

TÉCNICAS DE SENSADO REMOTO APLICADAS AL ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS. CASO DEL SISTEMA RIACHUELO – RIO DE LA PLATA

Alberto Pochettino^{1,2}, Alicia Vignolo³ y Daniel Cicerone^{1,2}

¹ Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de San Martín. Belgrano 3563. 1650 San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina

² Gerencia de Química, Comisión Nacional de Energía Atómica, Avda. Gral. Paz 1499, (1650) San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

³ Subgerencia de Informática y Comunicaciones, Comisión Nacional de Energía Atómica, Avda. Gral Paz 1499, (1650) San Martín, P. Bs.As., Argentina

Resumen

Las firmas espectrales de las aguas del Riachuelo y del Río de la Plata fueron determinadas a partir del análisis de imágenes del satélite Landsat VII y validadas utilizando un índice de calidad del agua y las características químicas del material particulado suspendido en el agua. Estos resultados fueron luego utilizados para evaluar el impacto de las aguas contaminadas del Riachuelo en su desembocadura en el Río de la Plata bajo distintas condiciones hidrometeorológicas del sistema.

Introducción

La cuenca del Matanza-Riachuelo ocupa una superficie de 2034 Km², fluyendo aproximadamente 80 Km antes de desembocar al Río de la Plata y es conocida por poseer un fuerte deterioramiento ambiental. Se estima que más de 4,6 millones de personas vive en dicha región si se incluyen las zonas vecinas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de 11 Partidos de la Provincia de Buenos Aires.

Históricamente, la cuenca ha recibido contaminantes provenientes de efluentes industriales no procesados y de cloacas, los que actualmente representan un valor aproximado al 2/3 del flujo del Riachuelo. Más del 50% de la población vecina no está conectada a redes cloacales y 800 empresas descargan diariamente 885000 m³ de efluentes industriales (80 de ellas producen el 90% de los líquidos) siendo responsables del 51% de la materia orgánica presente en el curso de agua [1]. Metales pesados como mercurio, plomo y cromo, materia orgánica, nitrato, nitrito y amoníaco se encuentran presente entre los mayores contaminantes [2].

Las técnicas de sensado remoto han sido utilizadas por diferentes autores para el análisis de aguas con sedimentos turbios [3-6]. En general, los trabajos existentes corresponden

al monitoreo de zonas costeras que son afectadas por tareas humanas, permitiendo así el desarrollo de políticas de prevención a largo término. También existen considerables avances en la utilización de imágenes satelitales y modelos para la caracterización de propiedades físicas, químicas y biológicas de las aguas costeras (por ej. temperatura, turbidez, clorofila, biomasa, etc). En el caso de de aguas de estuarios, como el del Río de la Plata, el análisis de las señales remotas es complicado debido a la presencia de materia orgánica coloreada, sedimentos suspendidos, fitoplancton y componentes químicas de efluentes industriales y municipales expuestos, todos ellos, a cambios temporales y espaciales. En trabajos previos hemos determinado el impacto del Arroyo Medrano en el Río de la Plata (RP) utilizando información de imágenes satelitales y un conjunto de parámetros físico-químicos del área estudiada [7-8]. Las aguas contaminadas del Arroyo Medrano que desembocan en el RP disminuyen la calidad de sus aguas o su aptitud para el uso humano (como fuente de agua para consumo).

En este trabajo, hemos determinado las firmas espectrales de las aguas del RI y del RP en la zona correspondiente a la desembocadura del primero de ellos. Hemos validado dichas firmas utilizando un índice de calidad del agua, el que fue calculado utilizando un conjunto de 20 parámetros físico-químicos y también mediante la firma química del material particulado suspendido en las aguas. Estos resultados fueron luego utilizados para evaluar el impacto de las aguas contaminadas del RI en su desembocadura en el RP, considerando diferentes condiciones hidro-metereológicas del sistema bajo estudio.

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción del sitio

La Figura 1 muestra el sitio estudiado, el cual se encuentra ubicado en la desembocadura del RI. Diferentes actividades antropogénicas se llevan a cabo en esta área, mostrando diferente clase de usuarios final del cuerpo de agua. Por ejemplo, el barrio de Barracas, indicado con (a) en la Fig. 1, es una región densamente poblada (9500 habitantes/Km²) con desarrollo industrial (alimentación, metalmecánica, cueros). El sitio denominado Vuelta de Rocha (b) concentra actualmente la atención de turistas que visitan el barrio de La Boca. Dos canales arriban al Riachuelo en la zona de su desembocadura. Uno proviene del norte y se encuentra indicado con (c); este canal recibe agua del RP a través de los viejos docks del Puerto de Buenos Aires, actualmente transformado en otra atracción turística (Puerto Madero). El otro afluente llega del barrio de Dock Sud (d), zona transformada en un polo industrial con industria petroquímica y refinería de petróleo, contribuyendo con un importante nivel de contaminación. En la ribera izquierda de la desembocadura del RI también se encuentra una planta de generación termoeléctrica (e).

2.2. Evaluación de la calidad del agua

La fig. 2 muestra los sitios de muestreo (S_x, donde x indentifica al número del sitio) para la evaluación de la calidad del agua. Se recogieron muestras de aguas en tres campañas realizadas en Octubre de 2004, Mayo de 2005 y Setiembre 2006 coincidentes con el pasaje sobre el área y la obtención de imagen por parte del satélite Landsat 7 TM. Los parámetros físico-químicos del agua estudiados fueron: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, penetración de la luz, alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos, amoníaco, sulfuros, sulfatos, fosfatos, chlorides, cromo, plomo, mercurio, cadmio y cobre. A partir de los datos obtenidos sobre estos parámetros físico-químicos, se calculó el Índice de Calidad del Agua (WQI) de Martínez de Bascaron [9-10]:

$$WQI = K \quad C_i P_i / \quad P_i \quad (1)$$

Donde C_i es un valor porcentual asignado a cada parámetro “i” utilizado para evaluar la calidad del agua, P_i es el factor de peso asociado y K una constante.

Por otra parte, el material particulado suspendido en las aguas del RI y del RP fue analizado utilizando Espectroscopía de Rayos X Dispersiva en Energía utilizando un Microscopio Electrónico de Barrido Medioambiental FEI Quanta 200 equipado con analizador EDAX.

