos del 10 % de la carga de aquél momento (García-Rodríguez *et al*, 2010).

Otro elemento que aparece enriquecido en gran parte de la cuenca es el Ni. La entrada de Ni al ambiente proviene de combustible diesel, aceites lubricantes, galvanizado de metales, revestimiento de frenos (Zafra-Mejía, 2007). El Zn aparece asociado a la incineración de residuos y líquidos de frenos.

La mayoría de los metales considerados para el estudio de toxicidad provienen de la basura tecnológica, como pilas comunes, pilas recargables (Zn – Mn – Ni – Hg – Pb – Ag – Li), baterías, baterías de celular (Ni-Cd) y otros artefactos electrónicos (tubos de monitores de computadora y televisión – Pb, As) (S.A.D.S., 2011).

Los puntos donde hubo enriquecimiento de metales, fueron bastante coincidentes con los que estuvieron por encima de los valores TEL y PEL.

Los niveles de detección de la técnica aplicada para el mercurio y el cadmio están por encima de los niveles de referencia TEL y PEL. Solamente dos valores de Hg estuvieron por encima del nivel de detección y en ambos casos fueron mayores que el PEL. Sería recomendable utilizar una técnica más sensible para conocer con más precisión los niveles de esos metales en el ambiente.

Del análisis de resultados presentados en este trabajo, se desprende que la microcuenca de la Chacarita es el punto más comprometido en cuanto a la calidad ambiental, ya sea por afectaciones por metales pesados, cinco de los ocho metales estudiados estuvieron por encima del nivel PEL y dos por encima del TEL, o por la carga orgánica que llega al sistema. La segunda estación más comprometida fue las Canteras, que está ubicada aguas abajo del vertedero municipal y recibe aguas por lixiviados encontrándose enriquecida para el Cr, Ni por encima del valor PEL y Cu, Zn, As y Pb por encima del valor TEL. Luego esta cañada desemboca en el Arroyo Manga, aguas arriba del punto de muestreo de la estación MAN 2, la que aparece comprometida en cuanto a estos metales en tercer lugar. Otra estación de preocupación es TOL 3, con mayores afectaciones de niveles de metales pesados que TOL 2 que se encuentra aguas arriba de esta (Fig. 1). En TOL 3 se observaron viviendas casi sobre el cauce del arroyo, la cría de cerdos y aves y el agua con un avanzado estado de eutrofización.

Estableciendo un orden de prioridad para vigilar la calidad ambiental y salubridad pública, debería considerarse en primer lugar la cañada de la Chacarita. Luego en orden de importancia: la Cañada de las Canteras, MAN 2, MAN 1, TOL 3, TOL 2, CARR 2, CARR 1 y MEIR. Pero además se debe considerar aquellas áreas con mayor densidad poblacional, donde las probabilidades de afectación a la población son mayores, como por ejemplo Chacarita, MAN 1 y Canteras, sobretodo porque esas microcuencas poseen una importante población infantil, (<14 años según el INE, 1996), donde sus hábitos de juego y relación con el entorno los hacen más vulnerables.

De los metales estudiados en este trabajo, el As, el Pb, Hg y Cd son elementos no esenciales para la biota que pueden ser tóxicos a concentraciones elevadas. El Cd puede ser perjudicial a la biota mismo en bajas concentraciones (Kennish, 1992). Una particularidad de metales como el Hg, As y Pb es que pueden ser metilados y liberados hacia la atmósfera en forma de vapores. El Hg y el As específicamente son movilizados como vapores inorgánicos durante la combustión del carbón mineral. (Páez-Osuna, 2005).

De acuerdo con Moresco & Dol (1996), el plomo está distribuido entre las fracciones carbonatadas y oxidas, lo que implica que un gran porcentaje de este metal puede ser removido de los sedimentos por un descenso del pH (fracción carbonatada) o por una baja del Eh (fracción oxida) debido a las entradas de materia orgánica o déficits de oxígeno disuelto.

El Cr, Zn, Cu, Ni son elementos traza esenciales que dependiendo de su concentración pueden ser tóxicos o no. El Cr y el Zn entran al sistema acuático por deposición aérea o escorrentía superficial y consecuentemente su asociación con la materia orgánica resulta en la deposición en el sedimento. El Cr y Ni son denominados litófilos debido a que la masa transportada hacia los océanos por las aguas de escurrimiento excede a la transportada atmosféricamente (Páez-Osuna 2005). Los efectos biológicos del Cr incluyen disminución de la diversidad y abundancia, mortalidad y cambios comportamentales en los organismos bentónicos (CCME, 2002). Independiente del origen de esos metales, los organismos acuáticos pueden sufrir efectos adversos si son expuestos a altas concentraciones.

Riesgo en la salud

La ocurrencia de efectos biológicos adversos no puede ser predicha a partir de la concentración solamente, particularmente si los valores caen entre el TEL y el PEL (CCME, 2002), deben considerarse otros factores que afectan la biodisponibilidad de los metales. La proporción de metales unidos débilmente a un sedimento dado depende de numerosas variables ambientales más que de la composición del sedimento en sí (Lacerda *et al.* 2000). Entre ellas se destacan la conductividad, el contenido de materia orgánica y del agua suprayacente (Lacerda *et al.* 2000). El Eh y el pH del sedimento también juegan un rol importante en regular la solubilidad y transformaciones químicas de los metales traza. Valores de pH y Eh bajos en los sedimentos tienden a favorecer la

formación de especies solubles de muchos metales, mientras que en sistemas oxigenados no-ácidos, tienden a predominar formas débilmente solubles o insolubles (Reddy & DeLaune, 2008). Sin embargo, el pH y particularmente el Eh, regulan la formación de sulfidos, los cuales indirectamente influyen en la solubilidad de los metales (Reddy & DeLaune, 2008).

El riesgo a la salud por contaminación de metales pesados depende principalmente de su nivel de acumulación en el cuerpo. Los riesgos son mayores si el tiempo de exposición del organismo a dicha contaminación es prolongado. Se han reportado diferentes afecciones de los metales pesados: riesgo de cánceres, dificultad de aprendizaje, reducción de la fertilidad, síntomas gastrointestinales, trastornos de las funciones de los sistemas cardiovascular y nervioso, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, entre otras (WHO a,b, 1992). También va a depender de la especie de metal. En el caso del cromo por ejemplo, la forma cromo VI es tóxica y en la forma III es un elemento esencial para el ser humano (WHO, 1988). El Cr III presenta movilidad geoquímica baja, lo que reduce su potencial tóxico. (Kennish, 1992, Muniz *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

De las hipótesis planteadas en este trabajo, la distribución espacial de metales pesados en la cuenca es explicada mayoritariamente por la distribución espacial de las actividades humanas y no por el arreglo espacial de formaciones geológicas. En cuanto a si existieron diferencias temporales en las concentraciones de metales medidos, se encontraron diferencias significativas en 9 de 22 metales, siendo las concentraciones mayores a fines de verano (2009) para K, Ti, Fe, V, As, Rb, Y y Nb. Estas diferencias concordaron con el patrón originalmente esperado, mayor concentración en los períodos de menor caudal. Solamente el Sr presentó mayor concentración a fines de invierno (2008). Además de la actividad industrial, algunos de esos elementos podrían estar asociados a un aporte diferencial de abonos orgánicos y productos agroquímicos en los cultivos.

Algunos puntos analizados en este trabajo constituyen lugares de alto riesgo ambiental y para la salud y calidad de vida de las personas allí asentadas. La cañada de la Chacarita aparece como lugar de mayor emergencia ambiental, tanto por los niveles de contaminantes encontrados en sedimentos y agua como por la presencia de mayor población vulnerable. Siguen en importancia de alerta: las Canteras y Manga 1. La calidad del agua está bastante deteriorada con niveles muy elevado de coliformes fecales y fósforo. En las recorridas por la zona pudimos presenciar actividades recreativas de baños y pesca. Es urgente informar y orientar a las personas que utilizan esos recursos del peligro potencial que representan para la salud.

Las estaciones TOL 1, TOL 2, TOL 3 y MAN 3 también sufren amenazas tales como los AAI cercanos al agua, la cría de animales, la presencia de chatarrería y ladrilleras – sobre todo en las cercanías de TOL 1. Se ha observado en TOL 1, TOL 2, TOL 3, MAN 2 una estrecha relación de los habitantes de los AAI con el agua. Las estaciones que parecen menos afectadas en este estudio son Meireles, CARR 1 y CARR 2, pero aun

así se recomienda seguir vigilando t puntos una vez que los indicadores en agua y sedimentos apuntaron a condiciones alejadas de los estándares de calidad de agua.

El Cr es el metal de mayor preocupación ambiental en este estudio, con valores por encima del PEL en 8 de 10 estaciones (excluyendo los puntos de la cuenca alta). Otros metales que le siguen en importancia en cuanto a la afectación al sistema son $\text{Ni} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{Pb} < \text{As}$.

Los valores propuestos como **línea de base** para la CAC sirven específicamente para este sistema. Los valores de concentraciones de metales pesados obtenidos en la cuenca alta estuvieron por debajo de aquellos obtenidos para los demás puntos y fue posible evaluar a partir de esos valores el grado de enriquecimiento por metales en la cuenca. Esos valores no sirven como nivel de fondo (*background*) porque no son sistemas protegidos de la influencia de las actividades humanas. En este sentido, se cuenta en el presente con datos de testigos sacados de la bahía de Montevideo que arrojan valores fiables para ser considerados como niveles de fondo.

PERSPECTIVAS

La experiencia de este trabajo alienta a proponer nuevos estudios de evaluación de líneas de base para metales pesados para otros sistemas en el Uruguay; especialmente en una época de aceleradas transformaciones en el modelo económico que implican cambios tecnológicos en la agricultura, explotación minera a gran escala, industria liviana, etc.

Los valores propuestos de metales pesados como línea de base para la CAC, pueden ser aplicables a este sistema solamente. El principal aporte es que dan una idea de cómo las demás estaciones se enriquecen aguas abajo en relación a los puntos de control. El valor total determinado en este trabajo no permite discernir entre metales geogénicos y antropogénicos, tampoco saber sobre su toxicidad y biodisponibilidad. La comparación con otros niveles de base elaborados por las agencias ambientales (CCME, EPA) y otros

Distribución espacial de metales pesados en la Cuenca del Arroyo Carrasco y su relación con los usos de la cuenca asociada
Luciana Mello

investigadores (Tack *et al.*, 1997, Ma *et al.*, 1998, Micó *et al.*, 2007) es de carácter exploratorio, ya que los valores aquí propuestos son en base a metales totales, a diferencia de los demás que se refieren a las fracciones más débilmente unidas al sedimento.

Otro aspecto a considerar es que los niveles de base deben ser formulados teniendo en cuenta la variabilidad de metales pesados en los diferentes tipos de suelos y en una escala regional. Además el estudio debe complementarse con análisis ecotoxicológicos en una amplia gama de animales y con un número de muestras suficientemente grande para tener representatividad y que sean estadísticamente significativas. Se hace necesario contar con datos de otras cuencas del Uruguay para establecer líneas base que permitan inferir el comportamiento del contenido de metales pesados en los ecosistemas uruguayos.

El considerar problemas ambientales y sus efectos sobre la calidad de vida de las personas debe ser abordado de forma conjunta con otras disciplinas y actores. Además de considerar los aspectos técnicos como la evaluación de toxicidad, datos de epidemiología y el análisis de la calidad ambiental, hay que tener en cuenta los aspectos sociales, como las condiciones y hábitos de vida de la población y la capacidad de comunicación para transmitir a la población la información referente a los cuidados que se debe tener frente a las amenazas y contingencias ambientales. Igualmente debe contarse con la voluntad política y la comprensión pública para poder aplicar cualquier medida concerniente a los cambios necesarios para mejorar las condiciones ambientales de aquellas poblaciones más vulnerables y de las no tan vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

Adriano, D. C. (1986). Heavy metals in the environment. Springer-Verlag, New York, 1986.

Adriano, D.C. (1992). Biogeochemistry of trace metals, 2nd ed. Lewis Publishers, Boca Ratón.

Águila, J., Del Lugo; P., de la Fuente, J. y Vaca Paulín, R. (2005). Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en suelos de la cuenca alta del Río Lerma. *Ciencia Ergo Sum*, Julio-Octubre, vol.12, no.002, p.155-161. Universidad Autónoma del Estado de México – Toluca, México.

Álvarez, Rubén (2006). Las Curtiembres de Maroñas. *Zona Franja* – Periódico zonal. (2006). Setiembre. Año II. N° 10: 7.

110

APHA, AWWA & WEF (1995). Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 9 ed. Washington, DC.

APRAC ed. (19--). Programa de Educación Ambiental. Asociación Pro Recuperación del Arroyo Carrasco, 86pp

Arocena, R (1991). El macrozoobentos del arroyo Toledo y su relación con los procesos de contaminación y autodepuración. Tesis de Maestría en Biología, PEDECIBA – Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo.

Arocena, R. (1996). La comunidad bentónica como indicadora de zonas de degradación y recuperación en el Arroyo Toledo (Uruguay) *Rev. Biol. Trop.* 44(2):659-671

Arocena, R. (1998). Statistical analysis of benthic communities to assess suspected degradation and recuperation zones in an urban stream (Uruguay). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 26: 1188-1192.

Arocena, R. (1999). Métodos de investigación en limnología en: Métodos en ecología de aguas continentales (cap. 1: pp. 18 -23). Arocena, R. & Conde, D. eds. Edición DIRAC - Facultad de Ciencias.

Arocena, R. *et al.* (2008). Informe final - Evaluación ecológica de cursos de agua y biomonitorio – Cuenca del Río Santa Lucía - Convenio de cooperación técnica y científica - Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – Dirección Nacional de Medio Ambiente y Universidad de la República - Facultad de Ciencias - Sección Limnología

Arocena, R., Chalar, G., de León, R., Pintos, W. (1992) Evolución anual de algunos parámetros fisicoquímicos del arroyo Toledo-Carrasco (Uruguay). *Acta Limnologica Brasiliensia*, IV: 225-237

Arocena, R., Mazzeo, N. (1994). Macrófitas acuáticas de un arroyo urbano en Uruguay: su relación con la calidad del agua. *Rev. Biol. Tropical* 42 (3): 725-730

Arocena, R., Pintos, W. (1988). Antecedentes para un estudio limnológico del arroyo Carrasco. Serie Avances de Investigación, Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República, Montevideo. 32 p.

Arocena, R., Pintos, W., Chalar, G., de León, R. (1989). Variaciones físicas y químicas del arroyo Toledo-Carrasco, en verano. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 20: 15-23.

