

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1977

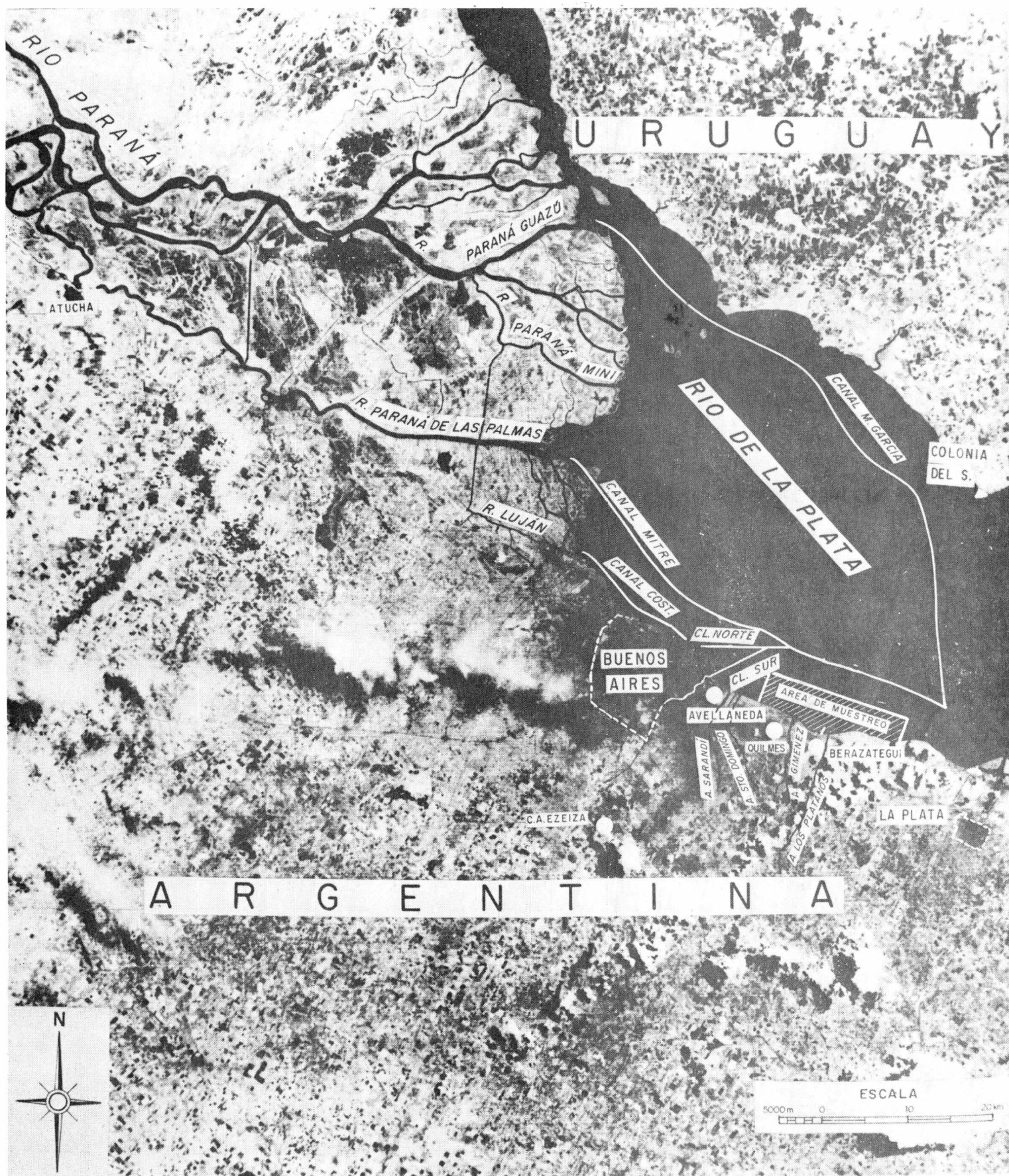
06.77.10
CNEA - NT 4/77

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE RADIOISOTOPOS Y RADIACIONES

CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DE TRAZADORES ACTIVABLES
PARA ESTUDIOS DE CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

Ricardo O. Korob - Isaac M. Cohen - María I. Milá
Gregorio B. Baró - Héctor R. Gómez

Buenos Aires - Marzo 1977



Resumen

Se discute la posibilidad de aplicar trazadores activables al estudio de la contaminación en el Río de la Plata. Con el objeto de efectuar la selección de los trazadores potencialmente aptos, se establecen las consideraciones teóricas necesarias. La elección final se realiza a través de los resultados del análisis de muestras de agua, efectuados mediante la técnica de análisis por activación neutrónica.