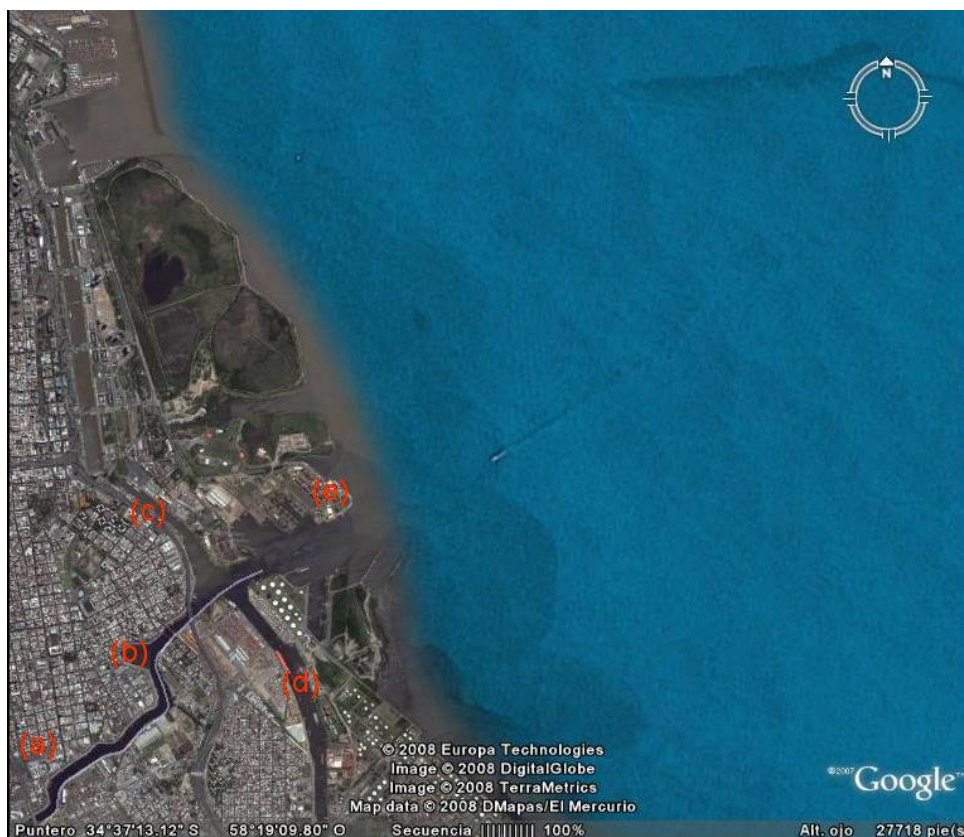


Figura 1: Imagen Google-Heath de la desembocadura del Riachuelo en el Río de la Plata: (a) Barrio de Barracas, (b) Vuelta de Rocha, (c) Dársena Sur, (d) Dock Sud, (e) Usina Termoeléctrica.

2.3. Procesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes utilizadas en este trabajo corresponden al satélite Landsat VII, provistas por CONAE en el marco de un Convenio de Cooperación. Las firmas espectrales se determinaron a partir del procesamiento de información de cuatro bandas del satélite: tres bandas pertenecen al espectro electromagnético visible (L1: 450-515 nm, L2: 525-605 nm y L3: 630-690 nm) y la cuarta corresponde a la primera banda del infrarrojo (L4 – 750-900 nm). Para el análisis de los resultados se estableció una relación cuantitativa entre la radiancia medida por el satélite en cada píxel (que corresponde a una resolución de $30 \times 30 \text{ m}^2$) y la reflectancia de los ríos a nivel de la superficie de la tierra. Esto se realizó considerando las características del sensor del satélite, la señal que llega del blanco en estudio, la posición del sol y del satélite (pase cada 16 días alrededor de las 13.30hs. – local de invierno- aproximadamente) y los efectos dispersivos producidos por los componentes de la atmósfera y los aerosoles presentes en la misma.

La medida radiométrica que realizan los sensores del satélite corresponden a la radiancia L^* ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$) para una longitud de onda media de la banda en estudio. Esta radiancia puede escribirse como:

$$L^*(\lambda) = A(\lambda) \cdot DN(\lambda) + B(\lambda) \quad (2)$$

Donde $DN(\lambda)$ son los números digitales registrados por los sensores y $A(\lambda)$ y $B(\lambda)$ son constantes características de calibración de los sensores, las cuales son provistas por NASA.

Para cada banda de observación, las medidas de L^* pueden transformarse en comúnmente utilizada Reflectancia “Top of atmosphere (TOA)” R^* (adimensional):

$$R^*(\lambda) = \frac{\pi \cdot L^*(\lambda)}{E(\lambda) \cdot \cos \theta_s} \quad (3)$$

Donde $E(\lambda)$ es la irradiancia solar en el TOA (en $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$) y θ_s corresponde al ángulo del sol al zenith.

Bajo hipótesis de scattering simple, la ecuación fundamental relacionando la reflectancia TOA con la reflectancia del blanco en estudio $R_w(\lambda)$ (adimensional) puede expresarse como la suma de las contribuciones atmosféricas y del agua:

$$R^*(\lambda) = R_{aer}(\lambda) + R_{ray}(\lambda) + T(\lambda) \cdot R_w(\lambda) \quad (4)$$

Donde $R_{aer}(\lambda)$ y $R_{ray}(\lambda)$ son los valores de la radiancia, medida por el detector del satélite, asociados a la dispersión atmosférica (aerosoles y Rayleigh respectivamente) y $T(\lambda)$ es la transmitancia atmosférica. La resolución de esta ecuación se realiza utilizando una corrección por fondo oscuro (o “path radiation”) que permite determinar para cada banda los valores de la radiancia correspondientes al efecto de la dispersión atmosférica y $T(\lambda)$ se evalúa utilizando una aproximación basada en la citada corrección [11]. Para facilitar la comparación de nuestros resultados con los existentes en la literatura, los presentaremos como valores de Reflectancia de Sensado Remoto (en unidades de sr^{-1}):

$$R_{rs}(\lambda) = R_w(\lambda) / \quad (5)$$

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización y calidad del agua

La Figura 2 muestra los valores del índice de calidad del agua correspondiente a los sitios de muestreo en el RI y el RP. En el caso del Sitio S01, el agua analizada tiene solamente el 16% de la calidad requerida por la legislación argentina para ser considerada como fuente de agua potable después de un tratamiento convencional [12]. Los valores del índice aumentan lentamente hasta cerca del 50% en la medida que las aguas del RI se mezclan con las del RP (sitios S06 y S14), creciendo luego hasta alcanzar un 91% en el sitio S11, distante aproximadamente 2000 m de la desembocadura. El sitio S05 muestra la entrada de agua del RP a través de los viejos Docks de Buenos Aires y el sitio S04 pone de manifiesto el impacto de las actividades de Dock Sud.