Baker, D. (1998). Curtido, acabado de pieles. En: Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Series de la O.I.T. V3: cap. (88) pág. 2. Disponible en http://www.ilo.org/safework/info/databases/lang--en/contLang--es/docName--MS_162039/index.htm

Battelle, Columbus (Ohio), Earth Tech, Inc. (Honolulu), NewFields, Inc. (Atlanta). (2003). GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL BACKGROUND ANALYSIS – Volume II: Sediment. 243 pp. Disponible en http://web.ead.anl.gov/ecorisk/related/documents/Final_BG_Sediment_Guidance.pdf

Bertacini, Paula Valença (2010). Material particulado fino presente no ar da cidade de São Paulo promove alterações nas células de Purkinje: um estudo experimental em embrião de galinha. Tese de Doutorado. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Blott, S.J., (2010). Gradistat Version 8.0. A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer.

Brazeiro A. (2001) Rescatando el Humedal de Carrasco: Un patrimonio natural en extinción. Asociación Pro-Recuperación del Arroyo Carrasco (APRAC), Montevideo. 17pp.

Burger, M.; Román, D. P. (2010). Plomo Salud y Ambiente - Experiencia en Uruguay. Universidad de la república - Montevideo

Burone, L., de Mahiques, M. M., Figueira, R. C. L., García-Rodríguez, F., Sprechmann, P., Álvarez, Y., Muniz, P., Brugnoli, E., Venturini, N., Souza, S.H.M, & Centurión, V. (2010). Evolución paleoambiental de la bahía de Montevideo (Uruguay). Pp.197-227

Bases para el establecimiento de un modelo ambiental. *In*: El holoceno de la zona costera del Uruguay. Felipe García-Rodríguez ed.

Caldevilla, G. (1940). “La desecación del los Bañados de Carrasco”, Revista de la Facultad de Agronomía Nos. 20 1940. 31pp.

Canadian Council of Ministers of the Environment - Canadian Environmental Guidelines (2002). Disponible en http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html

Canadian Councils of Ministers of the Environment (CCME), (2002). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environment and Human Health (1999, updated 2002).

Canadian Councils of Ministers of the Environment (CCME), (2002). Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

113

Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health (1999). Canadian Council of Ministers of the Environment. Technical documents. Disponible en <http://www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/english/default.cfm>

Carreón-Martínez, L.B., Huerta-Díaz, M.A., Nava-López, C., Siqueiros-Valencias, A. (2001). Mercury and silver concentrations in sediments from the Port of Ensenada, Baja California, Mexico. *Mar Pollut Bull*: 42:415– 8.

CDM & Asociados (1983) Informe final para los estudios sobre causas, tipos, fuentes y soluciones de la contaminación del Arroyo Carrasco. Montevideo. 93pp.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2008). Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. 540pp. Disponível em: www.Cetesb.sp.gov.br

Chalar, G. (1994). Composición y abundancia del zoobentos del arroyo Toledo (Uruguay) y su relación con la calidad de agua. *Revista Chilena Historia Natural*, 67: 129-141.

Chen, M., Ma, L.Q. & Harris, W. (1998). Background Concentrations of Trace Metals in Florida Surface Soils: Comparison of Four EPA Digestion Methods and Baseline Concentration of 15 Metals. University of Florida, Gainesville, ANNUAL PROGRESS REPORT. 71 pp.

Chen, M., Ma, L.Q. & Harris, W. (1999). Baseline Concentrations of 15 Trace Elements in Florida Surface Soils. Reprinted from the *Journal of Environmental Quality* Volume 28, nº 4, July-Aug.

114

Danulat, E., Muniz, P., García-Alonso, J., Yannicelli, B. (2002). First assessment of the highly contaminated harbour of Montevideo, Uruguay. *Baseline / Marine Pollution Bulletin* 44 (2002) 551–576

Dirección Nacional de Meteorología (1986) - Normales meteorológicas

Dodds, W.K. (2007). Trophic state, eutrophication and nutrient criteria in streams. *Trends in Ecology and Evolution*: 22: 669-676

Ducuing R, Lázaro M, Seoane A, Tilve MS, Chabalgoity M & MC Queijo (1985) Estudio de ordenamiento de la Cuenca del Arroyo Carrasco, Primer informe de avance,

Noviembre 1985, Tomo I Departamento de Planeamiento Urbano, Oficina de Estudios Territoriales, Equipo de Estudio designado por Res. No 4.072/85

Dudka, S. (1993). Baseline concentrations of As, Co, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, and Se in surface soils, Poland. *Appl. Geochem.* 2:23-28.

Duffus, J. H. (2002). "Heavy Metals" - A meaningless term? IUPAC Technical Report. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 5, pp. 793–807. Disponible en <http://www.iupac.org/objID/Article/pac7405x0793> (acceso el 22/09/2009).

ECOPLATA (1999). Diagnóstico ambiental y socio-demográfico de la zona costera del Río de la Plata, 991pp. Disponible en www.ecoplata.org/archivos/586.pdf

EMAP (1995) - Estuaries Laboratory Methods Manual, Volumen 1, section 5 Sediment Grain Size, August 1995.

115

Fabre, A., Carballo, C., Hernández, E., Piriz, P., Bergamino, L., Mello, L., González, S., Pérez, G., León, J. G., Aubriot, L., Bonilla, S. & Kruk C. (2010). El nitrógeno y la relación zona eufótica/zona de mezcla explican la presencia de cianobacterias en pequeños lagos subtropicales, artificiales de Uruguay - *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 5(1): 112-125

Feola, G. & González, Plomo en el Ambiente Extradomiciliario (2010). En *Plomo Salud y Ambiente - Experiencia en Uruguay*. Capítulo VII. UdelaR, Montevideo.

Font, G., Briano, E. (1998). Un Aporte para el Equilibrio entre la Generación de Residuos Sólidos Urbanos, su Disposición Final y el Medio Ambiente en la Zona N° 8 de Montevideo. Disponible en <http://www.chasque.net/vecinet/medioaz8.htm> (acceso el 24/08/2008).

Frommel, F. L. (1985). Mapeo de reconocimiento de los Bañados de Carrasco. MAP, Dirección de Suelos, Montevideo. 19pp

García, N., Machado, A., García, C., Socorro, E., Hernández, H. Granda; N. (2002). Concentraciones atmosféricas de pts y su contenido de metales en una zona adyacente a una planta de cemento. pp. 476-481. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000900006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.

García-Rodríguez, F., Hutton, M., Brugnoli, E., Venturini, N., del Puerto, L., Inda, H., Bracco, R., Burone, L. & Muniz, P. (2010). Assessing the effect of natural variability and human impacts on the environmental quality of a coastal metropolitan area (Montevideo Bay, Uruguay). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* (2010), 5(1): 91-100

Giller, P.S. & Malmqvist, B. (1998). The biology of streams and rivers. Oxford University press. 296pp.

González-Soto, E., Alonso-Rodríguez, E., Rodríguez; D.P. (2000). Heavy Metals. Pp. 439 – 458. *in Handbook of Water Analysis Food Science and Technology* (Marcel Dekker, Inc.) CRC Press. 920 pp.

Gordon, N.D., McMahon; T.A., Finlayson, B.L. (1992). Stream Hydrology – An Introduction for Ecologists. John Wiley & Sons. 526 pp.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 175 pp.

Hamon, R. E.; McLaughlin, M. J.; Gilkes, R. J.; Rate, A. W.; Zarcinas, B. A.; Robertson, A.; Cozens, G.; Radford, N.; Bettenay, L. (2004). Geochemical indices allow estimation of heavy metal background concentration in soils. *Global Biogeochemical Cycles*. (18):GB1014.

Hauer, F.R. & Lamberti, G.A. (2007). *Methods in stream ecology*, Academic press – 877 pp.

Haygarth, P.M. & Jones, K.C. (1992). Atmospheric deposition of metals to agricultural surfaces (9). 249 – 276. in D. C. Adriano (Ed.), *Biogeochemistry of trace metals*, 2nd ed. (chapter 3). Lewis Publishers, Boca Ratón.

Horta, S. (2002) *Diagnóstico Ambiental de Los Bañados de Carrasco: Aplicación de un Sistema de Información Geográfica*. Trabajo de pasantía para la Licenciatura en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo. 27pp

117

IMM (1994) – Evaluación de la contaminación de la Cuenca del Arroyo Carrasco. Informe técnico – Laboratorio de Higiene – Servicio de Laboratorios Municipales – División Salud y Bienestar Social - Intendencia Municipal de Montevideo. 73pp.

IMM (2001). Informe Ambiental Montevideo XXI. 84 pp. Disponible en http://www.montevideo.gub.uy/ambiente/documentos/infoamb_mvd21.pdf

IMM (2002) - La cría de cerdos en asentamientos irregulares – Cuaderno n° 2 Unidad de Montevideo Rural. 40 pp. Disponible en http://www.montevideo.gub.uy/publicaciones/rural_loscerdos.pdf

IMM (2005)-Intendencia Municipal de Montevideo. Programa de cuencas menores de Montevideo - Informe 2005 22pp. www.montevideo.gub.uy/ambiente/documentos.htm

IMM (2006) – Unidad de desarrollo ambiental. Sitio de disposición final de residuos. Estudio de revisión ambiental de Felipe Cardoso. 45pp. Disponible en www.montevideo.gub.uy/ambiente/documentos/felipecardoso.pdf (acceso el 25/09/2008).

IUCN, (2000) *Visión para la Naturaleza y el Agua. Una estrategia mundial para la conservación y el desarrollo sostenible de los recursos hídricos en el siglo 21.- Resumen Oficial del WWDR.* Cambridge.

Kabata-Pendias, A., Dudka, S. Chlopecka, A. & Gawinowska, T. (1992) Background levels and environmental influences on trace metals in soils of the temperate humid zone of Europe, in D. C. Adriano (Ed.), *Biogeochemistry of trace metals*, 2nd ed. (chapter 3). Lewis Publishers, Boca Ratón.

Kaj Sand-Jensen, K., Friberg, N. & Murphy, N. Eds. (2006). *Running Waters.* National Environmental Research Institute, Denmark

Kennish, M.J., (1992). *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects.* Marine Science Series. CRC Press Inc, USA.

Koroleff, F. (1970). Revised version of direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. ICES, Information on techniques and methods for sea water analysis. Interlab rep. 3: 19-22.

Lacerda, L.D., Moresco, H.F., Carrasco, G., Viana, F., Lucas, R., Pessi, M. (1998). Trace metal concentrations and geochemical partitioning in Arroyo Carrasco Wetlands, Montevideo, Uruguay. *Geochemical brasiliensis*, 12 (1/2): 63-74.

Lacerda, L. D., Abrão, J. J., Bernat, M. & Fernex, F. (2000). Heavy metals biogeochemistry in coastal lagoons of Rio de Janeiro, SE Brazil. *In: Esteves & Lacerda (Eds.). Ecologia de Restingas e Lagoas Costeiras. NUPEM UFRJ, Macaé. Rio de Janeiro, Brasil, pp. 295-337.*

Laffitte, J. C. (1942). "Derivaciones de los estudios realizados en los trabajos de Desecación y Arborización en los Bañados de Carrasco", *Revista de la Facultad de Agronomía, N 27, 1942.*

Legendre, P. & Legendre, L. (2003). *Numerical Ecology. 3th edition. Ecology Elsevier Science.*

Legrand, C.D. (1959). Comunidades psamófilas de la región del Carrasco. *Anales Mus. Hist. Nat., 2a. serie 6: 1-53*

Ma, L. Q.; Tan, F. & Harris, W.G. (1997). Concentrations and Distributions of Eleven Metals in Florida Soils. *Journal of Environmental Quality. Volume 26, no. 3.*

Machado, A., Giraldoth, D., García, N. (2008). Estudio de cinc, cromo, níquel y plomo mediante factores de enriquecimiento como indicadores de contaminación en suelo y sedimentos viales en la ciudad de Maracaibo. *Ciencia, vol.16, no.4, p.448-456.*

Manly, R. (2000). *Ecotoxicology (cap. 20). En: Environmental analytical chemistry. Fifield, F.W. & Haines, P. J. eds, 2nd ed. Blackwell Science Ltd. 490pp.*

Mañay, N., Cousillas, A.Z., Alvarez, C., Heller, T. (2008). Lead contamination in Uruguay: the "La Teja" neighborhood case. *Rev. Environ. Contam. Toxicol. 195:93-115.*

Margalef (1984). *Limnología. Ediciones Omega. 1024 pp.*

Meybeck, M. (1990). La contaminación de los ríos. *Mundo científico* (10): 780-788.

MGAP. DSA. (2001). Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay (CAISU) Escala 1:1.000.000. En CD.

Micó, C., Peris, M. Recatalá, L. & Sánchez, J. (2007). Baseline values for heavy metals in agricultural soils in an European Mediterranean region. *Science of the Total Environment* 378 (2007) 13–17

Ministerio de Agricultura - Gobierno de Chile. Informe – Criterios de Calidad de Suelos Agrícolas (2005). Acevedo, E. *et al.*

Moresco, H. & Dol, I. (1996). Metales en sedimentos de la Bahía de Montevideo. *Revista Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 27: 1-5.

Moyano, M., Blanco, J., Caballero, A., Moresco, H., Rosadilla, M. (1991). Diagnóstico primario de la contaminación química en las costas de Montevideo 92-99. En: Comunicaciones de las jornadas de investigación científica en materia e contaminación de las aguas. Montevideo.

Müller, G., (1981). Die Schwermetallbelastung der Sedimente des Neckars und seiner Nebenflüsse: eine Bestandsaufnahme. *Chemical Zeitung*, 105: 157-164.

Müller, R. & Wideman, O. (1955). Die Bestimmung des Nitrat-Ions in Wasser. *Von Wasser* 22: 247 pp.

Mullin J.B. & Riley, J.P. (1955). The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta* 12: 162-170.

Muniz, P., Danulat, E., Yannicelli, B., García-Alonso, J., Medina, G., Bicego, M. C. (2004)a. Assessment of contamination by heavy metals and petroleum hydrocarbons in sediments of Montevideo Harbour (Uruguay). *Environment International* (29): 1019–1028

Muniz, P., Venturini, N. Martínez, A. (2002). Physico-chemical characteristics and pollutants of the benthic environment in the Montevideo coastal zone, Uruguay. *Marine Pollution Bulletin* (44): 956–976

Muniz, P., Venturini, N. & Gómez-Erache, M. (2004)b. Spatial distribution of chromium and lead in the benthic environment of coastal areas of the Río de la Plata estuary (Montevideo, Uruguay). *Braz. J. Biol.*, 64(1): 103-116, 2004

Murphy, J. & Riley, J.P. (1962). A modified single-solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analyt. Chem. acta* 17: 31-36.