Abstract

The feasibility of applying activable tracers to the study of contamination in the River Plate is discussed. In order to effect the selection of tracers potentially useful, the necessary theoretical considerations are established. The final choice is performed on the basis of the results of water sample analyses, which were carried out by neutron activation analysis.

1.0 INTRODUCCION

Teniendo presente que un estudio de contaminación en el Río de la Plata debe estar siempre inserto en un plan general que atienda no sólo a los problemas mesológicos acuciantes sino que contemple además los distintos factores técnicos, legales, sociales y económicos del ecosistema estudiado, pretendemos aquí hacer conocer las posibilidades y limitaciones de las técnicas nucleares en general y los trazadores activables en particular para contribuir a determinar parámetros hidráulicos vinculados a todo estudio de esta naturaleza.

El Río de la Plata con régimen fluvio-marítimo, es el desagüe general de una cuenca de 3.100.000 km². Su capacidad para asimilar y evacuar líquidos cloacales, aguas servidas o desechos industriales está íntimamente vinculada con los parámetros hidráulicos que caracterizan la dinámica de este medio difusor o autodepurador, así como a la tecnología utilizada en el tratamiento sanitario de los líquidos servidos, concentración, localización del emisario, tipo de difusor, etc.

En un área restringida, señalada en el plano de la portada, se presentan problemas de contaminación provocados por el desagüe cloacal principal, y/o arroyos que convergen en las inmediaciones, en cuyas riberas están asentadas importantes industrias.

Los trazadores activables pueden ser utilizados para determinar índices relativos de contaminación en esta área.

2.0 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal del presente estudio es la selección de un trazador activable apto para determinar coeficientes de difusión globales y factores de dilución, con miras a identificar y cuantificar la contaminación relativa que proviene de distintas fuentes: el emisor cloacal principal, ubicado en Berazategui, los tributarios menores que desembocan entre Avellaneda y Berazategui; que provocan excesivas acumulaciones de distintos agentes contaminantes tales como desechos orgánicos, industriales, etc.

Por otra parte, se pretende dar una sintética metodología de trabajo para alcanzar estos objetivos, teniendo en cuenta las particulares características del Río de la Plata.

3.0 BASES PARA EL ESTUDIO

Para seleccionar un trazador, ya sea activable, radiactivo o convencional, es preciso efectuar un análisis hidrodinámico del sistema. Asimismo, es necesario tener en cuenta los aspectos químicos y biológicos del medio hídrico.

3.1 HIDRODINAMICA DEL SISTEMA

La dinámica de las aguas del Río de la Plata es la resultante de la acción del Río Paraná y el Río Uruguay, sus principales tributarios, y la contra-acción del Océano Atlántico.

En caso de encuadrarse su dinámica en un régimen de estuario deben tenerse en cuenta particulares y notables características que lo distinguen de otros estuarios. El caudal medio anual de los Ríos Paraná y Uruguay es del orden de los 20.000 m³/seg. Los procesos hidráulicos son complicados en unos casos por factores tales como la topografía costera, el amplio delta del Río Paraná y la formación de bancos y en otros por su baja profundidad y un ancho no superado por ningún estuario.

En el Río de la Plata los fenómenos sedimentológicos son aún más complejos debido a la baja granulometría de sus sedimentos (arcilla, limo) y sus versátiles características, cuya evolución, dependiente en ciertos casos de factores hidráulicos de segundo orden, se pone de manifiesto por una acentuada sedimentación cuyo promedio es del orden de 1 cm/año, habiéndose comprobado que no existe prácticamente transporte por acarreo.

La salinidad, que varía entre 0,008 ‰ y 28 ‰, acusa acentuados cambios de un lugar a otro, comprobándose además importantes avances o retrocesos del cono salado de acuerdo al estado de mareas.

Las mareas más frecuentes varían entre 30 y 60 cm, siendo las crecientes más notables producidas principalmente por vientos persistentes de dirección sudeste.

Si se consideran las limitaciones inherentes a la navegación del Rfo de la Plata en áreas de bancos, costeras, o sus inmediaciones, se puede efectuar un análisis más profundo de las condiciones hidrodinámicas, el cual nos permite trazar un programa para delimitar las condiciones de marea y meteorológicas más apropiadas para realizar ensayos con trazadores tendientes a determinar diluciones o coeficientes de difusión global con (Fig. 1):

- .- Los estados de marea que con mayor frecuencia se reproducen en el Rfo de la Plata (marea mixta). (Fig. 1 a).
- .- Los estados de marea con bajantes pronunciadas acentuadas durante 24 h (Fig. 1 b)
- .- Los estados de marea con crecientes producidas por persistentes vientos S. E. (Fig. 1 c).

