

# Évaluation de l'érosion sur la côte atlantique argentine : Zone Necochea-Quequén

■ Paula M. TRISTÁN - Jorge H. DOORN - Ruben S. WAINSCENKER - José F. ZELASCO

## MOTS-CLÉS

Érosion, télédétection, images satellites, photographies aériennes, planification urbaine.

*L'érosion côtière est un phénomène naturel qui peut devenir un problème lorsque dans son aire d'influence se trouvent des zones urbaines.*

*Souvent, par manque de connaissance des processus naturels qui régissent les côtes, les interventions des communautés perturbent*

*ou modifient de manière directe ou indirecte les écosystèmes côtiers. Par conséquent les zones côtières sont des environnements complexes dont le développement est conditionné par de nombreuses variables. Ce travail présente les résultats les plus importants, d'une étude qui porte sur un tronçon côtier de 30 km de long, dans le département de Necochea, au sud-est de la province de Buenos Aires en Argentine. Une composante essentielle de cette étude a été constituée par les travaux de relevés et de mesures des zones d'érosion, à partir de l'analyse et de la comparaison des images aériennes et satellites de la zone prises entre 1960 et aujourd'hui, ainsi que par les mesures effectuées sur le terrain. L'évolution de la côte a été reconstituée avec précision en intégrant toutes les images disponibles dans des images de travail consolidées. Ces images ont été reconstituées en ayant recours à des procédés divers, parmi lesquels se trouvent la géoréférenciation, la correction des aberrations, et les algorithmes visuels.*

L'érosion côtière définie comme le processus de perte de matière qui affecte la frange littorale [1] est le phénomène analysé dans cette étude. L'érosion marine est provoquée par des formes complexes d'actions mécaniques (vagues et courants), chimiques et biologiques. En premier lieu interviennent deux formes d'actions mécaniques : le flux et le contreflux. En second lieu interviennent les actions chimiques. L'eau marine contient divers sels dissous qui lui confèrent une activité chimique notable [2].

En zone continentale, l'érosion est également le fruit d'actions mécaniques, thermiques, chimiques, et biologiques. Les actions mécaniques sont le résultat des vents produisant l'énergie qui détache le matériel non consolidé et creuse la matière. L'érosion est également le résultat de la fluctuation des

températures qui provoque la contraction et la dilatation de la roche. Par ailleurs, tout comme en milieu marin ou continental des agents chimiques dissolvent la matière. Enfin les actions biologiques peuvent intervenir comme agent renforçant, ou perforant la matière, la rendant plus vulnérable aux actions des autres agents érosifs.

L'objectif de ce travail est de déterminer l'ampleur de l'érosion dans la zone considérée en utilisant les images satellites, la cartographie, et les photos aériennes et en comparant ces sources avec les résultats obtenus lors de travaux réalisés sur le terrain, en procédant de la même manière que pour d'autres études similaires [3], [4], [5], [14]. L'information ainsi recueillie permettra aux personnes et organismes responsables, de prendre des décisions fondées sur une connaissance appropriée du comportement de la

côte, et de développer une planification urbaine, économique touristique adaptée pour la région.

Dans la section 2 nous décrivons les différents types d'informations utilisées dans cette étude et pour chacun nous précisons les données qui ont été réunies. Dans la section 3 nous présentons la zone étudiée, ses caractéristiques historiques, géographiques et morphologiques. La section 4 présente les résultats des mesures, obtenues dans chacun des secteurs, détaillant en particulier leur érosion maximum, érosion minimum et leur taux d'érosion. Enfin dans la section 5 nous présentons l'analyse des résultats et les conclusions de l'étude.

## Zone étudiée

La ville de Necochea se trouve en Argentine, au sud-est de la province de Buenos Aires. Elle fait partie avec ses villes voisines d'une des plus importantes zones de tourisme balnéaire de la côte atlantique argentine. De ce fait, des questions telles que l'érosion des côtes affectent significativement le développement économique des villes de la région.

Dans cette zone de nombreux facteurs d'érosion s'associent, qui ont sur elle une influence directe et indirecte. Ce grand système est affecté par les actions anthropiques telles que la construction de brise-lames, la fixation des dunes, le gravelage des rues, l'urbanisation de zones, etc. La conséquence de ces actions est que certaines zones, généralement situées au nord de l'influence anthropique souffrent de déséquilibres dans leurs dynamiques et provoquent des conflits qui souvent produisent des pertes ou accumulations de matériel. [7].