121

Nascimento, M.R.L. (2003). Proposição de valores de referência para concentração de metais e metalóides em sedimentos límnicos e fluviais da bacia hidrográfica do Rio Tietê, SP. Tese de doutorado. Universidade Federal de São Carlos, Depto. de Química. 120pp.

Nriagu, J. O., and J. M. Pacyna (1988), Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333, 134– 139.

Páez-Osuna, F., (2005). Fuentes de metales en la zona costera marina, p. 329-342. *In*: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 p.

PECAC - Plan Estratégico de Gestión Integrada de la Cuenca del Arroyo Carrasco. (2007). Intendencia Municipal de Canelones, Intendencia Municipal de Montevideo, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Agenda Metropolitana, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Montevideo. Vol. I, II, III & Apéndices, 439pp.

Petts, J., Cairney, T., Smith, M. (1997). Risk-Based Contaminated Land – Investigation and Assessment. John Wiley & sons. 334 pp.

Prigione, C. y Langone, J. (1984). Lista preliminar de las especies de anfibios de los bañados de Carrasco y adyacencias. Com. Zool. Mus. Hist. Nat. 11: 1-4.

Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., Massardo, F. (2001). Fundamentos de Conservación biológica. Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. Méjico.639 pp.

Quinteros, M. (1940) “Estudios forestales técnico-económicos referentes a la formación y conservación de los grandes parques, tenidos en cuenta en la confección del trazado y realización de la obra en los Bañados de Carrasco” Revista de Facultad de Agronomía, N° 21, 1940.

Rand, G.M. (1995). Fundamentals of aquatic toxicology in: Effects, environmental fate and risk assessment. 2nd edition. Taylor & Francis (Eds.). Introduction to aquatic ecology (chapter 1). 1125pp.

Reddy, K.R. & DeLaune, R.D. (2008). Biogeochemistry of WETLANDS - Science and Applications. CRC Press Taylor & Francis Group. 806 pp.

Rodríguez-Meza, G. D., Shumilin, E., Sapozhnikov, D., Méndez-Rodríguez, L., Acosta-Vargas, B. (2009). Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de Bahía Concepción (B.C.S., México). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 61, n° I, pág. 57-72

Rubio, B., Nombela, M. A. y. Vilas, F. (2000). La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España) Journal of Iberian Geology. Vol. 26, 121-149.

Ruiz, F. (2001). Trace metals in estuarine sediments from the southwestern Spanish Coast. Marine Pollution Bulletin. Vol. 42, N° 6. pp. 482 – 490.

Schinitman, N. I. (2004). Metales Pesados, Ambiente y Salud. Disponible en http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Contaminacion/Metales_Pesados_Ambiente_y_Salud. Consultado en 29/09/2011.

123

S.A.D.S. (2011). Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable de la nación – www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=339

Sganga, J.C. y Da Silva, H. (1977). Estudio de los suelos de la cuenca del Bañado de Carrasco. MAP, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo. 18pp

SICA - www.sica.gub.uy. MGAP. Censo General Agropecuario 2000

Sommaruga, R., (1987). Dinámica de la interfase agua-sedimento en un sistema eutrófico, lago Ton-Ton (Canelones, Uruguay). Tesis de Licenciatura. Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, p. 93.

Spoturno, J., Oyhantçabal, P., Goso, C., Aubet, N., Casaux, S., Huelmo, S. & Morales, E. (2004). Memoria Explicativa, Carta Geológica y de Recursos Minerales del Departamento de Canelones a escala 1:100.00 y Montevideo a escala 1:50.000. Capítulo II Geología. PROYECTO CONYCIT 6019 – Fondo Clemente Estable.

Spoturno, J., Oyhantçabal, P., Goso, C., Aubet, N., Casaux, S., Huelmo, S. & Morales, E. (2004). Memoria Explicativa, Carta Geológica y de Recursos Minerales del Departamento de Canelones a escala 1:100.00 y Montevideo a escala 1:50.000. Capítulo III Recursos. PROYECTO CONYCIT 6019 – Fondo Clemente Estable.

StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system). Version 7. www.statsoft.com

Tack, F.M.G., Verloo, M.G, L. Vanmechelen, L. & E. Van Ranst, E. (1997). Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). *The Science of the Total Environment* 201, 113-123.

124

Tommasino, H. & Foladori, G. (2001). Problemas Ambientales. Criterios para su definición. Unidad 1. Ambiente y agricultura. Disponible en www.fagro.edu.uy/~ambiental/ecologia/docs/3.Problemas%20causas%20y%20soluciones%20%202008.pdf (acceso el 15/08/2009).

World Health Organization (1988). Chromium. Environmental Health Criteria 61. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc61.htm>

World Health Organization.

World Health Organization, IPCS International Programme on Chemical Safety. (1992a). Environmental Health Criteria 135: Cadmium - Environmental Aspects.

World Health Organization, IPCS International Programme on Chemical Safety. (1992b). Environmental Health Criteria 108: Nickel. Geneva

Valderrama, J.C. (1981). The simultaneous analysis of total N and total P in natural waters. Marine Chemistry 10: 109-122.

Velozo, C. (1975). Estudio geológico de los Bañados de Carrasco y los alrededores. Montevideo, 50 pp.

Ward, N.I. (2000). Trace Elements (cap. 15) En: Environmental analytical chemistry. Fifield, F.W. & Haines, P. J. eds, 2nd ed. Blackwell Science Ltd. 490pp.

Zafra Mejía, C.A. Temprano González, J. y Tejero Monzón; J.I. (2005). Contaminación por escorrentía superficial urbana: metales pesados acumulados sobre la superficie de una vía. Ing. Investig. vol.27 no.1 Bogotá

Zhao F.J., McGrath, S.P, Merrington, G. (2007) Estimates of ambient background concentrations of trace metals in soils for risk assessment Environmental Pollution. 148: 221-229

Páginas web consultadas:

<http://www.dinama.gub.uy>

<http://www.epa.gov>

<http://www.googleearth.com>

<http://www.imm.gub.uy>

<http://www.ine.gub.uy>

<http://www.inia.org.uy>

<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/br.htm#ixzz1Zxvrwhgl>

<http://www.meteorologia.com.uy>

<http://www.mgap.gub.uy>

<http://www.montevideo.gub.uy/gobierno/agendametropolitana.htm>

<http://www.parlamento.gub.uy>

http://www.presidencia.gub.uy/metropolitana/info/ad_ac.htm

<http://www.uv.es/ceaces/> Universitat de Valencia [en línea] consultado en 22/06/2012

ANEXOS

Anexo I

Tabla 1 - Matrices de Correlación entre variables fisicoquímicas en agua para los años 2008 y 2009 combinados y para los años 2008 y 2009

Tabla 2 - Matrices de Correlación entre calidad de agua y usos de la cuenca (I) para los años 2008 y 2009 combinados y para los años 2008 y 2009

Tabla 3 - Matrices de Correlación entre calidad de agua y usos de la cuenca (II) para los años 2008 y 2009 combinados y para los años 2008 y 2009)

Tabla 4 - Matrices de Correlación entre calidad de agua y geología para los años 2008 y 2009 combinados y para los años 2008 y 2009

Anexo II

Tabla 1 - Matriz de Correlación de Spearman para las variables fisicoquímicas en sedimentos para los años 2008 y 2009 combinados y para los años 2008 y 2009

Tabla 2 – Matriz de Correlación entre características fisicoquímicas del sedimento y usos de las cuenca

Tabla 3 - Matriz de Correlación entre la geología de la cuenca y variables fisicoquímicas en sedimentos

Anexo III

Tabla 1- Matriz de Correlación entre variables fisicoquímicas en agua y en sedimentos

ANEXO I

Tabla 1 - MATRICES DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN AGUA
PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 COMBINADOS (n=6) Y PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 (n=3)

Correlación de Spearman para dos niveles de significación $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| $p < 0,1$ | 2008 + 2009 (n = 6) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | Calidad de agua y usos I | | | | | | | | | | | | | | |
| | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Temp | 1,00 | 0,28 | -0,51 | -0,35 | -0,03 | 0,40 | 0,41 | -0,53 | -0,05 | 0,03 | -0,15 | -0,27 | -0,14 | 0,41 | -0,19 |
| Cond | 0,28 | 1,00 | 0,09 | 0,14 | 0,05 | 0,44 | 0,43 | 0,01 | 0,09 | -0,10 | -0,29 | -0,40 | -0,08 | 0,12 | -0,32 |
| pH | -0,51 | 0,09 | 1,00 | 0,78 | -0,13 | -0,10 | -0,18 | 0,83 | -0,01 | 0,05 | -0,01 | -0,04 | 0,01 | -0,38 | -0,06 |
| Alcalin | -0,35 | 0,14 | 0,78 | 1,00 | 0,20 | -0,11 | -0,09 | 0,55 | 0,07 | -0,07 | 0,09 | 0,11 | -0,09 | -0,22 | 0,00 |
| mdisc | -0,03 | 0,05 | -0,13 | 0,20 | 1,00 | -0,31 | -0,23 | 0,04 | -0,22 | -0,29 | -0,10 | -0,06 | 0,08 | -0,15 | -0,01 |
| SST | 0,40 | 0,44 | -0,10 | -0,11 | -0,31 | 1,00 | 0,92 | -0,30 | 0,28 | -0,03 | -0,09 | -0,09 | -0,36 | 0,58 | -0,27 |
| MOS | 0,41 | 0,43 | -0,18 | -0,09 | -0,23 | 0,92 | 1,00 | -0,41 | 0,41 | 0,08 | 0,08 | 0,04 | -0,40 | 0,60 | -0,17 |
| OD | -0,53 | 0,01 | 0,83 | 0,55 | 0,04 | -0,30 | -0,41 | 1,00 | -0,29 | -0,12 | -0,28 | -0,28 | 0,19 | -0,59 | -0,11 |
| DBO | -0,05 | 0,09 | -0,01 | 0,07 | -0,22 | 0,28 | 0,41 | -0,29 | 1,00 | 0,52 | 0,52 | 0,43 | -0,45 | 0,25 | 0,28 |
| CF | 0,03 | -0,10 | 0,05 | -0,07 | -0,29 | -0,03 | 0,08 | -0,12 | 0,52 | 1,00 | 0,63 | 0,43 | -0,13 | 0,02 | 0,38 |
| SRP | -0,15 | -0,29 | -0,01 | 0,09 | -0,10 | -0,09 | 0,08 | -0,28 | 0,52 | 0,63 | 1,00 | 0,79 | -0,20 | 0,19 | 0,45 |
| Pt | -0,27 | -0,40 | -0,04 | 0,11 | -0,06 | -0,09 | 0,04 | -0,28 | 0,43 | 0,43 | 0,79 | 1,00 | -0,18 | 0,28 | 0,45 |
| NO3 | -0,14 | -0,08 | 0,01 | -0,09 | 0,08 | -0,36 | -0,40 | 0,19 | -0,45 | -0,13 | -0,20 | -0,18 | 1,00 | -0,33 | 0,19 |
| NH4 | 0,41 | 0,12 | -0,38 | -0,22 | -0,15 | 0,58 | 0,60 | -0,59 | 0,25 | 0,02 | 0,19 | 0,28 | -0,33 | 1,00 | 0,01 |
| Nt | -0,19 | -0,32 | -0,06 | 0,00 | -0,01 | -0,27 | -0,17 | -0,11 | 0,28 | 0,38 | 0,45 | 0,45 | 0,19 | 0,01 | 1,00 |

| $p < 0,1$ | 2008 (n=3) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Temp | 1,00 | -0,06 | -0,04 | -0,09 | 0,27 | -0,30 | -0,38 | 0,07 | -0,65 | -0,02 | -0,31 | -0,26 | -0,04 | 0,00 | -0,14 |
| Cond | -0,06 | 1,00 | 0,84 | 0,82 | -0,22 | 0,48 | 0,42 | 0,82 | 0,30 | 0,21 | -0,11 | -0,28 | 0,00 | -0,30 | -0,18 |
| pH | -0,04 | 0,84 | 1,00 | 0,84 | -0,45 | 0,63 | 0,41 | 0,86 | 0,17 | 0,13 | -0,15 | -0,36 | 0,10 | -0,11 | -0,22 |
| Alcalin | -0,09 | 0,82 | 0,84 | 1,00 | -0,10 | 0,39 | 0,40 | 0,68 | 0,30 | 0,19 | 0,05 | -0,19 | 0,20 | -0,24 | -0,03 |
| mdisc | 0,27 | -0,22 | -0,45 | -0,10 | 1,00 | -0,76 | -0,49 | -0,31 | -0,14 | -0,18 | 0,01 | 0,08 | 0,19 | -0,15 | 0,18 |
| SST | -0,30 | 0,48 | 0,63 | 0,39 | -0,76 | 1,00 | 0,76 | 0,53 | 0,38 | 0,27 | -0,10 | -0,26 | -0,13 | -0,17 | -0,12 |
| MOS | -0,38 | 0,42 | 0,41 | 0,40 | -0,49 | 0,76 | 1,00 | 0,26 | 0,61 | 0,40 | 0,28 | 0,11 | -0,18 | -0,17 | 0,06 |
| OD | 0,07 | 0,82 | 0,86 | 0,68 | -0,31 | 0,53 | 0,26 | 1,00 | 0,01 | -0,10 | -0,42 | -0,62 | 0,08 | -0,14 | -0,22 |
| DBO | -0,65 | 0,30 | 0,17 | 0,30 | -0,14 | 0,38 | 0,61 | 0,01 | 1,00 | 0,46 | 0,56 | 0,43 | -0,33 | -0,22 | 0,19 |
| CF | -0,02 | 0,21 | 0,13 | 0,19 | -0,18 | 0,27 | 0,40 | -0,10 | 0,46 | 1,00 | 0,62 | 0,49 | -0,17 | -0,29 | 0,02 |
| SRP | -0,31 | -0,11 | -0,15 | 0,05 | 0,01 | -0,10 | 0,28 | -0,42 | 0,56 | 0,62 | 1,00 | 0,86 | -0,22 | 0,16 | 0,13 |
| Pt | -0,26 | -0,28 | -0,36 | -0,19 | 0,08 | -0,26 | 0,11 | -0,62 | 0,43 | 0,49 | 0,86 | 1,00 | -0,24 | 0,22 | 0,26 |
| NO3 | -0,04 | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 0,19 | -0,13 | -0,18 | 0,08 | -0,33 | -0,17 | -0,22 | -0,24 | 1,00 | -0,15 | 0,26 |
| NH4 | 0,00 | -0,30 | -0,11 | -0,24 | -0,15 | -0,17 | -0,17 | -0,14 | -0,22 | -0,29 | 0,16 | 0,22 | -0,15 | 1,00 | -0,15 |
| Nt | -0,14 | -0,18 | -0,22 | -0,03 | 0,18 | -0,12 | 0,06 | -0,22 | 0,19 | 0,02 | 0,13 | 0,26 | 0,26 | -0,15 | 1,00 |