Las determinaciones realizadas mediante EDAX ponen de manifiesto que el material suspendido en las aguas del RI y del RP es producto de la erosión natural del suelo de sus respectivos lechos y del desarrollo de actividades antropogénicas. Los suelos del lecho del sistema Matanza-Riachuelo pueden ser clasificados como arcillosos con un importante contenido de materia orgánica. La contaminación antropogénica proviene de actividades industriales y municipales y tiene asociada importantes concentraciones de P, S, Ca y Mg en los sedimentos del RI ($255 < P < 2500$; $122 < S < 30599$; $4840 < Ca < 34000$; $1630 < Mg < 11000$

ppm) [2]. La materia particulada suspendida en el RP está compuesta por materiales de diferentes orígenes con predominio de limos y arcillas originarias de los ríos Paraná y Uruguay

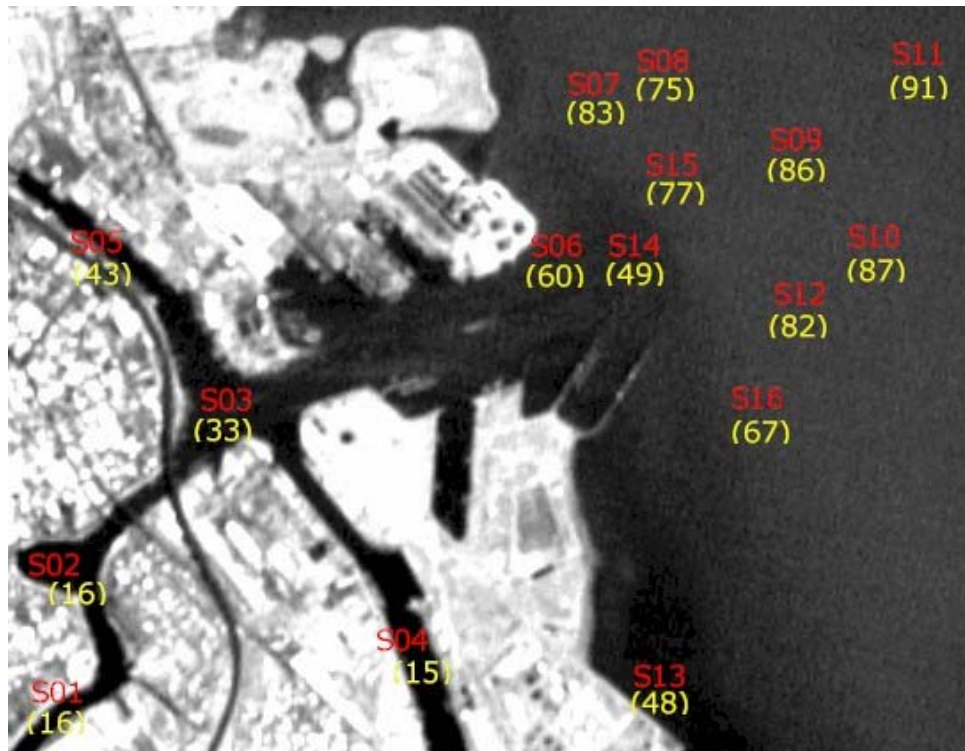


Figura 2: Sitios de muestreo (en rojo) para la campaña realizada en Octubre de 2004. Los índices de calidad de agua son presentados entre paréntesis y en color amarillo.

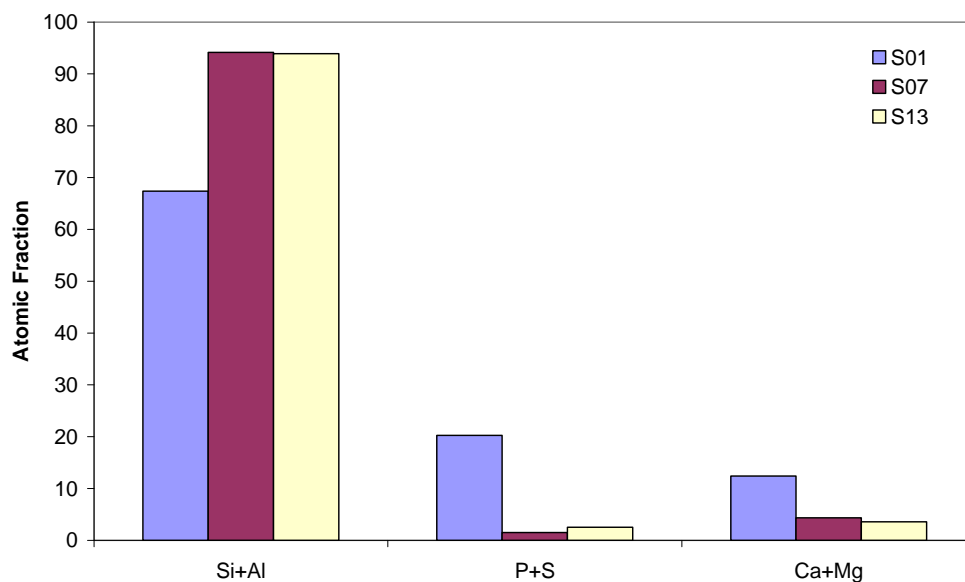


Fig. 3: Porcentaje atómico de Si+Al, P+S y Ca+Mo en el material particulado suspendido en las aguas correspondientes a los sitios S01, S07 y S13. Valores medios correspondientes a las campañas de medidas realizadas en Octubre 2004, Mayo 2005 y Setiembre 2006.