## Sources d'informations

Pour réaliser l'analyse de l'érosion dans la zone étudiée nous avons rassemblé les documents suivants :

### ■ Photographies aériennes

La photographie aérienne est l'une des sources qui s'est avérée la plus utile pour calculer les taux d'érosion côtière. En effet celle-ci permet de couvrir une longue période temporelle tout en présentant une résolution spatiale satisfaisante. Dans cette étude nous avons utilisé des clichés pris lors de vols effectués sur une période de 35 ans. Les premiers clichés datent de 1960, les suivants de 1967, 1984 et 1994.

### ■ Images satellites

Nous disposons d'images satellites à périodicité rapprochée. Cependant la résolution spatiale de celles-ci, initialement faible, limite considérablement la possibilité de les utiliser pour la détection de l'évolution de la ligne côtière. Les images utilisées pour ce travail correspondent à des capteurs différents avec des résolutions spatiales différentes. L'image satellite la plus ancienne dont nous disposons est une image Landsat datant de 1976 avec une résolution de 60 m. Nous disposons également d'images prises avec ce même capteur en 1984. A partir de 1999, de façon continue, des images ont été produites avec une résolution de 15 m. La dernière image que nous avons obtenue a été prise par Quickbird et possède une résolution spatiale de 0,62 m.

### ■ Cartographie

La cartographie est le document qui nous offre la meilleure couverture historique, mais l'échelle à laquelle ces documents historiques sont disponibles nous permet uniquement d'observer les changements substantiels et d'établir des tendances générales. Ils ne permettent pas de réaliser des mesures précises. La cartographie de la zone date de 1960 et il n'existe pas dans cette zone de relevé plus récent.

La figure 1 présente un résumé par ordre chronologique de tout le matériel rassemblé pour l'étude.

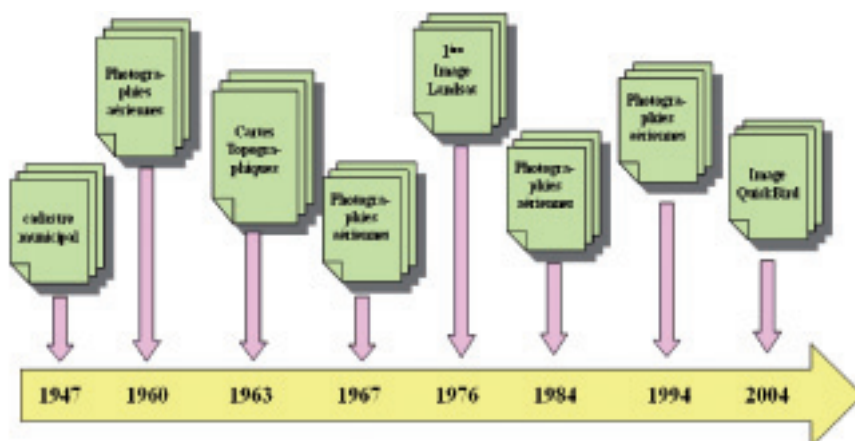


Figure 1. Chronogramme détaillant par type et par date les informations obtenues.

## Secteurs analysés

La zone côtière qui s'étend sur 30 km et qui nous intéresse a été divisée en 5 secteurs afin de procéder à son analyse (Figure 2). La définition de la zone et sa division en secteurs a été orientée par deux préoccupations du gouvernement de Necochea. La première était d'obtenir des mesures réelles dans des secteurs où, du fait de l'urbanisation, l'érosion et ses progrès deviennent des sources de conflits dans la communauté. La seconde était d'obtenir des informations générales qui permettent d'évaluer le phénomène et d'en déterminer les causes.

Le secteur 1, "Costa Bonita"<sup>(1)</sup>, se situe à l'extrémité Est du département de Necochea, à la limite avec celui de Lobería. Dans cette zone se trouve un site touristique qui a connu un grand succès dans les années 70. Il comporte des hébergements, commerces et autres établissements qui fonctionnent

principalement pendant la période estivale. Pour ce secteur nous disposons d'images de 1967, 1984 et 2004. Il existe donc une période de 20 ans durant laquelle aucune information n'a été enregistrée.