| $p < 0,1$ | 2009 (n=3) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Temp | 1,00 | 0,45 | -0,73 | -0,51 | -0,31 | 0,11 | 0,28 | -0,55 | 0,06 | 0,14 | -0,20 | -0,48 | 0,19 | -0,10 | -0,12 |
| Cond | 0,45 | 1,00 | -0,45 | -0,47 | 0,21 | 0,30 | 0,27 | -0,28 | -0,18 | -0,15 | -0,46 | -0,62 | 0,32 | -0,28 | -0,32 |
| pH | -0,73 | -0,45 | 1,00 | 0,69 | 0,34 | -0,16 | -0,25 | 0,76 | -0,14 | -0,16 | 0,12 | 0,33 | -0,42 | -0,21 | -0,13 |
| Alcalin | -0,51 | -0,47 | 0,69 | 1,00 | 0,58 | -0,44 | -0,31 | 0,47 | -0,08 | -0,34 | 0,16 | 0,40 | -0,52 | -0,02 | -0,06 |
| mdisc | -0,31 | 0,21 | 0,34 | 0,58 | 1,00 | -0,17 | -0,09 | 0,45 | -0,32 | -0,48 | -0,23 | -0,21 | -0,26 | -0,22 | -0,31 |
| SST | 0,11 | 0,30 | -0,16 | -0,44 | -0,17 | 1,00 | 0,79 | -0,06 | -0,03 | 0,04 | -0,03 | -0,23 | 0,35 | -0,13 | -0,03 |
| MOS | 0,28 | 0,27 | -0,25 | -0,31 | -0,09 | 0,79 | 1,00 | -0,22 | 0,14 | 0,22 | 0,15 | -0,09 | 0,19 | 0,02 | 0,06 |
| OD | -0,55 | -0,28 | 0,76 | 0,47 | 0,45 | -0,06 | -0,22 | 1,00 | -0,42 | -0,28 | -0,31 | -0,10 | -0,11 | -0,39 | -0,35 |
| DBO | 0,06 | -0,18 | -0,14 | -0,08 | -0,32 | -0,03 | 0,14 | -0,42 | 1,00 | 0,67 | 0,52 | 0,48 | -0,32 | 0,54 | 0,49 |
| CF | 0,14 | -0,15 | -0,16 | -0,34 | -0,48 | 0,04 | 0,22 | -0,28 | 0,67 | 1,00 | 0,58 | 0,39 | -0,21 | 0,67 | 0,64 |
| SRP | -0,20 | -0,46 | 0,12 | 0,16 | -0,23 | -0,03 | 0,15 | -0,31 | 0,52 | 0,58 | 1,00 | 0,76 | -0,35 | 0,69 | 0,70 |
| Pt | -0,48 | -0,62 | 0,33 | 0,40 | -0,21 | -0,23 | -0,09 | -0,10 | 0,48 | 0,39 | 0,76 | 1,00 | -0,24 | 0,64 | 0,64 |
| NO3 | 0,19 | 0,32 | -0,42 | -0,52 | -0,26 | 0,35 | 0,19 | -0,11 | -0,32 | -0,21 | -0,35 | -0,24 | 1,00 | -0,18 | -0,05 |
| NH4 | -0,10 | -0,28 | -0,21 | -0,02 | -0,22 | -0,13 | 0,02 | -0,39 | 0,54 | 0,67 | 0,69 | 0,64 | -0,18 | 1,00 | 0,86 |
| Nt | -0,12 | -0,32 | -0,13 | -0,06 | -0,31 | -0,03 | 0,06 | -0,35 | 0,49 | 0,64 | 0,70 | 0,64 | -0,05 | 0,86 | 1,00 |

Tabla 2 - MATRICES DE CALIDAD DE AGUA Y USOS (I) PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 COMBINADOS (n=6)
Y PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 (n=3)

Correlación de Spearman para dos niveles de significación $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| $p < 0,1$ | promedio 2008 y 2009 (n = 6) | | | | | | Calidad de agua y usos I | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |
| Rural | -0,13 | -0,33 | 0,30 | 0,30 | 0,15 | -0,10 | -0,82 | 0,52 | -0,81 | -0,47 | -0,55 | -0,38 | 0,00 | -0,47 | -0,45 | |
| Urbano | 0,37 | -0,15 | -0,43 | -0,48 | -0,47 | 0,20 | 0,50 | -0,72 | 0,31 | 0,43 | 0,50 | 0,60 | -0,30 | 0,40 | 0,45 | |
| Población | -0,32 | -0,40 | 0,18 | 0,08 | -0,43 | -0,30 | 0,45 | -0,13 | 0,34 | 0,47 | 0,60 | 0,60 | 0,05 | 0,55 | 0,55 | |
| Dens. dem. | -0,42 | -0,13 | 0,35 | 0,08 | -0,68 | -0,13 | 0,60 | 0,02 | 0,40 | 0,37 | 0,57 | 0,50 | 0,03 | 0,35 | 0,20 | |
| AAll | -0,13 | -0,39 | 0,16 | 0,16 | -0,14 | -0,15 | 0,26 | 0,01 | -0,04 | 0,23 | 0,28 | 0,30 | 0,28 | 0,38 | 0,49 | |
| AAll ríos | -0,26 | -0,52 | 0,23 | 0,14 | -0,31 | -0,24 | 0,19 | 0,06 | 0,00 | 0,31 | 0,36 | 0,41 | 0,09 | 0,40 | 0,45 | |
| Poblac. AAll | -0,08 | -0,55 | 0,02 | -0,10 | -0,33 | -0,12 | 0,20 | -0,10 | 0,04 | 0,40 | 0,38 | 0,47 | -0,10 | 0,45 | 0,53 | |
| DBO AAll | -0,08 | -0,55 | 0,02 | -0,10 | -0,33 | -0,12 | 0,20 | -0,10 | 0,04 | 0,40 | 0,38 | 0,47 | -0,10 | 0,45 | 0,53 | |
| Clasific. | -0,20 | -0,44 | -0,03 | 0,00 | -0,20 | -0,39 | 0,46 | -0,46 | 0,52 | 0,81 | 0,88 | 0,86 | -0,07 | 0,81 | 0,81 | |
| Canteras | 0,54 | -0,04 | -0,43 | -0,06 | 0,43 | 0,18 | -0,11 | -0,37 | -0,23 | 0,04 | -0,13 | -0,25 | 0,25 | -0,18 | 0,01 | |
| alimentos | -0,05 | 0,21 | -0,05 | -0,32 | -0,53 | 0,11 | 0,05 | -0,05 | 0,22 | -0,26 | -0,11 | 0,05 | -0,47 | -0,16 | -0,26 | |
| textil | -0,32 | -0,46 | 0,16 | -0,23 | -0,73 | -0,07 | 0,39 | 0,05 | 0,34 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | -0,37 | 0,43 | 0,34 | |
| curtiem. | -0,30 | -0,37 | 0,25 | -0,18 | -0,71 | 0,07 | 0,43 | 0,16 | 0,20 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | -0,25 | 0,39 | 0,27 | |
| metalurg. | 0,27 | -0,27 | -0,37 | -0,27 | -0,55 | 0,00 | 0,18 | -0,46 | 0,14 | -0,09 | 0,00 | 0,00 | -0,09 | -0,18 | 0,00 | |
| papel | 0,25 | 0,37 | 0,07 | -0,27 | -0,52 | 0,71 | 0,71 | -0,02 | -0,04 | 0,02 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,02 | -0,09 | |
| química | 0,64 | 0,24 | -0,41 | -0,18 | 0,14 | 0,41 | 0,24 | -0,41 | -0,21 | -0,33 | -0,28 | -0,21 | 0,35 | -0,14 | 0,09 | |

| $p < 0,1$ | 2008 (n = 3) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |
| Rural | 0,57 | 0,38 | 0,33 | 0,33 | 0,08 | 0,07 | -0,17 | 0,57 | -0,28 | -0,23 | -0,30 | -0,45 | -0,03 | -0,02 | -0,38 | |
| Urbano | -0,42 | -0,47 | -0,48 | -0,28 | -0,10 | -0,18 | 0,17 | -0,57 | 0,03 | 0,20 | 0,67 | 0,82 | -0,30 | 0,40 | 0,07 | |
| Población | -0,73 | 0,27 | 0,08 | 0,28 | -0,25 | 0,23 | 0,73 | 0,07 | 0,48 | 0,40 | 0,68 | 0,58 | -0,15 | -0,10 | 0,13 | |
| Dens. dem. | -0,92 | -0,03 | -0,10 | 0,02 | -0,30 | 0,27 | 0,60 | -0,23 | 0,43 | 0,35 | 0,52 | 0,53 | 0,08 | -0,20 | 0,35 | |
| AAll | -0,58 | 0,22 | -0,08 | 0,38 | 0,23 | -0,03 | 0,51 | 0,00 | 0,37 | 0,26 | 0,50 | 0,39 | 0,17 | -0,54 | 0,43 | |
| AAll ríos | -0,49 | 0,43 | 0,14 | 0,57 | 0,20 | -0,03 | 0,55 | 0,20 | 0,33 | 0,28 | 0,49 | 0,31 | 0,18 | -0,46 | 0,25 | |
| Poblac. AAll | -0,32 | 0,33 | 0,02 | 0,48 | 0,35 | -0,25 | 0,33 | 0,07 | 0,15 | 0,28 | 0,48 | 0,33 | 0,13 | -0,47 | 0,27 | |
| DBO AAll | -0,32 | 0,33 | 0,02 | 0,48 | 0,35 | -0,25 | 0,33 | 0,07 | 0,15 | 0,28 | 0,48 | 0,33 | 0,13 | -0,47 | 0,27 | |
| Clasific. | -0,58 | -0,07 | -0,14 | 0,19 | -0,10 | 0,05 | 0,54 | -0,31 | 0,50 | 0,71 | 0,90 | 0,83 | -0,14 | -0,07 | 0,53 | |
| Canteras | 0,39 | -0,53 | -0,37 | -0,24 | 0,38 | -0,37 | -0,70 | -0,48 | -0,52 | -0,09 | -0,30 | -0,18 | 0,43 | -0,20 | 0,36 | |
| alimentos | -0,40 | -0,15 | -0,16 | -0,36 | -0,38 | 0,24 | 0,36 | -0,06 | 0,26 | -0,23 | 0,16 | 0,29 | -0,44 | 0,50 | -0,36 | |
| textil | -0,46 | 0,25 | 0,16 | -0,05 | -0,64 | 0,46 | 0,55 | 0,16 | 0,38 | 0,55 | 0,55 | 0,46 | -0,64 | 0,09 | -0,02 | |
| curtiem. | -0,37 | 0,37 | 0,25 | 0,05 | -0,59 | 0,37 | 0,48 | 0,25 | 0,23 | 0,48 | 0,48 | 0,37 | -0,59 | 0,11 | -0,18 | |
| metalurg. | -0,64 | -0,37 | -0,37 | -0,37 | -0,27 | 0,27 | 0,27 | -0,27 | 0,11 | -0,27 | 0,09 | 0,27 | 0,00 | 0,09 | 0,00 | |
| papel | -0,18 | 0,09 | 0,07 | -0,05 | -0,23 | -0,18 | 0,02 | -0,02 | -0,37 | -0,16 | 0,11 | 0,18 | -0,14 | 0,48 | -0,64 | |
| química | -0,10 | -0,29 | -0,47 | -0,11 | 0,55 | -0,61 | -0,30 | -0,36 | -0,52 | -0,56 | -0,10 | 0,07 | 0,34 | -0,07 | -0,16 | |

| $p < 0,1$ | 2009 (n = 3) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |
| Rural | -0,27 | -0,22 | 0,07 | 0,27 | 0,10 | -0,12 | -0,58 | 0,52 | -0,85 | -0,76 | -0,55 | -0,32 | 0,23 | -0,48 | -0,37 | |
| Urbano | 0,28 | -0,07 | -0,37 | -0,43 | -0,78 | 0,13 | 0,27 | -0,72 | 0,40 | 0,37 | 0,50 | 0,37 | 0,17 | 0,38 | 0,52 | |
| Población | -0,18 | -0,58 | 0,24 | 0,03 | -0,52 | -0,33 | 0,08 | -0,13 | 0,39 | 0,64 | 0,60 | 0,63 | -0,17 | 0,50 | 0,68 | |
| Dens. dem. | -0,22 | -0,40 | 0,50 | 0,00 | -0,48 | -0,18 | 0,13 | 0,02 | 0,37 | 0,70 | 0,57 | 0,57 | -0,23 | 0,29 | 0,35 | |
| AAll | -0,13 | -0,56 | 0,08 | 0,04 | -0,33 | -0,13 | 0,19 | 0,01 | 0,09 | 0,35 | 0,28 | 0,36 | 0,16 | 0,33 | 0,59 | |
| AAll ríos | -0,25 | -0,67 | 0,17 | 0,04 | -0,47 | -0,26 | -0,01 | 0,06 | 0,09 | 0,37 | 0,36 | 0,44 | 0,05 | 0,35 | 0,59 | |
| Poblac. AAll | -0,15 | -0,63 | -0,05 | -0,17 | -0,62 | -0,17 | 0,02 | -0,10 | 0,17 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,15 | 0,41 | 0,63 | |
| DBO AAll | -0,15 | -0,63 | -0,05 | -0,17 | -0,62 | -0,17 | 0,02 | -0,10 | 0,17 | 0,37 | 0,38 | 0,38 | 0,15 | 0,41 | 0,63 | |
| Clasific. | -0,19 | -0,42 | 0,03 | 0,07 | -0,42 | -0,41 | 0,10 | -0,46 | 0,60 | 0,62 | 0,88 | 0,85 | -0,32 | 0,78 | 0,88 | |
| Canteras | 0,44 | 0,25 | -0,51 | 0,05 | 0,42 | 0,24 | 0,20 | -0,37 | -0,08 | -0,41 | -0,13 | -0,25 | 0,01 | -0,15 | -0,17 | |
| alimentos | 0,11 | 0,11 | 0,08 | -0,32 | -0,53 | 0,00 | -0,21 | -0,05 | 0,05 | 0,16 | -0,11 | -0,11 | 0,05 | -0,16 | -0,16 | |
| textil | -0,27 | -0,64 | 0,23 | -0,30 | -0,73 | -0,18 | -0,07 | 0,05 | 0,37 | 0,65 | 0,55 | 0,43 | -0,09 | 0,39 | 0,43 | |
| curtiem. | -0,34 | -0,59 | 0,29 | -0,32 | -0,71 | -0,02 | 0,07 | 0,16 | 0,26 | 0,60 | 0,48 | 0,39 | 0,09 | 0,33 | 0,39 | |
| metalurg. | 0,64 | -0,27 | -0,28 | -0,18 | -0,46 | -0,09 | -0,09 | -0,46 | 0,19 | 0,19 | 0,00 | -0,09 | -0,18 | -0,18 | 0,00 | |
| papel | 0,02 | 0,14 | 0,10 | -0,50 | -0,52 | 0,71 | 0,71 | -0,02 | 0,02 | 0,32 | 0,11 | 0,02 | 0,64 | -0,03 | 0,02 | |
| química | 0,56 | 0,24 | -0,47 | -0,24 | -0,12 | 0,47 | 0,54 | -0,41 | -0,08 | -0,11 | -0,28 | -0,28 | 0,54 | -0,14 | 0,09 | |