[12-13]. Estos provienen de la erosión de los suelos altamente evolucionados de la cuenca alta de dichos ríos, son bajos en bases (Ca, Mg), ricos en silicatos de sodio y potasio y óxidos de hierro [14]. Las diferencias citadas son observadas en las determinaciones utilizando el EDAX del Microscopio de Barrido Ambiental para las muestras de las diferentes campañas (Octubre 2004, Mayo 2005 y Setiembre 2006), Fig. 3. Los resultados obtenidos indican que:

- las muestras del sitio S01 poseen una alta fracción de átomos de (P + S), una importante cantidad de (Ca + Mg) y bajo contenido de (Si + Al), lo cual corresponde a las características de la cuenca del RI.

- Las muestras de los sitios S07 y S13, correspondientes al RP, poseen un alto contenido de (Si + Al), una razonable fracción de (Ca + Mg) y muy bajo contenido de P y S.

Estos resultados, diferenciando la composición del RI y del RP, permiten validar las determinaciones de firmas espectrales de ambos ríos.

3.2. Firma Espectral del Riachuelo y del Río de la Plata

El comportamiento de los valores de Reflectancia de Sensado Remoto (Rrs) para las bandas analizadas en los sitios de muestreo ponen en evidencia notorias diferencias entre la firma espectral del RP y de su afluente RI. La Fig. 4 muestra los valores de Rrs correspondientes a las Bandas L1, L2, L3 y L4 asociadas a los sitios de muestreo S01 y S09 (ver Fig. 2). El primer sitio corresponde a un lugar típico en el Riachuelo (Vuelta de Rocha) y el segundo está ubicado en el Río de la Plata. Las bandas representadas con los valores de Rrs corresponden a resultados asociados a diferentes imágenes satelitales obtenidas durante un período de tres años (Mayo 2004 a Mayo 2007).

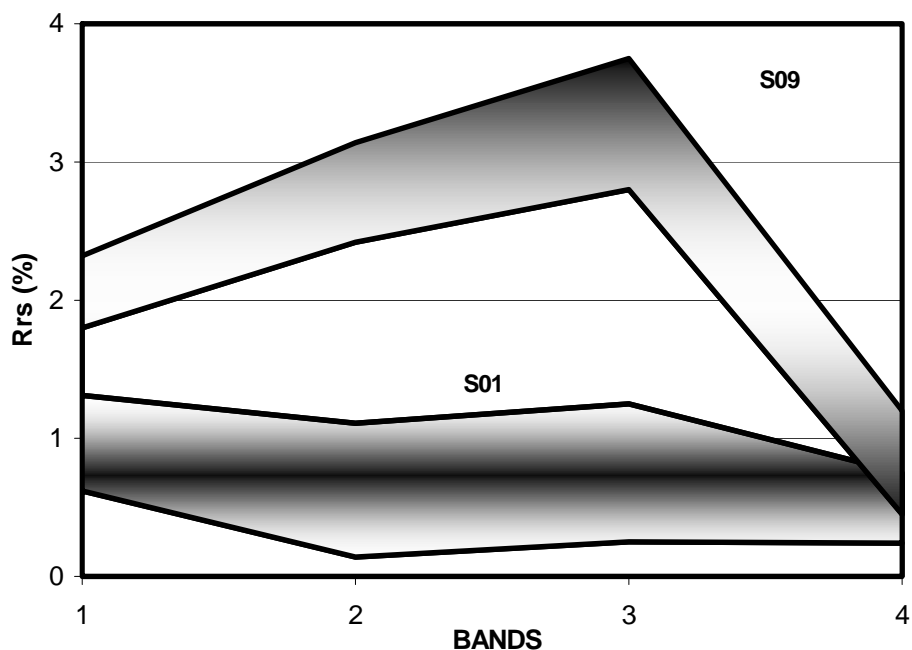


Fig. 4: Firmas espectrales correspondientes a los sitios S01 (Riachuelo) y S09 (Río de la Plata)

Los valores de Rrs asociados a la firma espectral del RP (S09) se encuentran en buen acuerdo con los obtenidos por otros autores para caracterizar las firmas espectrales de aguas con turbidez

[3-6]: en general los valores de Rrs asociados a las bandas L2 y L3 son mayores que los correspondientes a las bandas L1 y L4, con mínimos asociados a esta última banda. En el caso

de la firma espectral del Riachuelo (S01), los valores de Rrs presentan un comportamiento completamente diferente a los descriptos previamente. Esto permite asignar a cada río una firma espectral, para lo cual podemos aplicar las siguientes reglas para las Reflectancias de Sensado Remoto (R_{Li}^{Rx}) para las diferentes bandas de observación (Li) correspondientes al RP y al RI:

- a) Regla General: $R_{1}^{RP} > R_{1}^{RI}$; $R_{2}^{RP} > R_{2}^{RI}$; $R_{3}^{RP} > R_{3}^{RI}$ and $R_{4}^{RP} > R_{4}^{RI}$
- b) Para el Río de la Plata: $(R_{2}^{RP}, R_{3}^{RP}) > R_{1}^{RP} > R_{4}^{RP}$
- c) Para el Riachuelo $R_{1}^{RI} > (R_{2}^{RI}, R_{3}^{RI}) > R_{4}^{RI}$.

Estas reglas nos permiten diferenciar las aguas del RP de las de su afluente, el RI, las que están contaminadas por compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, introducidos principalmente por actividades antropogénicas. La Fig. 4 también pone en evidencia que esta contaminación produce una alta absorción de fotones en las bandas L1, L2 y L3 del Landsat VII. Es también importante remarcar que, en general, los resultados de la banda L4 no permiten reconocer claramente las diferencias entre las composiciones de los dos cuerpos de agua.

La Fig. 5.a-b muestran, respectivamente, la distribución de los valores de R_{Li}^{RI} y de R_{Li}^{RP} correspondiente a una imagen Landsat 7 tomada el 28/10/2004 y las condiciones hidrometeorológicas de dicha fecha. Estos valores están asociados a sitios que representan típicamente los comportamientos del Riachuelo (S01, S02, S03 y S05) y del Río de la Plata (S07, S09, S11 y S15). El sitio de muestreo S06, ubicado en la desembocadura del RI en el RP presente en este caso una firma espectral del tipo RP.