Le secteur 2 "Bahía de los Vientos"<sup>(2)</sup> est l'un des lieux où l'on peut observer les changements les plus importants sur la ligne des falaises. Dans cette zone le travail de terrain a mis en évidence l'ampleur de l'érosion. Les plaintes de la population y sont plus nombreuses et mettent en cause le brisalamas au sud du port de Quequén. Même si cela n'a pas été prouvé, on lui attribue un impact direct sur l'érosion des falaises. Ce secteur est l'un des mieux documentés puisque nous disposons d'images de 1967, 1984, 1994 et de 2004.

Pour le secteur 3, "Barrio Médano"<sup>(3)</sup> proche de la ville balnéaire de Necochea, nous détenons également



Figure 2. Image satellite qui présente les secteurs sélectionnés et étudiés.



des clichés des années 1967, 1984, 1994 et 2004. La structure de ce secteur a été profondément altérée, puisque dans la décennie des années 90, une partie des dunes a été éliminée au profit de la construction d'une zone urbaine privée.

En revanche, dans la zone 4 de "Medano Blanco"<sup>(4)</sup>, seuls des clichés des années 1967 et 1994 existent et ont pu être comparés. L'étude de ceux-ci montre que sur tout le tronçon analysé, ce secteur a été très peu affecté par l'érosion, même si l'information dont nous disposons est insuffisante pour pouvoir l'affirmer.

Pour le cinquième et dernier secteur étudié, "Punta Negra"<sup>(5)</sup>, on dispose d'images de 1967, 1983 et de 2004. Les autres prises de vues aériennes de la côte ne sont pas arrivées jusqu'à cette zone.

## Mesures et résultats

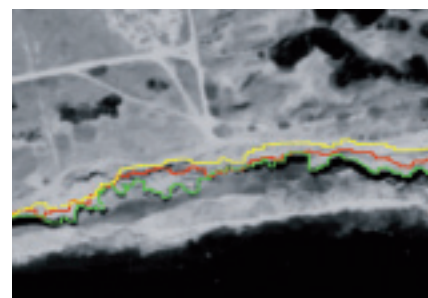
La méthodologie utilisée pour calculer la ligne de la côte, et en conséquence le taux d'érosion, fait appel à plusieurs types de travaux. D'abord on doit rassembler à une échelle commune toutes les données qui proviennent des différentes sources, afin de pouvoir les comparer. Pour cela on doit sélectionner la projection adaptée dans chaque cas. L'enregistrement des images requiert des points de contrôle ou des bornes de référence. Après l'enregistrement, on procède à l'identification de la ligne de la côte pour chacune des images disponibles, grâce à des techniques standard de traitement numérique, telles que l'analyse de l'éclat et du contraste, l'élimination du bruit, et la détection des bords, entre autres [8], [9], [12], [13]. Différents types de pré-traitement et de traitement ont été utilisés en fonction



des caractéristiques propres de l'image. Pour certaines il a été nécessaire d'employer des algorithmes d'expansion de contraste et d'éclat, pour d'autres images il a fallu éliminer le bruit, causé par la dégradation des images, ainsi que par le processus de numérisation. Pour d'autres images on a utilisé un algorithme simple de détection de bords, sans avoir recours à des tâches de pré-traitement. Des traitements analogues d'images ont été réalisés pour les autres secteurs étudiés le long de la côte. Sur la photographie aérienne prise en 1967, on a superposé les lignes extraites des images postérieures selon chaque cas [10], [11]. Ceci a permis d'observer la progression du phénomène et finalement, de quantifier l'érosion. Dans chaque cas, l'image de plus basse résolution détermine la précision des valeurs obtenues.

Il est nécessaire de préciser qu'il existe pour la zone étudiée, des intervalles où la ligne de falaise n'a pas pu être extraite ni soulignée de manière continue. Pour ces intervalles il n'a pas été possible de comparer les bords des différentes images et par conséquent d'évaluer l'érosion.