Deben entonces efectuarse tres inyecciones de trazador por emisario contaminante como mínimo, según las condiciones atmosféricas y de marea anteriormente citadas.

Los emisarios cuyos valores relativos de contaminación se pretende hallar son: Emisario principal (punto de descargas cloacales en Berazategui), Arroyos Los Plátanos, Santo Domingo, Sarandí y Giménez.

Los caudales de estos arroyos, y por consiguiente el grado de dilución primaria (antes de ingresar al Rfo de la Plata), están subordinados, principalmente, al régimen de lluvias de la región. La precipitación media anual es de 992 mm; éste régimen no acusa pronunciados cambios durante el año.

4.0 CONDICIONES QUE DEBE REUNIR UN TRAZADOR ACTIVABLE.

En la discusión que sigue, se hará mención a las características de los elementos para su utilización como posibles trazadores, en un sentido amplio, que incluye a sus compuestos químicos. De hecho, no se hará distinción entre las propiedades que dependen del elemento, o más claramente de sus isótopos, como las características nucleares, y aquellas que son dependientes del tipo de compuesto al cual el elemento se haya asociado, tales como su comportamiento químico en el medio de aplicación. Desde el punto de vista del análisis por activación, las diferentes formas químicas de un elemento son indistinguibles, interesando únicamente la concentración elemental.

Entre las características nucleares necesarias para un buen trazador activable, la sección eficaz y la abundancia del isótopo precursor de la reacción nuclear son de máxima importancia, dado que la actividad del radionucleído producido por la irradiación es directamente proporcional a ambas. El periodo de semidesintegración deberá ser suficientemente largo como para permitir el transporte de la cápsula de irradiación hasta el lugar de apertura y medición y, eventualmente, permitir la separación química necesaria para aislar el nucleído a medir del resto de las actividades producidas en la muestra. Es importante considerar también el modo de desintegración; un emisor gamma de energía e intensidad altas será preferible en todos los casos.

Una condición general para cualquier trazador es que su comportamiento químico sea lo más semejante posible al del medio que se quiere representar o estudiar, sin producir cambios en el mismo. Esto es de suma importancia en el caso de los trazadores activables, cuya inyección se debe hacer en concentraciones generalmente altas. El trazador no debe producir compuestos insolubles con los constituyentes del sistema, ni sufrir adsorción o intercambio iónico con los sedimentos, que conduzcan a pérdidas importantes. Este tipo de procesos afecta a todos los cationes y en mucha menor medida a los aniones, por lo cual debe preferirse a estos últimos. Los agentes complejantes contribuyen a minimizar la importancia de los factores arriba mencionados, al disminuir la concentración del ión intercambiable o precipitable en solución; aquellos cationes que formen compuestos de coordinación estables tendrán mejores posibilidades de ser usados como trazadores. Obviamente, el trazador deberá ser soluble en agua y su concentración normal en el medio que se va a estudiar debe ser lo suficientemente baja, si no nula, como para poder detectar diferencias significativas antes y después de la inyección.

Deben tenerse en cuenta las posibles alteraciones que la aplicación del trazador representa sobre la ecología del medio; en ese aspecto, algunos elementos han sido suficientemente estudiados desde el punto de vista toxicológico, pero aún son incompletas las experiencias en otros casos.

Por último, caben mencionar dos factores: disponibilidad y costos; ambos pueden resultar decisivos para la adopción o rechazo de un trazador.

5.0 SELECCION DE TRAZADORES ACTIVABLES

Con el fin de seleccionar el trazador más conveniente, se calcularon las actividades teóricas producidas al fin de la irradiación de los elementos potencialmente aptos, para un flujo de $10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$. La actividad se calculó en fotones del rayo gamma más intenso o apropiado para la medición, por μg del elemento y por minuto. Se descartaron los emisores beta puros y los nucleidos de período menor que 10 minutos. El cálculo se efectuó sobre la base de tiempos de irradiación arbitrariamente tomados, del orden del período del nucleido formado, hasta un lapso máximo de 24 horas de irradiación. Para cada elemento se seleccionaron los nucleidos más convenientes, en función de los cálculos efectuados. De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla I), se pudo establecer, en sensibilidad creciente, el siguiente orden:

Ca - Sn - Sr - Fe - Zr - Ba (a) - Pd - Zn (a) - Nd (a) -
 Y - Rb - Se - Ge - Cr - Ni - Te - Ce (a) - Lu (b) -
 Mo - Ag - Ru - Cd - Hg (b) - Cu - Nd (b) - Zn (b) -
 Sb (b) - Os - Ce (b) - K - Cs - Ba (b) - Pt - Co - Tb -
 Yb (a) - Ta - Hf - Gd - Tm - Cl - Eu (a) - Hg (a) -
 Yb (b) - Pr - Ir - Er - Re (a) - Sb (a) - I - Sc - Br -
 Lu (a) - W - Ho - Na - As - Ga - La - Re (b) - Sm -
 Dy - Au - Mn - Eu (b) - In.