La Fig. 6 presenta la distribución de niveles de Rrs correspondientes a la Banda L3 para la zona en estudio el 28/10/2008. A fin de mejorar la calidad de la imagen, la representación es realizada sobre una imagen geo-referenciada Google-Earth. Se puede observar que existe un buen acuerdo entre las regiones definidas por los diferentes niveles de Rrs y los valores de WQI determinados para dicha fecha. En efecto, comparando la Fig. 2 con la Fig. 6, se encuentra que bajos valores de Rrs, ($Rrs(L3) < 1$), correspondientes al Riachuelo, están asociados a las áreas más contaminadas de dicho río (bajo WQI). Por otra parte, altos valores de reflectancia ($Rrs(L3) > 2.8$) pueden ser asociados con altos valores de WQI ($WQI > 0.7$), los que se observan hacia el interior del RP. Los valores de Rrs(L3) tales que $1 < Rrs(L3) < 2.8$ pueden asociarse a zonas donde existe el mezclado de las aguas de ambos ríos.

También puede observarse que no existe una importante zona “de mezcla” entre las aguas de los dos ríos. Este resultado puede ser explicado de la siguiente forma: la marea en baja asociada al viento de la mañana del sector NW (Fig. 5.b) debería “empujar” las aguas del RI hacia el interior del RP. Sin embargo, la bajante es muy lenta, lo cual no facilita este proceso y cuando hacia el mediodía (previo a la hora de pasaje del satélite) el viento rota hacia el NE, se detiene la evolución de la pluma de contaminantes del RI en el RP, se reorienta hacia el SE y es transportada hacia la costa ($WQI(S13)=48$). El RP avanza entonces hacia el RI, dando como resultado una zona de mezclado relativamente pequeña.

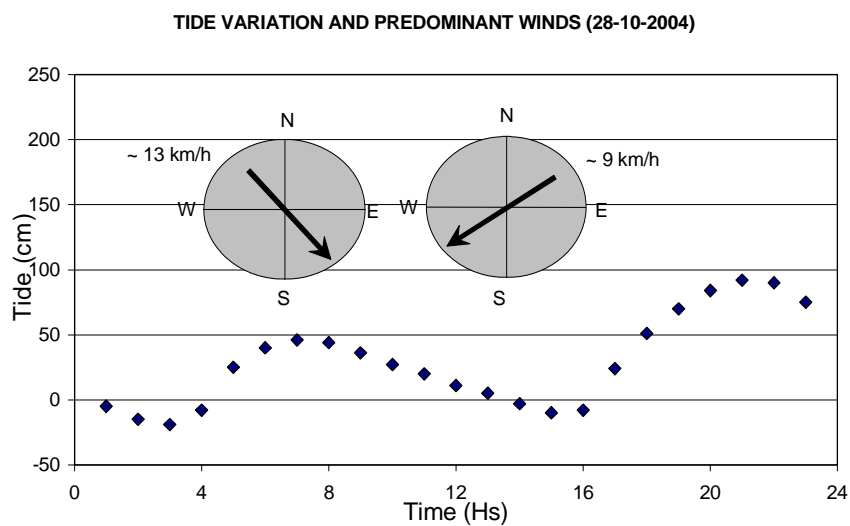
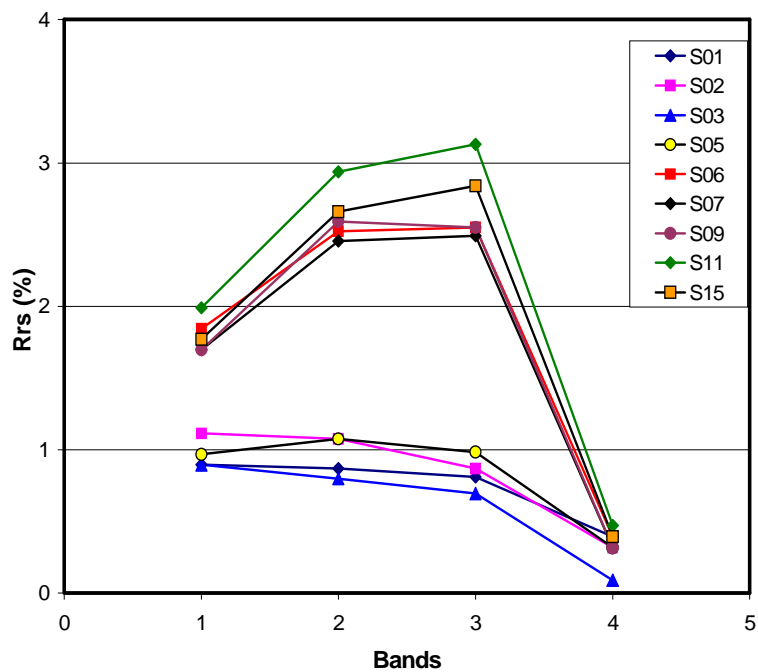


Fig. 5 (a-b): Resultados del 28/10/2004 correspondientes a la distribución de valores de R_{Li}^{RP} y de R_{Li}^{RI} obtenidos de la imagen del Landsat 7 el 28/10/2004 y a las variaciones de la marea del RP y los vientos predominantes durante dicho día respectivamente.



Figura 6: Representación sobre una imagen Google-Earth geo-referenciada de diferentes los niveles asociados a $Rrs(L3)$, correspondientes a la imagen Landsat 7 del 28/10/2004. Los índices de calidad de agua están indicados en color verde.

En otras ocasiones, la distribución de valores de reflectancia pone en evidencia la existencia de situaciones más complejas, como las que se ejemplifican en las Figs. 7 a 10. Ellas corresponden a imágenes Landsat VII tomadas el 16/01/2005 y el 17/02/2005 respectivamente.