Tabla 3 - MATRICES DE CALIDAD DE AGUA Y USOS (II) PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 COMBINADOS (n=6)
Y PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 (n=3)

Correlación de Spearman para dos niveles de significación $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| $p < 0,1$ | promedio 2008 y 2009 (n = 6) | | | | | | Calidad de agua y usos I | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------|-------|------|----------|-------|-------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| vacunos | -0,45 | 0,03 | 0,45 | 0,50 | 0,20 | -0,33 | -0,57 | 0,72 | -0,29 | -0,62 | -0,60 | -0,68 | 0,25 | -0,58 | -0,60 |
| ovinos | -0,43 | 0,27 | 0,33 | 0,35 | 0,38 | -0,32 | -0,47 | 0,62 | -0,02 | -0,52 | -0,50 | -0,53 | 0,08 | -0,33 | -0,38 |
| equinos | -0,67 | 0,15 | 0,45 | 0,50 | 0,48 | -0,60 | -0,42 | 0,57 | 0,17 | -0,22 | -0,17 | -0,20 | 0,08 | 0,02 | -0,08 |
| cerdos | -0,53 | 0,28 | 0,33 | 0,33 | 0,40 | -0,43 | -0,37 | 0,53 | 0,20 | -0,35 | -0,30 | -0,32 | 0,00 | -0,10 | -0,18 |
| anim. total | -0,43 | 0,27 | 0,33 | 0,35 | 0,38 | -0,32 | -0,47 | 0,62 | -0,02 | -0,52 | -0,50 | -0,53 | 0,08 | -0,33 | -0,38 |
| aves | -0,37 | 0,20 | 0,30 | 0,32 | 0,32 | -0,27 | -0,55 | 0,63 | -0,14 | -0,62 | -0,62 | -0,63 | 0,07 | -0,47 | -0,48 |
| hortifruti | -0,55 | 0,20 | 0,28 | 0,30 | 0,37 | -0,53 | -0,40 | 0,45 | 0,25 | -0,35 | -0,27 | -0,22 | -0,08 | -0,02 | -0,07 |
| cereal/forraje | -0,48 | 0,20 | 0,42 | 0,43 | 0,32 | -0,33 | -0,45 | 0,67 | -0,07 | -0,48 | -0,47 | -0,55 | 0,17 | -0,38 | -0,45 |
| prad./campo | -0,65 | -0,03 | 0,60 | 0,70 | 0,35 | -0,55 | -0,53 | 0,73 | -0,19 | -0,38 | -0,35 | -0,47 | 0,35 | -0,33 | -0,40 |

| $p < 0,1$ | 2008 (n = 3) | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|-------|------|----------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| vacunos | 0,53 | 0,43 | 0,60 | 0,23 | -0,35 | 0,42 | -0,17 | 0,70 | -0,30 | -0,27 | -0,58 | -0,72 | 0,03 | 0,17 | -0,58 |
| ovinos | 0,63 | 0,42 | 0,62 | 0,23 | -0,38 | 0,33 | -0,20 | 0,63 | -0,30 | -0,07 | -0,42 | -0,57 | -0,12 | 0,32 | -0,58 |
| equinos | 0,75 | 0,35 | 0,53 | 0,23 | -0,22 | 0,22 | -0,27 | 0,53 | -0,21 | 0,08 | -0,33 | -0,50 | -0,15 | 0,22 | -0,35 |
| cerdos | 0,70 | 0,37 | 0,55 | 0,15 | -0,33 | 0,25 | -0,27 | 0,57 | -0,30 | -0,03 | -0,40 | -0,53 | -0,22 | 0,33 | -0,55 |
| anim. total | 0,63 | 0,42 | 0,62 | 0,23 | -0,38 | 0,33 | -0,20 | 0,63 | -0,30 | -0,07 | -0,42 | -0,57 | -0,12 | 0,32 | -0,58 |
| aves | 0,55 | 0,48 | 0,65 | 0,25 | -0,40 | 0,40 | -0,15 | 0,72 | -0,30 | -0,18 | -0,52 | -0,67 | -0,05 | 0,23 | -0,63 |
| hortifruti | 0,70 | 0,37 | 0,55 | 0,15 | -0,33 | 0,25 | -0,27 | 0,57 | -0,30 | -0,03 | -0,40 | -0,53 | -0,22 | 0,33 | -0,55 |
| cereal/forraje | 0,63 | 0,42 | 0,62 | 0,23 | -0,38 | 0,33 | -0,20 | 0,63 | -0,30 | -0,07 | -0,42 | -0,57 | -0,12 | 0,32 | -0,58 |
| prad./campo | 0,67 | 0,35 | 0,55 | 0,30 | -0,22 | 0,32 | -0,22 | 0,58 | -0,21 | -0,03 | -0,42 | -0,58 | 0,03 | 0,13 | -0,33 |

| $p < 0,1$ | 2009 (n = 3) | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|-------|------|----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| vacunos | -0,12 | -0,10 | 0,44 | 0,48 | 0,65 | -0,32 | -0,50 | 0,72 | -0,43 | -0,34 | -0,60 | -0,43 | -0,35 | -0,56 | -0,63 |
| ovinos | -0,20 | 0,12 | 0,36 | 0,33 | 0,63 | -0,28 | -0,37 | 0,62 | -0,19 | -0,17 | -0,50 | -0,37 | -0,27 | -0,29 | -0,43 |
| equinos | -0,45 | 0,02 | 0,49 | 0,52 | 0,65 | -0,55 | -0,42 | 0,57 | -0,01 | 0,00 | -0,17 | 0,02 | -0,47 | 0,05 | -0,10 |
| cerdos | -0,30 | 0,12 | 0,40 | 0,33 | 0,57 | -0,40 | -0,35 | 0,53 | 0,01 | 0,02 | -0,30 | -0,17 | -0,35 | -0,06 | -0,22 |
| anim. total | -0,20 | 0,12 | 0,36 | 0,33 | 0,63 | -0,28 | -0,37 | 0,62 | -0,19 | -0,17 | -0,50 | -0,37 | -0,27 | -0,29 | -0,43 |
| aves | -0,12 | 0,07 | 0,30 | 0,30 | 0,58 | -0,25 | -0,43 | 0,63 | -0,30 | -0,27 | -0,62 | -0,48 | -0,22 | -0,43 | -0,53 |
| hortifruti | -0,28 | 0,03 | 0,35 | 0,32 | 0,42 | -0,52 | -0,43 | 0,45 | 0,05 | 0,07 | -0,27 | -0,10 | -0,35 | 0,03 | -0,07 |
| cereal/forraje | -0,22 | 0,05 | 0,44 | 0,42 | 0,68 | -0,30 | -0,38 | 0,67 | -0,23 | -0,19 | -0,47 | -0,33 | -0,35 | -0,35 | -0,50 |
| prad./campo | -0,35 | -0,15 | 0,59 | 0,70 | 0,78 | -0,50 | -0,50 | 0,73 | -0,33 | -0,25 | -0,35 | -0,13 | -0,52 | -0,32 | -0,42 |

Tabla 4 - MATRICES DE CALIDAD DE AGUA Y GEOLOGÍA PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009 COMBINADOS (n=6)
Y PARA LOS AÑOS 2008 Y 2009

Correlación de Spearman para dos niveles de significación $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| $p < 0,1$ | promedio 2008 y 2009 (n = 6) | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | Calidad de agua y geología | | | | | | | | | | | | | | |
| | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Form. Dol. | 0,07 | -0,28 | -0,15 | -0,15 | 0,03 | -0,10 | -0,75 | 0,20 | -0,39 | -0,50 | -0,60 | -0,38 | -0,40 | -0,42 | -0,28 |
| Form. Lib. | -0,45 | -0,57 | 0,58 | 0,52 | -0,15 | -0,32 | -0,62 | 0,60 | -0,70 | -0,23 | -0,23 | -0,15 | 0,13 | -0,32 | -0,37 |
| Form. Mont. | 0,18 | -0,43 | -0,36 | 0,06 | 0,55 | -0,42 | -0,37 | -0,39 | -0,05 | 0,17 | 0,07 | 0,17 | 0,02 | 0,29 | 0,54 |
| Granod. LC | -0,05 | -0,14 | -0,05 | 0,25 | 0,59 | -0,37 | -0,05 | -0,34 | 0,11 | 0,52 | 0,50 | 0,52 | 0,14 | 0,59 | 0,59 |
| Bañados | 0,55 | -0,16 | -0,57 | -0,33 | 0,49 | 0,11 | -0,51 | -0,35 | -0,32 | -0,13 | -0,33 | -0,13 | -0,28 | -0,06 | 0,17 |
| Dunas | 0,73 | 0,73 | -0,71 | -0,71 | 0,05 | 0,64 | 0,37 | -0,55 | 0,32 | -0,30 | -0,27 | -0,18 | -0,27 | -0,11 | -0,02 |
| Granit. PE | -0,61 | -0,21 | 0,42 | 0,22 | -0,32 | -0,42 | -0,35 | 0,40 | 0,09 | 0,03 | 0,07 | 0,04 | -0,33 | -0,16 | -0,38 |
| Orton. PC | -0,38 | -0,16 | 0,71 | 0,51 | -0,15 | 0,04 | -0,49 | 0,81 | -0,82 | -0,43 | -0,42 | -0,38 | 0,25 | -0,54 | -0,71 |
| Migm.Suárez | 0,09 | -0,39 | 0,11 | 0,30 | -0,11 | 0,02 | -0,27 | 0,32 | -0,56 | -0,37 | -0,48 | -0,71 | 0,50 | -0,71 | -0,52 |
| F. Fray B. | 0,36 | -0,29 | -0,41 | -0,20 | 0,39 | -0,02 | -0,76 | -0,10 | -0,43 | -0,20 | -0,44 | -0,31 | -0,34 | -0,31 | -0,14 |
| Arenas | 0,55 | 0,55 | -0,41 | -0,41 | -0,27 | 0,55 | 0,55 | -0,55 | 0,22 | -0,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,14 | -0,14 |
| Aluviones | 0,27 | -0,27 | -0,27 | -0,14 | 0,27 | 0,00 | -0,27 | -0,41 | -0,22 | 0,41 | 0,27 | 0,41 | -0,27 | 0,27 | 0,27 |
| Form. Raigón | 0,30 | -0,52 | -0,18 | 0,14 | 0,18 | -0,11 | -0,52 | -0,16 | -0,62 | -0,18 | -0,27 | -0,18 | 0,16 | -0,27 | -0,05 |
| Milon. Cuarc. | 0,14 | -0,41 | 0,00 | 0,27 | 0,00 | -0,14 | -0,41 | 0,14 | -0,57 | -0,55 | -0,55 | -0,55 | 0,41 | -0,55 | -0,27 |

| $p < 0,1$ | 2008 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Form. Dol. | 0,35 | 0,05 | -0,12 | -0,18 | 0,10 | 0,07 | -0,17 | 0,27 | -0,11 | -0,33 | -0,28 | -0,28 | -0,37 | -0,12 | -0,17 |
| Form. Lib. | 0,17 | 0,60 | 0,60 | 0,57 | -0,27 | 0,43 | 0,28 | 0,73 | 0,03 | 0,00 | -0,07 | -0,30 | 0,03 | 0,00 | -0,37 |
| Form. Mont. | 0,13 | -0,25 | -0,44 | 0,08 | 0,63 | -0,39 | -0,17 | -0,31 | 0,01 | 0,17 | 0,26 | 0,24 | 0,13 | -0,50 | 0,64 |
| Granod. LC | 0,18 | -0,16 | -0,14 | 0,37 | 0,50 | -0,43 | -0,07 | -0,34 | 0,12 | 0,52 | 0,52 | 0,43 | 0,25 | -0,14 | 0,59 |
| Bañados | 0,63 | -0,44 | -0,57 | -0,29 | 0,64 | -0,61 | -0,68 | -0,37 | -0,48 | -0,13 | -0,06 | 0,03 | -0,17 | -0,17 | 0,24 |
| Dunas | 0,05 | -0,64 | -0,71 | -0,71 | 0,37 | -0,59 | -0,48 | -0,64 | -0,37 | -0,52 | -0,18 | 0,14 | -0,16 | 0,27 | -0,14 |
| Granit. PE | -0,07 | 0,24 | 0,49 | 0,08 | -0,67 | 0,78 | 0,44 | 0,42 | 0,56 | 0,25 | -0,03 | -0,14 | -0,22 | 0,26 | -0,06 |
| Orton. PC | 0,38 | 0,67 | 0,77 | 0,55 | -0,32 | 0,36 | 0,07 | 0,83 | -0,23 | -0,20 | -0,37 | -0,57 | 0,12 | 0,23 | -0,71 |
| Migm.Suárez | 0,02 | 0,09 | 0,23 | -0,02 | -0,25 | 0,43 | -0,23 | 0,30 | -0,37 | -0,37 | -0,73 | -0,73 | 0,50 | -0,39 | -0,09 |
| F. Fray B. | 0,73 | -0,36 | -0,34 | -0,31 | 0,34 | -0,24 | -0,66 | -0,15 | -0,38 | -0,10 | -0,29 | -0,24 | -0,17 | -0,14 | 0,20 |
| Arenas | -0,27 | -0,55 | -0,41 | -0,41 | 0,00 | -0,27 | -0,14 | -0,55 | -0,24 | -0,41 | 0,00 | 0,27 | 0,14 | 0,55 | -0,27 |
| Aluviones | 0,55 | -0,41 | -0,27 | 0,00 | 0,27 | -0,41 | -0,41 | -0,41 | -0,24 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | -0,14 | 0,27 | 0,27 |
| Form. Raigón | 0,25 | -0,16 | -0,18 | 0,11 | 0,30 | -0,16 | -0,27 | -0,05 | -0,37 | -0,18 | -0,07 | -0,07 | 0,25 | -0,16 | 0,07 |
| Milon. Cuarc. | -0,14 | 0,14 | 0,00 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,00 | 0,27 | -0,24 | -0,55 | -0,41 | -0,41 | 0,41 | -0,41 | -0,14 |