Sin embargo, esta tabla no reflejaba con claridad las posibilidades reales de aplicación del trazador. Al ser efectuadas las primeras pruebas cualitativas, irradiando muestras de aguas del Río de la Plata, se pudo observar que la actividad de ^{24}Na impedía la posibilidad de determinación instrumental de cualquier otro nucleido de período comparable; más aún, que de intentar una separación radioquímica del trazador, ésta podría efectuarse sin riesgos para el operador únicamente cuando el nucleido a separar tuviera período algo mayor que el ^{24}Na , en cuyo caso podría dejarse decaer la muestra un cierto tiempo. Se elaboró entonces una nueva secuencia, que es la que sigue:

Ca - Sn - Sr - Fe - Zr - Ba (a) - Zn (a) - Nd (a) -
 Y - Rb - Se - Cr - Te - Ce (a) - Lu (b) - Mo - Ag -
 Ru - Cd - Hg (b) - Sb (b) - Os - Ce (b) - Cs - Pt - Co -
 Tb - Yb (a) - Ta - Hf - Cl - Tm - Eu (a) - Hg (a) -
 Yb (b) - Pr - Ir - Re (a) - Sb (a) - Sc - Br - W - Ho -
 As - La - Re (b) - Sm - Au.

Obviamente, el sodio quedaba descartado como trazador posible. Por último, se ordenaron los trazadores de período mayor que 15 días, para los cuales la determinación instrumental resultaba en principio posible al decaer las actividades mayores, resultando así el nuevo orden:

Sn - Sr - Fe - Zr - Ba (a) - Zn (a) - Rb - Se - Cr -
 Ce (a) - Ag - Ru - Hg (b) - Sb (b) - Os - Cs - Co -
 Tb - Yb (a) - Ta - Hf - Tm - Eu (a) - Ir - Sc.

Si bien algunos de los lineamientos precedentes fueron fijados arbitrariamente, las secuencias elaboradas permitieron establecer un ordenamiento básico para ser tomado como punto de partida. Algunas consideraciones adicionales fueron tomadas para orientar la búsqueda: Sc, Ir, Hf, Os, Re y Ru, entre otros, no podían ser usados por su alto costo; la toxicidad reconocida de los compuestos de As, Te, Se y Hg hacían no recomendable su utilización; la tendencia a hidrolizar o la no disponibilidad de compuestos solubles descartaba a otros, como Ta y Sb.

Teniendo en cuenta las dificultades existentes para la elección a priori de un trazador adecuado, se resolvió efectuar ensayos simultáneos con los siguientes trazadores potenciales:

- .- Bromo: de muy buena sensibilidad y disponibilidad además de bajo costo, el bromo se puede inyectar como anión. Si bien estas condiciones lo hacían aparecer como un trazador casi ideal, mostraba en principio el inconveniente de que debía ser separado radioquímicamente. El contenido en bromo de las aguas contaminadas era presumiblemente alto.
- .- Tungsteno: el tungsteno, aplicado bajo la forma de tungstatos solubles, ofrecía buenas perspectivas respecto a su comportamiento químico. De mayor sensibilidad que el bromo, su costo resultaba más alto. Debía ser aislado por separación radioquímica.
- .- Cromo: el cromo no podía inyectarse como cromato o bicromato, debido a su acción tóxica. Resultaba posible su aplicación como catión pues en estado trivalente forma compuestos de coordinación muy estables. De sensibilidad más baja que los anteriores y buena disponibilidad, el cromo podía determinarse instrumentalmente. Su contenido normal se suponía alto, como consecuencia de la actividad industrial en la zona.
- .- Cobalto: el cobalto, que también forma compuestos estables de coordinación, ofrecía mejores perspectivas que el cromo, principalmente por su mayor sensibilidad. Era posible su determinación instrumental. No se tenía conocimiento previo de su contenido en las aguas.
- .- Terbio: la elección de un trazador de este tipo, que pese a su muy buena sensibilidad, es de alto costo, se debía a una razón fundamental: se presumía que su contenido en el medio a estudiar debía ser prácticamente nulo; de confirmarse este hecho, la cantidad de trazador que se utilizaría sería solamente la mínima necesaria como para producir concentraciones detectables por análisis instrumental en las muestras que se tomaran, y las mediciones se podrían hacer en forma absoluta, lo que ahorraría el muestreo previo a la inyección. Las mismas consideraciones son válidas para el iterbio, el tulio y el europio, aunque la energía gamma de los dos primeros no es tan cómoda para la medición. Todos ellos forman compuestos de coordinación estables.