La Fig. 7.a muestra que los valores de Rrs correspondientes a las bandas L2 y L3 asociadas a los sitios S03, S05 y S06 corresponden a valores intermedios entre aquellos asociados a las aguas del RI y el RP. En este caso, se puede hacer referencia a una situación de “mezcla de aguas” de ambos ríos en la zona citada. Este hecho también es puesto en evidencia por las curvas de nivel de la banda L3 presentados en la Fig. 8. Puede observarse que $1 < Rrs(L3) < 2$ en la zona de encuentro de los canales de Puerto Madero y Dock Sud (S03) y en las zonas asociadas a los sitios en estudio (S05 y S06) así como una zona de mezclado ($1 < Rrs(L3) < 2.8$) con mayor predominancia de aguas del RI que en el caso anterior.

Este resultado también puede ser explicado como una consecuencia de las condiciones meteorológicas y de la marea del sistema hidrológico bajo estudio. En la Fig. 7.b se puede observar que, al comienzo del día existió una inusual marea alta que fue disminuyendo a lo largo de la jornada del 16/01/2005. El incremento de la marea permitió una importante penetración de las aguas del RP en el RI. Con posterioridad, la bajante, favorecida por los vientos predominantes del sector NO, fue muy notoria. La suba de la marea esperada alrededor del mediodía solamente mostró como resultado un “plateau”. Todo este proceso hace que, las aguas del RP que habían penetrado previamente en el curso del RI, al descender en forma conjunta se “mezclen”. En particular, este hecho también podría haber sido favorecido por la estabilidad de la altura de marea en la zona del “plateau”, la que ocurrió alrededor de la hora de

pasaje del satélite. Posteriormente, el nivel de la marea toma su valor más bajo alrededor de las 20hs, momento en que se restablece el ciclo de marea alta y baja.

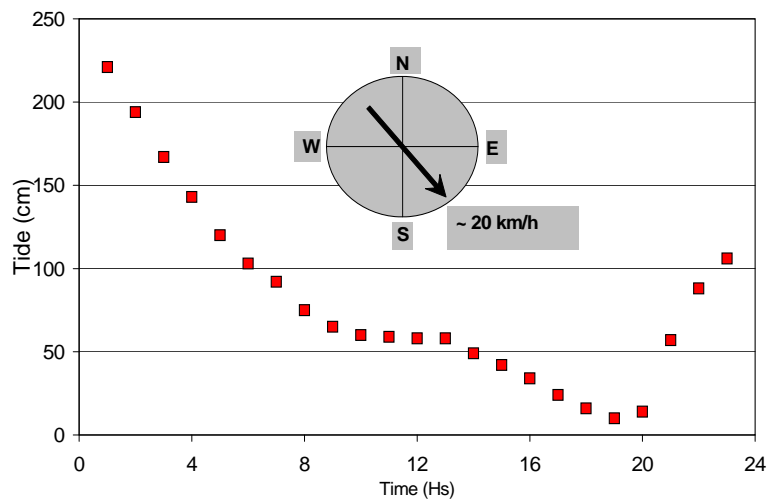
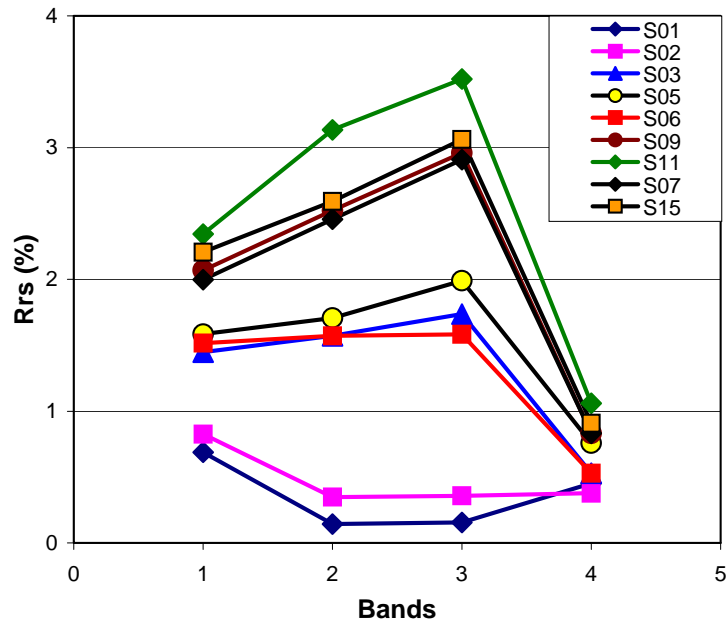


Fig. 7: a) Distribución de valores de Reflectancias de Sensado Remoto para diferentes sitios de muestreo en el RI y el RP correspondientes al 16/01/2005. Los sitios de muestreo coinciden con los utilizados el 28/10/2004. b) Valores de la altura de marea del RP y vientos predominantes dicho día.

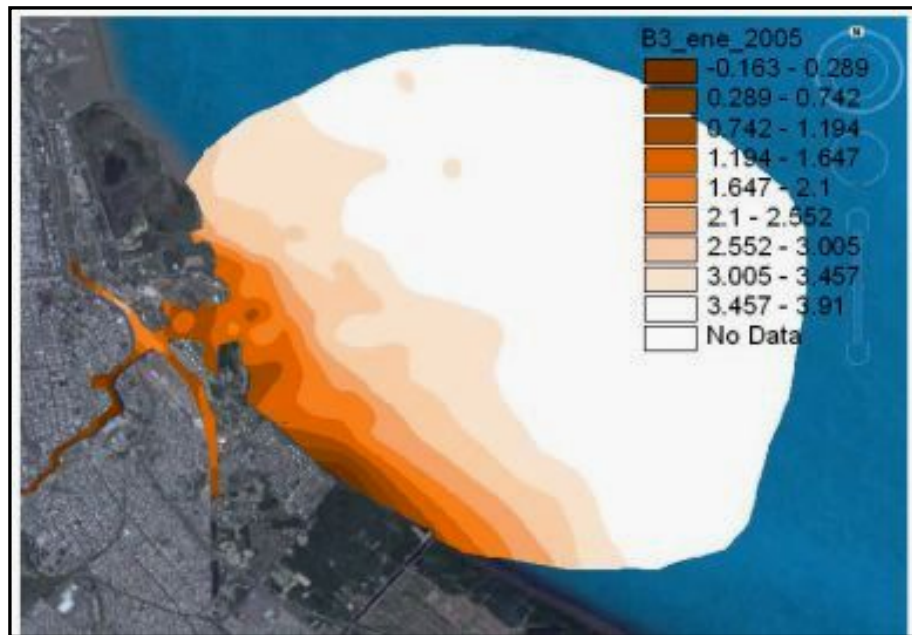


Fig. 8: Representación sobre una imagen Google-Earth georeferenciada de diferentes niveles de Rrs(L3) correspondientes a la imagen Landsat 7 del 16/01/2005.