| $p < 0,1$ | 2009 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p < 0,05$ | temp. | cond. | pH | alcalin. | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt |
| Form. Dol. | 0,12 | -0,18 | -0,28 | -0,10 | -0,15 | -0,18 | -0,65 | 0,20 | -0,44 | -0,49 | -0,60 | -0,52 | 0,15 | -0,38 | -0,28 |
| Form. Lib. | -0,43 | -0,55 | 0,40 | 0,47 | 0,00 | -0,35 | -0,63 | 0,60 | -0,74 | -0,49 | -0,23 | 0,03 | -0,05 | -0,36 | -0,22 |
| Form. Mont. | 0,14 | -0,17 | -0,49 | 0,22 | 0,12 | -0,38 | -0,22 | -0,39 | 0,05 | -0,22 | 0,07 | 0,14 | -0,11 | 0,32 | 0,48 |
| Granod. LC | -0,30 | 0,11 | -0,11 | 0,37 | 0,25 | -0,27 | 0,07 | -0,34 | 0,16 | -0,07 | 0,50 | 0,59 | -0,16 | 0,60 | 0,59 |
| Bañados | 0,28 | 0,17 | -0,76 | -0,22 | -0,04 | 0,11 | -0,16 | -0,35 | -0,22 | -0,54 | -0,33 | -0,35 | 0,38 | -0,01 | 0,08 |
| Dunas | 0,64 | 0,73 | -0,60 | -0,71 | -0,23 | 0,64 | 0,55 | -0,55 | 0,32 | 0,12 | -0,27 | -0,48 | 0,50 | -0,07 | -0,11 |
| Granit. PE | -0,37 | -0,21 | 0,51 | 0,31 | 0,07 | -0,50 | -0,70 | 0,40 | -0,10 | -0,04 | 0,07 | 0,13 | -0,60 | -0,16 | -0,34 |
| Orton. PC | -0,49 | -0,22 | 0,55 | 0,37 | 0,16 | 0,04 | -0,37 | 0,81 | -0,89 | -0,58 | -0,42 | -0,17 | 0,19 | -0,59 | -0,56 |
| Migm.Suárez | 0,39 | -0,39 | 0,02 | 0,30 | 0,43 | 0,02 | -0,18 | 0,32 | -0,44 | -0,39 | -0,48 | -0,50 | -0,23 | -0,71 | -0,64 |
| F. Fray B. | 0,20 | 0,07 | -0,58 | -0,05 | 0,14 | -0,05 | -0,49 | -0,10 | -0,38 | -0,71 | -0,44 | -0,46 | 0,10 | -0,26 | -0,25 |
| Arenas | 0,55 | 0,55 | -0,28 | -0,41 | -0,27 | 0,55 | 0,55 | -0,55 | 0,21 | 0,14 | 0,00 | -0,14 | 0,27 | -0,14 | -0,14 |
| Aluviones | -0,14 | 0,14 | -0,41 | 0,00 | -0,14 | 0,00 | -0,14 | -0,41 | -0,14 | -0,42 | 0,27 | 0,27 | 0,14 | 0,28 | 0,27 |
| Form. Raigón | 0,25 | -0,25 | -0,39 | 0,23 | 0,02 | -0,11 | -0,32 | -0,16 | -0,50 | -0,63 | -0,27 | -0,16 | 0,09 | -0,28 | -0,05 |
| Milon. Cuarc. | 0,41 | -0,41 | -0,14 | 0,27 | 0,14 | -0,14 | -0,27 | 0,14 | -0,49 | -0,42 | -0,55 | -0,41 | 0,00 | -0,55 | -0,27 |

Tabla 2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SEDIMENTO Y USOS DE LAS CUENCA datos promedios de todas réplicas

Correlación de Spearman para dos niveles de significación $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| | S | K | Ca | Ti | Fe | V | Cr | Mn | Ni | Cu | Zn | Ga | As | Br | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Sn | Ba | Pb | Nt | Pt | % AG. | M.O. | CO3 | L y A |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rural | -0,33 | -0,33 | -0,07 | 0,02 | 0,12 | 0,27 | -0,43 | -0,05 | -0,22 | 0,15 | -0,18 | 0,40 | -0,12 | 0,33 | -0,03 | 0,12 | -0,40 | -0,35 | -0,43 | -0,20 | -0,18 | -0,27 | -0,25 | 0,10 | -0,15 | -0,07 | 0,00 | 0,15 |
| Urbano | 0,35 | 0,08 | -0,40 | -0,55 | -0,02 | -0,07 | 0,23 | -0,37 | 0,02 | 0,15 | 0,57 | 0,15 | 0,08 | -0,08 | 0,28 | -0,58 | 0,08 | -0,62 | -0,20 | 0,17 | -0,18 | 0,70 | 0,47 | 0,48 | 0,63 | 0,60 | 0,25 | 0,00 |
| Población | -0,05 | -0,23 | 0,05 | -0,30 | -0,03 | -0,08 | 0,12 | 0,37 | 0,33 | 0,35 | 0,68 | 0,50 | 0,22 | -0,62 | -0,18 | -0,22 | -0,18 | -0,58 | -0,30 | 0,58 | -0,22 | 0,60 | -0,02 | 0,02 | 0,12 | 0,20 | 0,25 | 0,10 |
| Dens. dem. | -0,18 | -0,10 | 0,17 | -0,38 | -0,33 | -0,37 | -0,08 | 0,42 | 0,55 | 0,20 | 0,47 | 0,45 | -0,13 | -0,62 | -0,20 | 0,00 | -0,13 | -0,38 | -0,12 | 0,58 | 0,15 | 0,47 | -0,28 | -0,28 | -0,13 | -0,10 | -0,07 | -0,17 |
| AAll | -0,18 | -0,24 | -0,21 | -0,15 | -0,03 | -0,08 | 0,02 | 0,35 | -0,02 | 0,13 | 0,59 | 0,62 | 0,18 | -0,40 | -0,03 | -0,10 | -0,18 | -0,49 | -0,23 | 0,38 | -0,31 | 0,34 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,23 | 0,23 | 0,29 |
| AAll rios | -0,15 | -0,40 | -0,06 | -0,23 | 0,03 | 0,04 | -0,03 | 0,39 | 0,17 | 0,31 | 0,66 | 0,60 | 0,23 | -0,44 | -0,19 | -0,15 | -0,34 | -0,65 | -0,45 | 0,50 | -0,37 | 0,42 | -0,10 | 0,04 | 0,03 | 0,17 | 0,26 | 0,22 |
| Poblac. AAll | 0,03 | -0,48 | -0,12 | -0,25 | 0,17 | 0,20 | 0,05 | 0,27 | 0,15 | 0,32 | 0,75 | 0,42 | 0,35 | -0,32 | -0,20 | -0,30 | -0,37 | -0,68 | -0,57 | 0,48 | -0,52 | 0,43 | -0,03 | 0,18 | 0,12 | 0,25 | 0,35 | 0,22 |
| DBO AAll | 0,03 | -0,48 | -0,12 | -0,25 | 0,17 | 0,20 | 0,05 | 0,27 | 0,15 | 0,32 | 0,75 | 0,42 | 0,35 | -0,32 | -0,20 | -0,30 | -0,37 | -0,68 | -0,57 | 0,48 | -0,52 | 0,43 | -0,03 | 0,18 | 0,12 | 0,25 | 0,35 | 0,22 |
| Clasific. | 0,27 | 0,03 | -0,08 | -0,44 | 0,10 | 0,07 | 0,51 | 0,20 | 0,17 | 0,46 | 0,75 | 0,15 | 0,56 | -0,46 | -0,02 | -0,44 | -0,15 | -0,61 | -0,32 | 0,51 | -0,24 | 0,88 | 0,34 | 0,25 | 0,41 | 0,46 | 0,44 | 0,24 |
| Canteras | 0,06 | 0,53 | -0,53 | 0,14 | 0,18 | 0,11 | 0,12 | -0,37 | -0,83 | -0,48 | -0,42 | -0,46 | 0,22 | 0,29 | 0,65 | -0,35 | 0,50 | 0,26 | 0,38 | -0,71 | -0,12 | -0,07 | 0,61 | 0,47 | 0,48 | 0,53 | 0,35 | 0,58 |
| alimentos | 0,11 | -0,32 | 0,37 | -0,11 | -0,05 | -0,05 | -0,21 | -0,26 | 0,58 | 0,26 | 0,05 | 0,16 | -0,42 | -0,05 | -0,32 | 0,00 | -0,05 | -0,16 | -0,16 | 0,21 | 0,11 | 0,00 | -0,26 | -0,05 | -0,05 | -0,21 | -0,26 | -0,63 |
| textil | 0,05 | -0,64 | 0,27 | -0,27 | 0,09 | 0,18 | -0,07 | 0,48 | 0,64 | 0,37 | 0,71 | 0,14 | 0,27 | -0,46 | -0,55 | -0,18 | -0,48 | -0,52 | -0,64 | 0,71 | -0,37 | 0,34 | -0,48 | -0,14 | -0,25 | -0,16 | 0,18 | -0,09 |
| curtiem. | -0,05 | -0,59 | 0,14 | -0,34 | -0,09 | 0,02 | -0,14 | 0,55 | 0,59 | 0,25 | 0,73 | 0,27 | 0,14 | -0,37 | -0,48 | -0,02 | -0,55 | -0,50 | -0,59 | 0,73 | -0,25 | 0,27 | -0,55 | -0,27 | -0,37 | -0,25 | 0,02 | -0,11 |
| metalurg. | -0,09 | -0,09 | 0,00 | 0,09 | 0,27 | 0,09 | -0,27 | -0,37 | -0,09 | -0,09 | -0,09 | 0,09 | -0,09 | -0,46 | 0,18 | -0,64 | 0,55 | -0,27 | 0,09 | -0,27 | -0,37 | 0,18 | 0,27 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,46 | 0,18 |
| papel | -0,14 | 0,14 | -0,50 | -0,52 | -0,73 | -0,71 | -0,23 | 0,09 | 0,14 | -0,39 | 0,37 | 0,46 | -0,59 | 0,09 | 0,25 | -0,09 | -0,14 | 0,14 | 0,27 | 0,39 | 0,09 | -0,18 | -0,37 | -0,18 | -0,16 | -0,52 | -0,30 | |
| química | -0,04 | 0,35 | -0,65 | -0,01 | -0,18 | -0,35 | -0,03 | -0,45 | -0,58 | -0,45 | -0,03 | 0,35 | -0,33 | 0,13 | 0,63 | -0,16 | 0,50 | 0,00 | 0,45 | -0,38 | 0,00 | 0,01 | 0,59 | 0,34 | 0,52 | 0,52 | -0,01 | 0,17 |
| vacunos | -0,50 | -0,23 | 0,62 | 0,67 | 0,13 | 0,12 | -0,47 | 0,28 | 0,10 | -0,08 | -0,70 | -0,02 | -0,22 | -0,18 | -0,37 | 0,43 | 0,08 | 0,52 | 0,20 | -0,23 | 0,08 | -0,72 | -0,53 | -0,37 | -0,55 | -0,53 | -0,13 | -0,03 |
| ovinos | -0,18 | -0,27 | 0,73 | 0,68 | 0,15 | 0,15 | -0,15 | 0,27 | 0,30 | 0,07 | -0,52 | -0,18 | -0,12 | -0,05 | -0,55 | 0,57 | -0,03 | 0,67 | 0,18 | -0,02 | 0,15 | -0,70 | -0,50 | -0,48 | -0,62 | -0,68 | -0,28 | -0,30 |
| equinos | -0,07 | -0,22 | 0,80 | 0,53 | 0,17 | 0,18 | 0,13 | 0,42 | 0,42 | 0,35 | -0,27 | -0,13 | 0,13 | -0,17 | -0,63 | 0,55 | -0,20 | 0,50 | 0,05 | 0,23 | 0,17 | -0,38 | -0,42 | -0,50 | -0,57 | -0,63 | -0,20 | -0,27 |
| cerdos | -0,03 | -0,28 | 0,83 | 0,62 | 0,17 | 0,17 | 0,05 | 0,32 | 0,47 | 0,25 | -0,33 | -0,20 | 0,00 | -0,12 | -0,67 | 0,57 | -0,12 | 0,62 | 0,12 | 0,18 | 0,17 | -0,53 | -0,47 | -0,52 | -0,60 | -0,70 | -0,28 | -0,40 |
| anim. tot. | -0,18 | -0,27 | 0,73 | 0,68 | 0,15 | 0,15 | -0,15 | 0,27 | 0,30 | 0,07 | -0,52 | -0,18 | -0,12 | -0,05 | -0,55 | 0,57 | -0,03 | 0,67 | 0,18 | -0,02 | 0,15 | -0,70 | -0,50 | -0,48 | -0,62 | -0,68 | -0,28 | -0,30 |
| aves | -0,25 | -0,33 | 0,70 | 0,72 | 0,20 | 0,20 | -0,28 | 0,20 | 0,23 | 0,02 | -0,58 | -0,15 | -0,17 | -0,03 | -0,52 | 0,50 | 0,00 | 0,62 | 0,15 | -0,12 | 0,07 | -0,77 | -0,52 | -0,40 | -0,58 | -0,63 | -0,23 | -0,25 |
| hortifruiti | 0,03 | -0,40 | 0,88 | 0,60 | 0,27 | 0,25 | 0,10 | 0,25 | 0,53 | 0,42 | -0,20 | -0,08 | 0,05 | -0,18 | -0,73 | 0,47 | -0,15 | 0,45 | 0,00 | 0,27 | 0,05 | -0,42 | -0,40 | -0,40 | -0,48 | -0,60 | -0,20 | -0,43 |
| cer/forr | -0,30 | -0,20 | 0,70 | 0,65 | 0,10 | 0,10 | -0,23 | 0,33 | 0,25 | 0,00 | -0,58 | -0,17 | -0,13 | -0,12 | -0,48 | 0,55 | 0,00 | 0,65 | 0,22 | -0,07 | 0,18 | -0,68 | -0,53 | -0,50 | -0,63 | -0,67 | -0,25 | -0,20 |
| prad/campo | -0,47 | -0,10 | 0,62 | 0,55 | 0,08 | 0,08 | -0,25 | 0,45 | 0,12 | 0,07 | -0,57 | 0,02 | -0,03 | -0,25 | -0,37 | 0,48 | -0,03 | 0,45 | 0,17 | -0,08 | 0,17 | -0,50 | -0,47 | -0,43 | -0,55 | -0,52 | -0,10 | 0,05 |
| | S | K | Ca | Ti | Fe | V | Cr | Mn | Ni | Cu | Zn | Ga | As | Br | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Sn | Ba | Pb | Nt | Pt | % AG. | M.O. | CO3 | L y A |