5.1 PARTE EXPERIMENTAL

Con el objeto de conocer la concentración normal de los elementos seleccionados como posibles trazadores en el medio de su aplicación, se efectuó su determinación usando la técnica de análisis por activación neutrónica.

Las muestras fueron tomadas por personal de la empresa Obras Sanitarias de la Nación. Fueron las fuentes: el Rfo de la Plata, a 5.000 m de la costa; la salida general del líquido cloacal en Berazategui y los arroyos Los Plátanos, Giménez, Santo Domingo, Sarandí, 200 m, 200 m, 500 m y 700 m, respectivamente, antes de su desembocadura en el Rfo de la Plata.

En todos los casos se recogieron volúmenes iguales a intervalos regulares de 30 minutos, durante un día. Las muestras parciales así recolectadas se mezclaron y homogeneizaron y del total se extrajo la muestra final para el análisis. Los sedimentos fueron separados por filtración y el filtrado se mantuvo almacenado a baja temperatura, con el fin de evitar la descomposición de materia orgánica. Se tomaron por muestra dos alícuotas de 50 ml, preparando el standard correspondiente sobre uno de ellos, a la que se agregaron volúmenes conocidos de soluciones patrón de los elementos a ser determinados. Las dos alícuotas fueron llevadas a sequedad por calentamiento en vasos de precipitados tarados; la masa del residuo se determinó por pesada. Una parte de este residuo fue envasado y sellado en ampollas de cuarzo para su irradiación en el reactor RA3, del Centro Atómico Ezeiza, a un flujo aproximado de $2 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Se describe a continuación el esquema adoptado para la determinación de los cinco elementos:

- .- Bromo: las muestras, previamente pesadas en las ampollas de cuarzo, se irradiaron durante 8 h. Luego de cinco días de decaimiento, el contenido de la ampolla se disolvió con agua, en caliente, y se agregaron 20 mg de portador. Se precipitó BrAg por agregado de solución de NO_3Ag ; el precipitado, separado por filtración, fue lavado y secado; luego fue transferido a los recipientes de medición y pesado, con el fin de determinar el rendimiento químico de la separación. Se midieron los rayos gamma de 554 keV y 776 keV de ^{82}Br .
- .- Tungsteno: las muestras se irradiaron durante 8 horas y luego de 24 h de decaimiento, el tungsteno fue separado, por coprecipitación con molibdeno, con o-benzoinoxima. Los detalles del método han sido publicados previamente (1). Los picos de 134 keV, 479 keV y 686 keV de ^{187}W fueron medidos para la determinación. El rendimiento relativo entre muestra y standard fue averiguado por medición del pico de 140 keV de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, hija del ^{99}Mo .
- .- Cromo, cobalto y terbio: los tres elementos fueron determinados en forma instrumental. Las muestras fueron irradiadas durante 24 h y 25 días después de finalizada la irradiación, las ampollas se abrieron y su contenido fue transferido a los recipientes de medición y pesado. Se midieron los picos de energía gamma de 320 keV de ^{51}Cr , 1.332 keV de ^{60}Co y 879 keV de ^{160}Tb .

Todas las mediciones se efectuaron con un detector de Ge(Li) de 80 cm³ y resolución de 2,3 keV para el pico de 1.332 keV de ⁶⁰Co, acoplado a un analizador multicanal de 4096 canales. El cálculo de áreas, según el método de Coveil, y de concentraciones, se realizó mediante un programa preparado para su uso en una computadora de mesa.

6.0 RESULTADOS Y DISCUSION

Como ya se ha mencionado en su fase inicial, el estudio a realizar con trazadores activables estaba destinado a establecer si las descargas de líquido cloacal en la salida general de la cloaca principal, en Berazategui, tenían influencia sobre la contaminación de las aguas en las cercanías de la costa. Los resultados obtenidos en el análisis de las muestras del Río de la Plata, sus arroyos afluentes y el líquido cloacal en el punto de descarga, permitieron efectuar algunas consideraciones sobre la masa hipotética de trazador que debía utilizarse, en función del volumen total de agua de la región en estudio, que había sido calculado previamente en 5×10^{10} litros.