Las Figs.9 (a y b) corresponden a datos registrados por Landsat VII y a los registros de marea y vientos del 17/02/2005 respectivamente. Estos corresponden a condiciones de marea alta del Río de la Plata. Puede observarse que la firma espectral de las aguas en los sitios S05 y S06 tienen un comportamiento tipo RP, mientras que para la posición S03 (encuentro del RI con los canales de Puerto Madero y Dock Sud) la firma corresponde a la de una “mezcla de aguas”. También, de la Fig. 10, se puede concluir que en la zona de mezclado de aguas predomina la del RP. Dos hechos son coincidentes para explicar este resultado: a) la penetración del RP en el RI durante el incremento del nivel de las aguas; la marea del RP se encontraba creciendo hasta la hora de paso del satélite. b) El viento en la dirección NE-SW, que soplabla durante la jornada, favorecía la entrada de las aguas del RP por el canal norte proveniente de Puerto Madero. Esto permitía el incremento de los valores de reflectancia en S05 y el mezclado observado en la posición S03.

Del análisis de las Figs. 6, 8 y 10 se puede observar que, como consecuencia de las condiciones hidro-metereológicas:

- El RI en su desembocadura y zonas cercanas puede presentar efectos de “mezcla de aguas” con el RP, los que son puestos de manifiesto por los valores de la Reflectancia de Sensado Remoto de la Banda L3. Esto introduce desplazamientos del límite entre el RI y la zona de mezcla de aguas, aunque en la zona de Vuelta de Rocha (S02) el nivel de contaminación del RI prácticamente no se altera.
- El límite entre el RP y la zona de “mezcla de aguas” no sufre demasiadas alteraciones, aunque las condiciones hidro-metereológicas son importantes para el predominio de las aguas de uno u otro río en el mezclado.

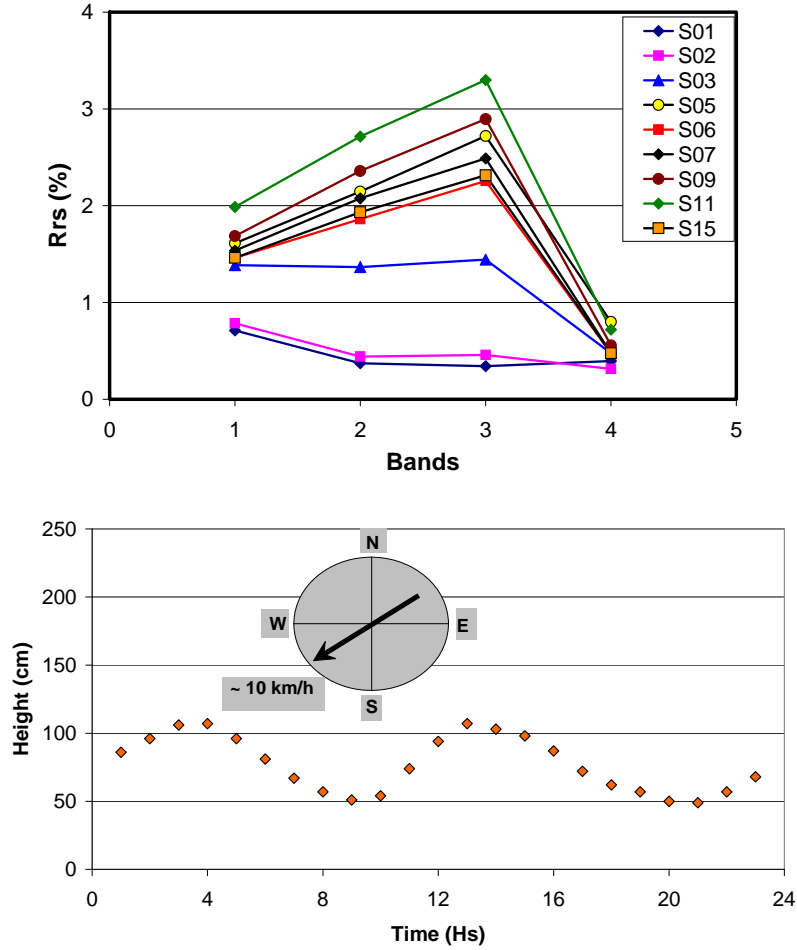


Fig. 9: a) Distribución de valores de R_{Li}^{RP} y de R_{Li}^{RI} para el RI y el RP correspondientes al 16/01/2005; b) Mareas y vientos predominantes dicho día.

IV. CONCLUSIONES

Los valores de las reflectancias asociados de las bandas L2 y L3 del satélite Landsat VII definen claramente las firmas espectrales del Riachuelo y del Río de la Plata. Ellos han sido utilizados para delinear el impacto del RI sobre el RP. Estos datos han permitido definir zonas de mezclado de aguas, las cuales cambian en el tiempo como consecuencia de las condiciones hidrometeorológicas.

La definición de las firmas espectrales de ambos ríos han permitido formular las siguientes reglas para los valores de las Reflectancias de sensado remoto (R_{Li}^{Rx}) para las bandas de observación (Li):

- Regla general: $R_1^{RP} > R_1^{RI}$; $R_2^{RP} > R_2^{RI}$; $R_3^{RP} > R_3^{RI}$ and $R_4^{RP} > R_4^{RI}$
- Para el Río de la Plata: $(R_2^{RP}, R_3^{RP}) > R_1^{RP} > R_4^{RP}$
- Para el Riachuelo $R_1^{RI} > (R_2^{RI}, R_3^{RI}) > R_4^{RI}$.