Tabla 3 - MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE LA GEOLOGÍA DE LA CUENCA Y VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN SEDIMENTOS - datos promedio 2008 + 2009 (n=6)

Correlación de Spearman - Niveles de significación: $p < 0,1$ (celdas en azul) $p < 0,05$ (celdas en rojo)

| | Form Dolores | Form Libertad | Form Montevideo | Granodiorita | Bañados | Dunas | Granitos Punta | Ortoseis Punta | Migmatitas de | Form Fray Bentos | Arenas | Aluviones | Form Raigón | Milonitas Cuarçítica |
|------|--------------|---------------|-----------------|--------------|---------|-------|----------------|----------------|---------------|------------------|--------|-----------|-------------|----------------------|
| S | 0,02 | -0,55 | 0,29 | 0,34 | 0,41 | 0,48 | -0,14 | -0,67 | -0,71 | 0,24 | 0,14 | 0,41 | -0,18 | -0,55 |
| K | -0,68 | -0,33 | 0,01 | 0,50 | -0,12 | 0,18 | -0,29 | -0,12 | 0,02 | -0,22 | 0,55 | 0,27 | 0,07 | -0,14 |
| Ca | 0,32 | 0,02 | -0,17 | -0,37 | -0,33 | -0,16 | 0,68 | -0,10 | -0,09 | -0,07 | -0,41 | -0,55 | -0,48 | -0,14 |
| Ti | 0,38 | -0,15 | 0,16 | -0,37 | 0,13 | 0,14 | 0,03 | -0,22 | 0,50 | 0,27 | -0,27 | -0,55 | -0,02 | 0,41 |
| Fe | 0,57 | 0,00 | 0,58 | 0,02 | 0,51 | -0,07 | 0,14 | -0,41 | 0,18 | 0,63 | -0,41 | 0,14 | 0,32 | 0,27 |
| V | 0,63 | 0,13 | 0,52 | 0,05 | 0,55 | -0,18 | 0,25 | -0,24 | 0,09 | 0,71 | -0,55 | 0,27 | 0,30 | 0,14 |
| Cr | -0,32 | -0,52 | 0,44 | 0,71 | 0,23 | 0,18 | -0,23 | -0,67 | -0,71 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | -0,18 | -0,55 |
| Mn | -0,28 | 0,25 | -0,28 | -0,07 | -0,57 | -0,64 | 0,23 | 0,30 | 0,14 | -0,47 | -0,55 | -0,41 | -0,39 | -0,14 |
| Ni | 0,03 | -0,05 | -0,49 | -0,34 | -0,51 | -0,02 | 0,54 | -0,03 | -0,59 | -0,44 | -0,14 | -0,41 | -0,73 | -0,55 |
| Cu | 0,27 | 0,25 | 0,29 | 0,32 | 0,08 | -0,34 | 0,41 | -0,07 | -0,64 | 0,08 | -0,41 | 0,27 | -0,05 | -0,27 |
| Zn | -0,17 | -0,03 | 0,15 | 0,32 | 0,01 | -0,11 | -0,23 | -0,24 | -0,73 | -0,29 | -0,14 | 0,27 | -0,16 | -0,41 |
| Ga | 0,00 | 0,63 | -0,08 | -0,02 | -0,26 | -0,37 | -0,17 | 0,62 | -0,07 | -0,44 | 0,00 | -0,14 | 0,25 | 0,41 |
| As | 0,05 | -0,08 | 0,64 | 0,52 | 0,35 | -0,37 | 0,03 | -0,48 | -0,09 | 0,36 | -0,55 | 0,41 | 0,16 | -0,14 |
| Br | 0,20 | -0,07 | 0,03 | 0,18 | 0,56 | 0,39 | -0,21 | 0,18 | -0,30 | 0,51 | 0,14 | 0,55 | 0,14 | -0,27 |
| Rb | -0,37 | -0,08 | 0,17 | 0,34 | 0,20 | 0,18 | -0,50 | 0,03 | 0,30 | 0,05 | 0,55 | 0,41 | 0,50 | 0,27 |
| Sr | -0,15 | 0,07 | -0,49 | -0,16 | -0,38 | -0,02 | 0,08 | 0,45 | -0,18 | -0,36 | -0,14 | -0,41 | -0,50 | -0,27 |
| Y | -0,18 | -0,45 | 0,10 | -0,14 | -0,01 | 0,46 | -0,28 | -0,45 | 0,50 | -0,03 | 0,55 | -0,27 | 0,16 | 0,41 |
| Zr | -0,17 | -0,58 | -0,28 | -0,27 | -0,15 | 0,48 | -0,06 | -0,26 | 0,25 | -0,05 | 0,14 | -0,55 | -0,48 | -0,14 |
| Nb | -0,47 | -0,50 | -0,18 | -0,07 | -0,26 | 0,46 | -0,33 | -0,24 | 0,32 | -0,32 | 0,55 | -0,41 | -0,16 | 0,14 |
| Sn | -0,18 | 0,02 | -0,21 | 0,07 | -0,39 | -0,23 | 0,17 | -0,04 | -0,71 | -0,51 | -0,27 | -0,14 | -0,55 | -0,55 |
| Ba | -0,53 | -0,15 | -0,54 | 0,07 | -0,50 | 0,16 | 0,08 | 0,27 | -0,27 | -0,51 | 0,41 | -0,14 | -0,43 | -0,41 |
| Pb | -0,40 | 0,00 | 0,30 | 0,64 | -0,06 | -0,25 | -0,05 | -0,28 | -0,52 | -0,25 | 0,14 | 0,55 | 0,14 | -0,27 |
| Nt | -0,20 | -0,38 | 0,66 | 0,64 | 0,50 | 0,34 | -0,55 | -0,59 | -0,14 | 0,24 | 0,41 | 0,55 | 0,48 | 0,14 |
| Pt | 0,32 | 0,00 | 0,67 | 0,27 | 0,64 | 0,11 | -0,22 | -0,37 | 0,16 | 0,58 | 0,14 | 0,55 | 0,71 | 0,41 |
| M.O. | -0,03 | -0,05 | 0,66 | 0,46 | 0,47 | 0,05 | -0,42 | -0,39 | 0,16 | 0,29 | 0,27 | 0,55 | 0,71 | 0,41 |
| CO3 | 0,20 | 0,10 | 0,63 | 0,23 | 0,34 | -0,32 | -0,01 | -0,36 | 0,39 | 0,39 | -0,27 | 0,27 | 0,52 | 0,41 |
| Ly A | -0,07 | 0,27 | 0,50 | 0,32 | 0,23 | -0,50 | -0,23 | 0,03 | 0,71 | 0,27 | -0,27 | 0,27 | 0,64 | 0,55 |

ANEXO III

Tabla 1 -Matriz de Correlación de Spearman entre calidad de agua y de sedimentos para los años 2008 (n=3), 2009 (n=3) y para los datos combinados (n=6)

Niveles de significación: $p < 0,1$ (celdas marcadas en azul), $p < 0,05$ (celdas marcadas en rojo)

| | | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |
|-----------|----|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 2008+2009 | S | 0,18 | -0,07 | -0,62 | -0,52 | 0,17 | -0,05 | -0,04 | -0,57 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | 0,39 | -0,14 | 0,28 | 0,32 | S |
| 2008 | | 0,03 | -0,52 | -0,73 | -0,61 | 0,32 | -0,49 | -0,22 | -0,64 | 0,13 | 0,20 | 0,46 | 0,67 | -0,30 | 0,28 | 0,30 | |
| 2009 | | 0,23 | -0,36 | -0,51 | -0,38 | 0,49 | -0,51 | -0,23 | -0,48 | 0,14 | 0,17 | 0,30 | 0,53 | -0,17 | 0,05 | 0,31 | |
| 2008+2009 | K | 0,18 | 0,06 | 0,03 | 0,25 | 0,31 | 0,28 | 0,22 | 0,01 | -0,39 | -0,57 | -0,27 | -0,06 | 0,17 | 0,19 | -0,30 | K |
| 2008 | | 0,17 | -0,46 | -0,25 | -0,18 | 0,19 | -0,31 | -0,27 | -0,39 | -0,36 | -0,37 | -0,20 | -0,01 | 0,36 | 0,22 | 0,03 | |
| 2009 | | -0,17 | -0,22 | 0,00 | 0,05 | 0,13 | -0,21 | 0,03 | -0,16 | -0,21 | -0,37 | -0,03 | -0,08 | 0,44 | 0,18 | -0,09 | |
| 2008+2009 | Ca | -0,21 | 0,21 | 0,14 | 0,02 | -0,06 | 0,11 | 0,14 | 0,05 | 0,47 | 0,23 | 0,03 | -0,03 | -0,54 | 0,07 | -0,14 | Ca |
| 2008 | | -0,31 | 0,32 | 0,23 | 0,16 | -0,02 | 0,22 | 0,30 | 0,33 | 0,55 | 0,17 | 0,23 | 0,05 | -0,40 | 0,06 | 0,02 | |
| 2009 | | -0,09 | 0,08 | 0,03 | -0,08 | -0,22 | 0,33 | 0,19 | 0,17 | 0,28 | 0,00 | -0,07 | -0,03 | -0,25 | -0,12 | 0,35 | |
| 2008+2009 | Ti | 0,22 | 0,12 | -0,20 | -0,08 | 0,08 | 0,47 | 0,40 | -0,21 | 0,03 | -0,19 | -0,48 | -0,50 | -0,04 | 0,13 | -0,20 | Ti |
| 2008 | | -0,13 | 0,01 | -0,02 | 0,02 | 0,15 | 0,16 | 0,10 | 0,11 | 0,04 | -0,04 | -0,30 | -0,34 | 0,18 | -0,33 | 0,23 | |
| 2009 | | -0,10 | -0,16 | -0,29 | -0,33 | 0,07 | 0,01 | -0,13 | -0,01 | -0,04 | -0,43 | -0,46 | -0,50 | -0,25 | -0,22 | -0,14 | |
| 2008+2009 | Fe | 0,25 | -0,26 | -0,57 | -0,46 | -0,16 | 0,36 | 0,41 | -0,60 | 0,41 | 0,14 | 0,09 | 0,16 | -0,42 | 0,33 | 0,14 | Fe |
| 2008 | | -0,12 | -0,03 | -0,16 | -0,17 | -0,03 | 0,25 | 0,24 | 0,01 | 0,32 | 0,27 | 0,08 | 0,08 | -0,31 | -0,24 | 0,17 | |
| 2009 | | -0,02 | -0,40 | -0,54 | -0,51 | -0,01 | -0,07 | -0,14 | -0,38 | 0,13 | 0,07 | 0,16 | 0,21 | -0,36 | -0,02 | 0,03 | |
| 2008+2009 | V | 0,25 | -0,11 | -0,43 | -0,40 | -0,14 | 0,41 | 0,38 | -0,51 | 0,29 | 0,06 | -0,06 | -0,01 | -0,42 | 0,36 | 0,01 | V |
| 2008 | | 0,04 | 0,03 | -0,05 | -0,15 | -0,06 | 0,28 | 0,26 | 0,03 | 0,22 | 0,34 | 0,02 | 0,00 | -0,37 | -0,22 | 0,14 | |
| 2009 | | 0,03 | -0,17 | -0,34 | -0,33 | 0,12 | -0,09 | -0,15 | -0,22 | 0,27 | 0,09 | 0,14 | 0,17 | -0,50 | -0,06 | 0,06 | |
| 2008+2009 | Cr | 0,08 | 0,02 | -0,24 | -0,12 | 0,12 | -0,37 | -0,24 | -0,26 | 0,24 | 0,48 | 0,41 | 0,21 | -0,08 | -0,08 | 0,33 | Cr |
| 2008 | | 0,11 | 0,04 | -0,08 | 0,03 | 0,16 | -0,10 | 0,07 | -0,20 | 0,17 | 0,51 | 0,50 | 0,44 | -0,25 | 0,05 | 0,04 | |
| 2009 | | 0,07 | -0,17 | -0,37 | -0,25 | 0,21 | -0,09 | 0,04 | -0,41 | 0,32 | 0,39 | 0,23 | 0,46 | -0,06 | -0,22 | 0,25 | |
| 2008+2009 | Mn | -0,33 | 0,19 | 0,40 | 0,31 | -0,03 | -0,15 | -0,14 | 0,34 | 0,12 | 0,09 | -0,05 | -0,04 | -0,07 | -0,25 | -0,03 | Mn |
| 2008 | | -0,05 | 0,71 | 0,57 | 0,64 | -0,10 | 0,22 | 0,24 | 0,51 | 0,29 | 0,24 | 0,02 | -0,10 | -0,08 | -0,30 | 0,02 | |
| 2009 | | 0,07 | 0,54 | 0,46 | 0,34 | -0,22 | 0,38 | 0,14 | 0,58 | 0,22 | 0,21 | -0,09 | -0,20 | -0,07 | -0,21 | 0,08 | |
| 2008+2009 | Ni | 0,13 | -0,14 | -0,17 | -0,25 | -0,19 | -0,16 | -0,10 | -0,14 | 0,24 | 0,41 | 0,24 | 0,02 | -0,38 | -0,03 | 0,12 | Ni |
| 2008 | | 0,07 | 0,16 | 0,00 | -0,06 | -0,10 | 0,15 | 0,15 | 0,05 | 0,08 | 0,34 | 0,16 | 0,01 | -0,43 | 0,01 | -0,22 | |
| 2009 | | -0,09 | -0,29 | -0,51 | -0,45 | 0,11 | -0,06 | -0,07 | -0,36 | 0,19 | 0,23 | 0,21 | 0,22 | -0,15 | -0,13 | 0,11 | |
| 2008+2009 | Cu | -0,03 | -0,23 | -0,32 | -0,19 | -0,09 | -0,09 | 0,02 | -0,38 | 0,46 | 0,29 | 0,44 | 0,54 | -0,17 | 0,14 | 0,54 | Cu |
| 2008 | | -0,17 | 0,01 | -0,19 | -0,04 | 0,08 | 0,00 | 0,14 | -0,08 | 0,36 | 0,28 | 0,34 | 0,43 | -0,12 | 0,00 | 0,45 | |
| 2009 | | -0,02 | -0,07 | -0,12 | -0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,22 | -0,32 | 0,41 | 0,63 | 0,64 | 0,66 | -0,13 | -0,11 | 0,17 | |
| 2008+2009 | Zn | -0,12 | -0,16 | -0,13 | -0,26 | -0,23 | -0,01 | 0,10 | -0,14 | 0,21 | 0,28 | 0,47 | 0,63 | 0,08 | 0,26 | 0,36 | Zn |
| 2008 | | -0,13 | 0,13 | -0,08 | -0,03 | -0,06 | -0,15 | 0,07 | -0,05 | 0,22 | 0,25 | 0,44 | 0,54 | -0,19 | 0,22 | 0,25 | |
| 2009 | | 0,03 | 0,08 | 0,04 | 0,11 | -0,02 | -0,24 | 0,05 | -0,15 | 0,12 | 0,34 | 0,60 | 0,69 | -0,05 | 0,25 | 0,09 | |
| 2008+2009 | Ga | 0,02 | 0,12 | 0,08 | 0,16 | 0,03 | 0,06 | 0,14 | 0,16 | -0,17 | -0,28 | 0,02 | 0,05 | -0,18 | 0,07 | -0,27 | Ga |
| 2008 | | 0,10 | 0,41 | 0,25 | 0,19 | -0,05 | 0,13 | 0,23 | 0,39 | 0,19 | 0,06 | 0,11 | 0,06 | -0,52 | 0,10 | -0,26 | |
| 2009 | | 0,06 | 0,04 | 0,12 | 0,23 | 0,07 | -0,27 | -0,20 | 0,02 | -0,30 | -0,25 | -0,02 | -0,09 | 0,41 | 0,04 | -0,11 | |
| 2008+2009 | As | 0,16 | -0,32 | -0,40 | -0,41 | -0,11 | 0,10 | 0,15 | -0,46 | 0,31 | 0,31 | 0,36 | 0,34 | -0,11 | 0,12 | 0,30 | As |
| 2008 | | -0,05 | -0,13 | -0,20 | -0,19 | -0,04 | 0,04 | 0,18 | -0,14 | 0,03 | 0,33 | 0,32 | 0,21 | 0,09 | 0,11 | -0,03 | |
| 2009 | | -0,15 | -0,28 | -0,34 | -0,19 | 0,06 | -0,07 | 0,07 | -0,44 | 0,34 | 0,31 | 0,39 | 0,53 | -0,23 | 0,10 | 0,14 | |
| 2008+2009 | Br | 0,00 | -0,03 | -0,13 | -0,03 | 0,45 | -0,17 | -0,20 | 0,05 | -0,46 | -0,45 | -0,17 | 0,03 | 0,13 | 0,01 | -0,08 | Br |
| 2008 | | 0,48 | 0,04 | -0,17 | -0,10 | 0,50 | -0,39 | -0,40 | 0,11 | -0,39 | -0,32 | -0,40 | -0,32 | -0,08 | -0,15 | -0,04 | |
| 2009 | | 0,53 | -0,06 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | -0,19 | -0,12 | -0,06 | -0,36 | 0,10 | 0,08 | 0,06 | 0,13 | 0,31 | -0,23 | |
| 2008+2009 | Rb | 0,13 | -0,05 | -0,02 | 0,24 | 0,29 | 0,17 | 0,15 | 0,01 | -0,36 | -0,57 | -0,20 | -0,05 | 0,14 | 0,13 | -0,21 | Rb |
| 2008 | | 0,07 | -0,40 | -0,25 | -0,22 | 0,14 | -0,19 | -0,14 | -0,29 | -0,28 | -0,44 | -0,24 | -0,05 | 0,25 | 0,21 | 0,06 | |
| 2009 | | -0,09 | -0,44 | -0,13 | -0,03 | 0,10 | -0,31 | -0,27 | -0,29 | -0,33 | -0,36 | -0,01 | -0,10 | 0,38 | 0,25 | -0,04 | |
| 2008+2009 | Sr | -0,35 | 0,39 | 0,62 | 0,49 | 0,28 | -0,20 | -0,28 | 0,73 | -0,33 | -0,29 | -0,36 | -0,32 | 0,09 | -0,35 | -0,38 | Sr |
| 2008 | | 0,15 | 0,44 | 0,37 | 0,32 | 0,16 | -0,11 | -0,11 | 0,49 | -0,13 | -0,40 | -0,32 | -0,41 | -0,14 | 0,06 | -0,37 | |
| 2009 | | 0,06 | 0,57 | 0,66 | 0,51 | -0,13 | 0,21 | 0,05 | 0,75 | -0,24 | -0,48 | -0,48 | -0,53 | 0,29 | 0,14 | -0,06 | |
| 2008+2009 | Y | 0,21 | -0,10 | -0,29 | -0,16 | 0,13 | 0,25 | 0,22 | -0,22 | 0,03 | -0,14 | -0,25 | -0,28 | -0,18 | 0,00 | -0,08 | Y |
| 2008 | | -0,21 | -0,37 | -0,44 | -0,44 | 0,08 | -0,03 | -0,01 | -0,31 | 0,07 | 0,00 | -0,10 | 0,01 | 0,08 | -0,09 | 0,36 | |
| 2009 | | -0,37 | -0,46 | -0,33 | -0,28 | 0,06 | -0,12 | -0,05 | -0,29 | -0,11 | -0,42 | -0,20 | -0,25 | 0,19 | 0,01 | 0,10 | |
| 2008+2009 | Zr | 0,04 | 0,27 | -0,09 | -0,12 | 0,30 | 0,23 | 0,07 | 0,04 | -0,07 | -0,25 | -0,60 | -0,54 | -0,07 | -0,06 | -0,24 | Zr |
| 2008 | | -0,06 | -0,22 | -0,23 | -0,29 | 0,26 | -0,10 | -0,18 | -0,07 | -0,09 | -0,36 | -0,45 | -0,40 | 0,02 | -0,20 | 0,24 | |
| 2009 | | 0,09 | -0,14 | -0,24 | -0,27 | 0,31 | -0,25 | -0,19 | -0,01 | -0,16 | -0,59 | -0,49 | -0,39 | -0,18 | 0,05 | -0,07 | |
| 2008+2009 | Nb | 0,16 | 0,21 | -0,11 | 0,04 | 0,17 | 0,41 | 0,35 | -0,09 | -0,20 | -0,41 | -0,54 | -0,47 | 0,11 | 0,12 | -0,25 | Nb |
| 2008 | | -0,26 | -0,28 | -0,19 | -0,12 | 0,10 | -0,03 | -0,08 | -0,19 | -0,14 | -0,31 | -0,33 | -0,24 | 0,36 | -0,10 | 0,23 | |
| 2009 | | -0,10 | -0,34 | -0,36 | -0,24 | 0,31 | -0,37 | -0,24 | -0,26 | -0,25 | -0,62 | -0,31 | -0,30 | 0,26 | -0,02 | 0,07 | |
| 2008+2009 | Sn | -0,22 | -0,08 | 0,04 | 0,05 | 0,02 | -0,16 | -0,04 | -0,02 | 0,34 | 0,34 | 0,51 | 0,51 | -0,23 | 0,03 | 0,22 | Sn |
| 2008 | | -0,18 | 0,13 | -0,01 | 0,09 | 0,01 | -0,15 | 0,05 | -0,01 | 0,34 | 0,27 | 0,50 | 0,46 | -0,18 | 0,15 | 0,27 | |
| 2009 | | -0,30 | 0,09 | 0,14 | 0,17 | -0,15 | 0,17 | 0,22 | -0,13 | 0,38 | 0,42 | 0,42 | 0,46 | -0,05 | 0,07 | 0,27 | |
| 2008+2009 | Ba | -0,18 | 0,26 | 0,42 | 0,49 | 0,35 | -0,14 | -0,18 | 0,39 | -0,24 | -0,35 | -0,14 | 0,00 | -0,03 | -0,15 | -0,21 | Ba |
| 2008 | | 0,15 | -0,06 | -0,04 | -0,03 | 0,23 | -0,36 | -0,18 | -0,08 | -0,10 | -0,33 | -0,09 | -0,03 | -0,04 | 0,25 | -0,09 | |
| 2009 | | 0,18 | 0,26 | 0,49 | 0,43 | -0,04 | 0,10 | 0,03 | 0,30 | -0,20 | -0,17 | -0,07 | -0,14 | 0,27 | 0,21 | -0,02 | |
| 2008+2009 | Pb | 0,01 | -0,20 | -0,17 | 0,05 | -0,05 | -0,08 | 0,05 | -0,26 | 0,25 | 0,09 | 0,42 | 0,53 | -0,10 | 0,11 | 0,39 | Pb |
| 2008 | | -0,30 | -0,17 | -0,25 | -0,16 | -0,04 | -0,06 | 0,19 | -0,35 | 0,36 | 0,23 | 0,52 | 0,68 | -0,03 | 0,32 | 0,55 | |
| 2009 | | -0,16 | -0,37 | -0,22 | -0,01 | 0,21 | -0,22 | -0,01 | -0,48 | 0,16 | 0,25 | 0,51 | 0,54 | 0,68 | 0,22 | 0,02 | |
| | | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |

ANEXO III

Anexo III – Tabla 1 – continuación

| | | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |
|-----------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 2008+2009 | Nt | 0,44 | -0,17 | -0,54 | -0,29 | 0,05 | 0,38 | 0,43 | -0,55 | -0,09 | -0,30 | -0,11 | 0,06 | -0,16 | 0,39 | -0,02 | Nt |
| 2008 | | -0,49 | 0,62 | 0,56 | 0,55 | -0,36 | 0,55 | 0,59 | 0,41 | 0,64 | 0,37 | 0,23 | 0,09 | -0,18 | -0,31 | 0,01 | |
| 2009 | | 0,12 | -0,39 | -0,32 | -0,03 | 0,45 | -0,38 | -0,16 | -0,50 | -0,19 | -0,01 | 0,18 | 0,25 | 0,49 | -0,12 | 0,20 | |
| 2008+2009 | Pt | 0,23 | -0,28 | -0,34 | -0,10 | 0,12 | -0,21 | -0,08 | -0,29 | -0,04 | 0,09 | 0,17 | 0,17 | 0,04 | -0,15 | 0,14 | Pt |
| 2008 | | -0,21 | 0,61 | 0,73 | 0,62 | -0,29 | 0,49 | 0,38 | 0,66 | 0,34 | -0,02 | -0,09 | -0,21 | -0,12 | 0,03 | -0,12 | |
| 2009 | | -0,04 | -0,52 | -0,35 | -0,24 | 0,17 | -0,30 | -0,25 | -0,52 | -0,14 | 0,04 | 0,30 | 0,30 | 0,33 | 0,03 | 0,19 | |
| 2008+2009 | % AGUA | 0,29 | -0,30 | -0,43 | -0,23 | 0,10 | -0,14 | -0,02 | -0,42 | -0,01 | 0,00 | 0,18 | 0,15 | 0,03 | -0,03 | 0,33 | % AGUA |
| 2008 | | -0,07 | 0,50 | 0,64 | 0,44 | -0,43 | 0,61 | 0,38 | 0,68 | 0,10 | -0,16 | -0,33 | -0,43 | 0,03 | -0,11 | -0,23 | |
| 2009 | | -0,04 | -0,54 | -0,50 | -0,21 | 0,25 | -0,46 | -0,19 | -0,64 | -0,11 | -0,03 | 0,40 | 0,43 | 0,29 | 0,14 | 0,35 | |
| 2008+2009 | % M.O. | 0,31 | -0,42 | -0,31 | -0,19 | -0,04 | -0,02 | 0,09 | -0,30 | -0,17 | -0,09 | 0,16 | 0,16 | -0,02 | 0,00 | 0,06 | % M.O. |
| 2008 | | 0,44 | -0,55 | -0,59 | -0,67 | 0,26 | -0,40 | -0,45 | -0,37 | -0,54 | -0,15 | -0,16 | -0,08 | 0,11 | 0,03 | 0,04 | |
| 2009 | | -0,07 | -0,35 | -0,22 | -0,02 | 0,12 | -0,31 | -0,23 | -0,45 | -0,15 | -0,06 | 0,34 | 0,36 | 0,42 | 0,12 | 0,27 | |
| 2008+2009 | % CO3 | 0,22 | -0,23 | -0,22 | -0,14 | -0,29 | 0,32 | 0,33 | -0,38 | 0,32 | 0,09 | 0,15 | 0,00 | -0,20 | 0,13 | 0,08 | % CO3 |
| 2008 | | 0,33 | -0,76 | -0,76 | -0,74 | 0,28 | -0,54 | -0,46 | -0,70 | -0,54 | -0,11 | 0,00 | 0,15 | 0,07 | 0,19 | 0,01 | |
| 2009 | | -0,24 | -0,26 | -0,26 | -0,16 | -0,05 | -0,08 | -0,16 | -0,30 | 0,11 | 0,13 | 0,26 | 0,25 | 0,06 | -0,07 | 0,18 | |
| 2008+2009 | L y A | 0,13 | -0,10 | 0,01 | 0,17 | -0,17 | -0,03 | 0,05 | -0,09 | 0,05 | -0,04 | 0,07 | -0,11 | 0,01 | -0,15 | 0,02 | L y A |
| 2008 | | -0,27 | 0,07 | 0,18 | 0,17 | -0,21 | 0,47 | 0,30 | 0,14 | 0,32 | 0,28 | 0,09 | -0,10 | 0,11 | -0,36 | 0,08 | |
| 2009 | | -0,18 | -0,19 | -0,05 | 0,09 | 0,02 | 0,05 | -0,04 | -0,17 | 0,02 | 0,06 | 0,09 | 0,00 | 0,41 | -0,26 | 0,21 | |
| | | Temp | Cond | pH | Alcalin | mdisc | SST | MOS | OD | DBO | CF | SRP | Pt | NO3 | NH4 | Nt | |