Tal como puede apreciarse en la Tabla II, las diferencias entre los contenidos normales de los elementos ensayados son notables. De acuerdo a estos resultados, bromo y cromo deben descartarse como posibles trazadores, mientras que para los otros tres elementos la situación es mucho más promisorio. Según sus contenidos normales, el orden en que deberían recomendarse sería: Tb, W, Co, pero un orden exactamente inverso resultaría de considerar su disponibilidad y costo. La relación de precios respecto a la cantidad de trazador necesario ubica a los tres en un nivel parejo; nuestra elección recae en el cobalto, que sobre el tungsteno presenta la ventaja de no necesitar separación química para su determinación y sobre el terbio, su mayor disponibilidad, que permite la realización de varios ensayos sucesivos, cuando resulta necesario.

7.0 REFERENCIAS

- (1) R.O. Korob, I.M. Cohen, O.E. Agatiello. J. Radioanal. Chem. 34 (1976), 329.

TABLA I

ACTIVIDAD DE LOS TRAZADORES (EXPRESADA EN NUMEROS DE FOTONES DE LA
ENERGIA INDICADA POR MINUTO Y POR MICROGRAMO DEL ELEMENTO) PARA
DIFERENTES TIEMPOS DE IRRADIACION

Elemento	Nucleido	Periodo	Energía Gamma (keV)	Tiempo de irradiación	Actividad
Na	²⁴ Na	15,0 h	1.368; 2.754	15 h	4,163 x 10 ⁶
Cl	³⁸ Cl	37,3 min	2.168	30 min	2,153 x 10 ⁵
K	⁴² K	12,4 h	1.525	10 h	6,473 x 10 ⁴
Ca	⁴⁷ Ca	4,53 d	1.297	24 h	8,126 x 10 ⁰
Sc	⁴⁶ Sc	83,8 d	889; 1.121	24 h	1,654 x 10 ⁶
Cr	⁵¹ Cr	27,8 d	320	24 h	1,061 x 10 ⁴
Mn	⁵⁶ Mn	2,57 h	847	2,5 h	4,281 x 10 ⁷
Fe	⁵⁹ Fe	45,1 d	1.099	24 h	2,242 x 10 ²
Co	⁶⁰ Co	5,2 a	1.173; 1.332	24 h	8,089 x 10 ⁴
Ni	⁶⁵ Ni	2,52 h	1.482	2,5 h	1,240 x 10 ⁴
Cu	⁶⁴ Cu	12,9 h	1.346	10 h	3,526 x 10 ⁴
Zn (a)	⁶⁵ Zn	243,6 d	1.115	24 h	3,185 x 10 ³
Zn (b)	^{69m} Zn	13,9 h	439	14 h	4,640 x 10 ⁴
Ga	⁷² Ga	14,1 h	834	14 h	4,889 x 10 ⁶
Ge	⁷⁷ Ge	11,3 h	264	11 h	9,984 x 10 ³
As	⁷⁶ As	26,5 h	559	24 h	4,310 x 10 ⁶
Se	⁷⁵ Se	120,4 d	265	24 h	7,473 x 10 ³

Elemento	Nucleido	Período	Energía Gamma (keV)	Tiempo de irradiación	Actividad
Br	^{82}Br	35,5 h	776	24 h	$2,213 \times 10^6$
Rb	^{86}Rb	18,66 d	1.076	24 h	$4,940 \times 10^3$
Sr	^{85}Sr	64 d	514	24 h	$1,904 \times 10^2$
Y	^{90}Y	64 h	1.734	24 h	$4,765 \times 10^3$
Zr	^{95}Zr	65 d	757	24 h	$2,965 \times 10^2$
Mo	^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	66,69 h	140	24 h	$1,534 \times 10^4$
Ru	^{103}Ru	39,6 d	497	24 h	$2,145 \times 10^4$
Pd	^{109}Pd	13,47 h	647	13,5 h	$2,770 \times 10^3$
Ag	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	253 d	658	24 h	$1,749 \times 10^4$
Cd	^{115}Cd ($^{115\text{m}}\text{In}$)	53,5 h	336	24 h	$2,527 \times 10^4$
In	$^{116\text{m}1}\text{In}$	54 min	1.293	54 min	$1,938 \times 10^8$
Sn	^{113}Sn ($^{113\text{m}}\text{In}$)	115,1 d	391	24 h	$1,212 \times 10^2$
Sb (a)	^{122}Sb	2,8 d	564	24 h	$1,444 \times 10^6$
Sb (b)	^{124}Sb	60,3 d	603	24 h	$4,875 \times 10^4$
Te	^{131}Te (^{131}I)	8,07 d	364	24 h	$1,268 \times 10^4$
I	^{128}I	25,08 min	443	25 min	$1,496 \times 10^6$
Cs	^{134}Cs	2.05 a	605	24 h	$7,289 \times 10^4$
Ba (a)	^{131}Ba	12 d	216	24 h	$4,069 \times 10^2$
Ba (b)	^{139}Ba	82,9 min	166	83 min	$7,359 \times 10^4$
La	^{140}La	40,2 h	1.597	24 h	$7,398 \times 10^6$
Ce (a)	^{141}Ce	33 d	145	24 h	$1,347 \times 10^4$