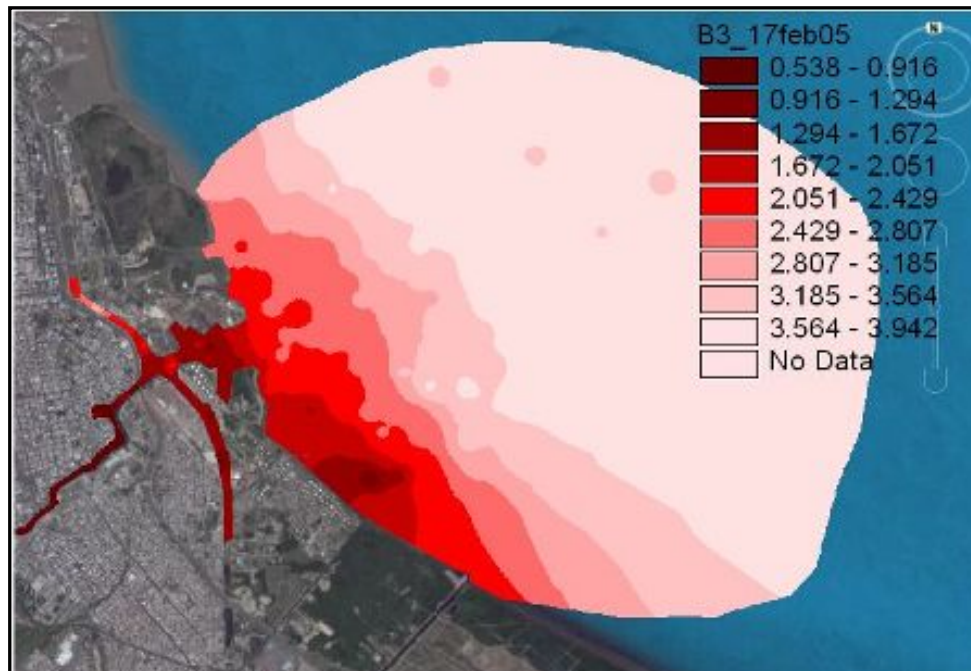


Fig.10: Representación de diferentes niveles de la Banda L3 correspondientes a la imagen Landsat 7 del 17/02/2005.

Las firmas espectrales fueron validadas por:

a) la evaluación de la calidad de agua utilizando un índice de calidad que mostró que los contaminantes antropogénicos disminuyen severamente la aptitud para el uso del RI (16% de calidad como fuente para agua potable) y también del RP en la desembocadura del RI. La distribución de las intensidades de los valores del índice WQI están en un buen acuerdo cualitativo con los correspondientes a las reflectancias correspondientes a la banda L3 del Landsat 7.

b) La composición química del material particulado en suspensión definida a través de la composición de átomos de (Si+Al), (P+S) y (Ca+Mg). El RI es el más rico en compuesto de P y S (elementos típicos de material orgánico) con un importante contenido de Ca y Mg, características químicas de los suelos de la cuenca Riachuelo-Matanza. Por otra parte, el RP presenta el contenido más bajo de P y S, contenido moderado de Ca y Mg y altos valores de Si y Al.

Todos estos resultados ponen de manifiesto que la información primaria provista por las imágenes del Satélite Landsat VII puede contribuir significativamente al desarrollo de modelos de dispersión de contaminantes en la llamada “Franja Costera Sur del Río de la Plata”, la cual es la mayor fuente de agua potable en el Area Metropolitana Buenos Aires. En particular, se señalan las variaciones de composición que puede sufrir las aguas del RI en la zona de su desembocadura, y la variación de la influencia de cada río en la composición del mezclado de aguas en función de las condiciones hidro-metereológicas.

REFERENCIAS

1. DPN, 2005. Matanza-Riachuelo: La Cuenca en Crisis. I y II Parte.
2. SRNyAH, INCyTH, KFA, 1993. Monitoreo de Metales Pesados, Elementos Tóxicos y Potencialmente Tóxicos en la Cuenca Matanza-Riachuelo.
3. Yu-Hwan, A., Shanmugam, P., Hyung Ryu, J., 2004. "Atmospheric correction of the Landsat satellite imagery for turbid waters", *Gayana* **68** (2) supl.t.I. Proc.Concepción.
4. Doxaran, D., Froidefond, J.M., Lavender, S.L., Castaing, P., 2002. Spectral signature of highly turbid waters. Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. *Remote Sens. Environ.* **81**, 149-161.
5. Doxaran, D., Froidefond, J.M., Castaing, P., 2002. A reflectance band ratio used to estimate suspended matter concentrations in coastal sediment-dominated waters. *Int. J. Remote Sens.* **23**, 5079-5085.
6. Doxaran, D., Froidefond, J.M., Castaing P., 2002, Remote sensing reflectance of turbid sediment-dominated waters. Reduction of sediment type variations and changing illumination conditions effects by use of reflectance ratios,. *Applied Optics*, , 42, No 15, 2623-2634.
7. Cicerone, D., 2004. Taller Ambiental: El Arroyo Medrano. Daniel S Cicerone (Ed.). Jorge Baudino Ediciones-UNSAM, Buenos Aires, Argentina. 76 pp. ISBN N° 987-9020-49-9.
8. Vignolo, A., Pochettino, A., Cicerone, D., 2006. Water Quality Assessment using remote sensing techniques: Medrano Creek, Argentina. *Journal of Environmental Management* **81**, 429-433.
9. Conesa Fernández-Vítora, V., 1997. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Anejo 3, III, pág. 200-203.
10. Fraire, B. 2005. Aplicación de los Índices de Calidad de Agua para la Gestión de la Contaminación de la Franja Costera Sur. Caso de estudio: Desembocadura de la Cuenca Matanza Riachuelo en el Río de la Plata. Tesis Licenciatura Gerenciamiento Ambiental. UCES.
11. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Humano, 1993. Decreto 831/93, Ley 24051. Anexo II, Tabla 1.
12. AGOSBA-OSN-SIHN. Río de la Plata. Calidad de la Aguas. Franja Costera Sur (San Isidro - Magdalena). Buenos Aires, AGOSBA-OSN-SIHN, 1992.
13. AA., OSBA, IL, SIHN, 1997. Calidad de las Aguas dela Franja Costera Sur del Río de la Plata (San Fernando-Magdalena).
14. Tejeda Vega, S., Cicerone, D., 2005. Inmobilization of As in Argentine Soils. XIV International Materials Research Congress. Cancún, México.