Elemento	Nucleido	Periodo	Energía Gamma (keV)	Tiempo de irradiación	Actividad
Ce (b)	^{143}Ce	33 h	293	24 h	$4,389 \times 10^4$
Pr	^{142}Pr	19,2 h	1.576	19 h	$5,110 \times 10^5$
Nd (a)	^{147}Nd	11,1 d	531	24 h	$4,487 \times 10^3$
Nd (b)	^{149}Nd	1,73 h	211	1,75 h	$4,357 \times 10^4$
Sm	^{153}Sm	46,8 h	103	24 h	$1,137 \times 10^7$
Eu (a)	^{152}Eu	13 a	344	24 h	$2,484 \times 10^5$
Eu (b)	$^{152m1}\text{Eu}$	9,2 h	842	9 h	$2,183 \times 10^8$
Gd	^{159}Gd	18 h	363	18 h	$1,212 \times 10^5$
Tb	^{160}Tb	73 d	879	24 h	$8,397 \times 10^4$
Dy	^{165}Dy	2,3 h	546	2,5 h	$1,864 \times 10^7$
Ho	^{166}Ho	26,9 h	81	24 h	$3,832 \times 10^6$
Er	^{171}Er	7,52 h	308	7,5 h	$5,942 \times 10^5$
Tm	^{170}Tm	128,6 d	84	24 h	$1,254 \times 10^5$
Yb	^{169}Yb	32 d	198	24 h	$1,099 \times 10^5$
Yb	^{175}Yb	101 h	96	24 h	$4,264 \times 10^5$
Lu (a)	^{176m}Lu	3,7 h	88	4 h	$2,747 \times 10^6$
Lu (b)	^{177}Lu	6,7 d	208	24 h	$1,406 \times 10^4$
Hf	^{181}Hf	42,4 d	482	24 h	$1,208 \times 10^5$
Ta	^{182}Ta	115 d	68	24 h	$1,131 \times 10^5$
W	^{187}W	24 h	686	24 h	$3,302 \times 10^6$
Re (a)	^{186}Re	90 h	137	24 h	$1,267 \times 10^6$

Elemento	Nucleido	Período	Energía Gamma (keV)	Tiempo de irradiación	Actividad
Re (b)	^{188}Re	16,7 h	155	17 h	$7,893 \times 10^6$
Os	^{191}Os	15 d	129	24 h	$4,935 \times 10^4$
Ir	^{192}Ir	74 d	316	24 h	$5,263 \times 10^5$
Pt	^{199}Pt (^{199}Au)	3,15 d	158	24 h	$7,933 \times 10^4$
Au	^{198}Au	2,69 d	412	24 h	$3,938 \times 10^7$
Hg (a)	^{197}Hg	65 h	78	24 h	$3,684 \times 10^5$
Hg (b)	^{203}Hg	46,57 h	279	24 h	$3,170 \times 10^4$

TABLA II

CONCENTRACION DE LOS ELEMENTOS EN LAS MUESTRAS DE AGUAS. (EXPRESADAS EN $\mu\text{g/l}$)

Muestra	Br	W	Cr	Co	Tb (*)
Rfo de la Plata	57 $\pm$ 1	0,53 $\pm$ 0,04	9,8 $\pm$ 0,3	0,21 $\pm$ 0,02	no detectado
*Arroyo Los Plátanos	810 $\pm$ 10	0,96 $\pm$ 0,05	27 $\pm$ 1	0,33 $\pm$ 0,02	no detectado
Arroyo Giménez	510 $\pm$ 6	0,74 $\pm$ 0,06	11,6 $\pm$ 0,7	0,50 $\pm$ 0,02	no detectado*
Arroyo Sarandí	1.320 $\pm$ 20	0,42 $\pm$ 0,01	310 $\pm$ 9	2,7 $\pm$ 0,1	no detectado
Arroyo Santo Domingo	1.180 $\pm$ 10	0,91 $\pm$ 0,04	940 $\pm$ 30	3,0 $\pm$ 0,1	no detectado
Líquido cloacal	730 $\pm$ 20	---- (**)	23,4 $\pm$ 0,5	2,78 $\pm$ 0,07	no detectado

(*) Se calculó un límite de determinación de 0,05 $\mu\text{g/l}$ para Tb, de acuerdo a los datos proporcionados por el standard

(**) No fue determinado

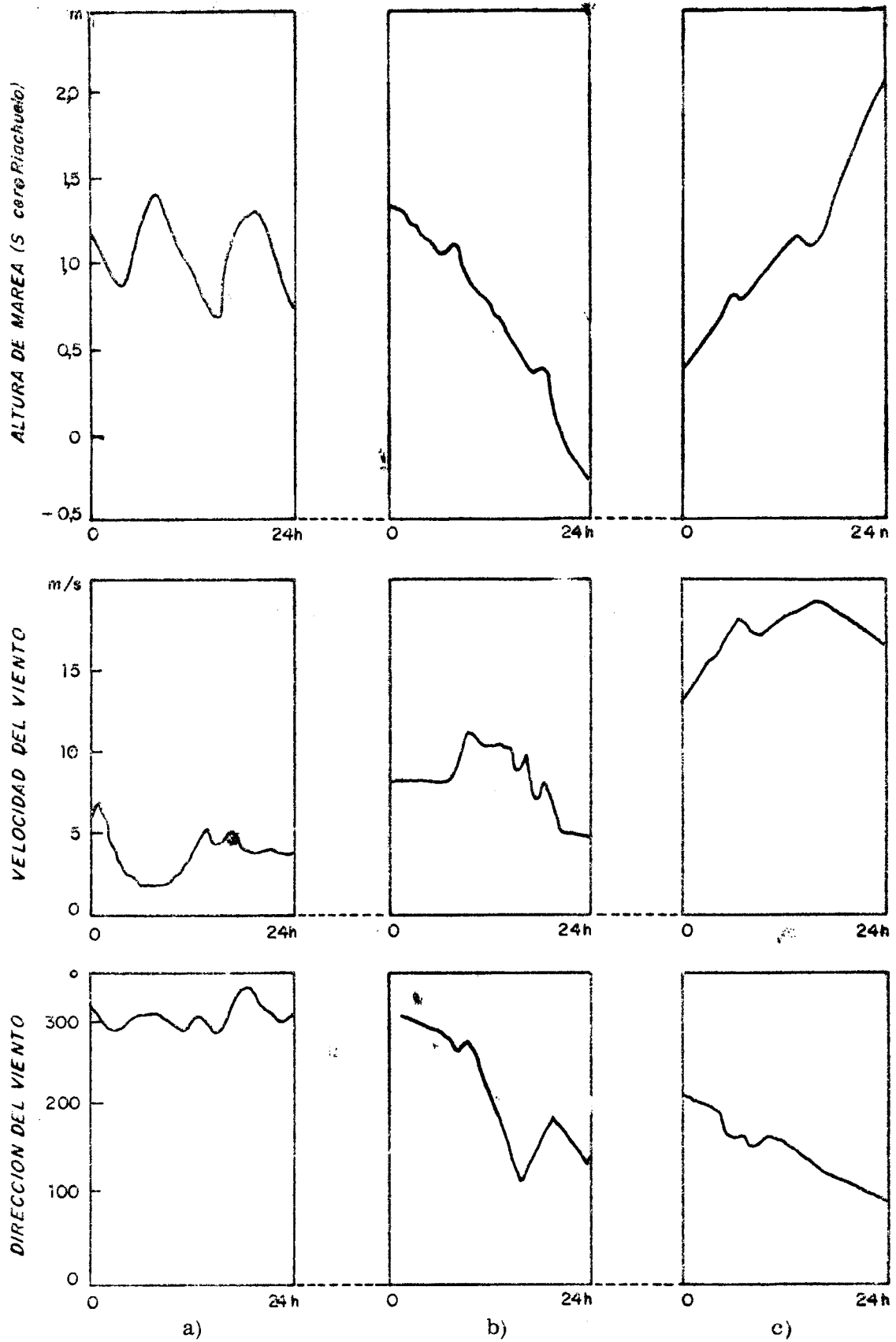


Fig. 1 Altura de mareas, velocidad y dirección de vientos en el Rfo de la Plata en tres días con características hidrometeorológicas consideradas de interés en un ensayo con trazadores.