Des travaux de terrains ont été réalisés dans le secteur de Bahía de los Vientos. Des points de contrôle ont été identifiés et la distance entre ces points et la ligne de la côte a été mesurée. Des mesures

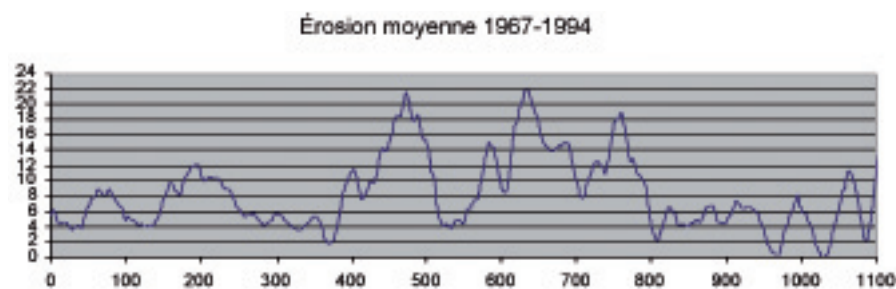


**Figure 3.** Photographie aérienne de Bahía de los Vientos, prise en 1967. On y a superposé les lignes des photographies de 1983 et de 1994.

ultérieures ont permis d'évaluer in situ l'évolution de l'érosion. On a pu observer des zones qui souffriront un effondrement de plusieurs mètres à court terme, à cause de l'effet gryère qui affecte les constituants des sols. On a mesuré également des structures en béton et métalliques exposées qui avaient une érosion moindre. Même si ces valeurs étaient en deçà des valeurs obtenues grâce aux images, dans certains cas elles étaient très proches. La Figure 3 montre la variation que la ligne de la falaise a subie dans la zone de Bahía de los Vientos.

Sur le graphique 1, ci-dessous, on peut observer des pics d'érosion maximum de 22 mètres pendant une période de 27 ans, dans le secteur de Bahía de los Vientos (Figure 3).

Le tableau 1, page suivante, présente le résumé des mesures de l'érosion maximum qui correspondent aux secteurs analysés. Comme le montre le tableau, le secteur de Barrio Médano<sup>(3)</sup> ne présente quasiment pas d'évolution entre 1984 et 1994. Après cette date et d'après les mesures, il n'y a pas eu de processus d'érosion ou, à cause de la résolution des images employées, celui-ci n'a pas pu être repéré. De même le secteur de



**Graphique 1.** Érosion moyenne calculée grâce à la méthode des caisses mobiles. L'axe X montre le point analysé et l'axe Y mesure en mètres l'érosion du point.

(1) Côte Mignonne – (2) Baie des Vents  
(3) Quartier Dune – (4) Dune Blanche  
(5) Pointe Noire



ENDROIT	Erosion 1967 – 1984	Erosion 1967 – 1994	Erosion 1967 – 2004
Costa Bonita	18.3 m	Non mesurée	18.3 m
Bahía de los Vientos	19.5 m	23 m	30.6 m
Barrio Médano	11.5 m	14.4 m	14.4 m
Médano Blanco	1.9 m	1.9 m	1.9 m

**Tableau 1.** Résumé des érosions maximums mesurées au large de la côte.

Médano Blanco<sup>(4)</sup> n'a connu qu'une faible érosion entre 1984 et 1994, avant que le phénomène ne devienne pratiquement nul sur les dix années suivantes. Cela s'explique probablement par le fait que ces zones sont formées principalement par des dunes et des bancs de sable. Ces formations se déplacent, au fur et à mesure des années, indépendamment d'un éventuel processus d'érosion. Les valeurs trouvées de variation de la ligne masquent donc l'érosion puisqu'elles ne sont pas uniquement le résultat du processus.

On peut observer sur le graphique 2, que le processus d'érosion à Costa Bonita a été considérable pendant la période allant de 1967 à 1984. Après cette période la vitesse d'érosion a fortement diminué. Ceci démontre un changement important du comportement de la côte.

Pour la zone de Bahía de los Vientos, la période d'érosion maximum se situe entre 1967 et 1984. La période suivante, qui va de 1984 à 1994, n'a pas présenté de taux d'érosion significatif. Finalement, pendant la dernière période, on a pu observer une nouvelle croissance du taux d'érosion. Même si cette étude ne poursuit pas l'analyse de la corrélation entre la construction du

brise-lames et le processus d'érosion, il est important de préciser que sa construction s'est faite en trois temps. On a fini de construire le premier tronçon en 1922. Ensuite en 1952 on l'a prolongé de 1192 mètres. Et en 2006, on y a rajouté 400 mètres [6].

La zone de Punta Negra a eu un comportement quasiment linéaire. Le processus érosif a présenté un taux constant pendant toute la période étudiée. Cependant il faut préciser que pour cette zone on détient des informations de trois dates différentes. Il existe une période de 20 ans pour laquelle nous ne disposons d'aucune donnée intermédiaire.

On appelle caisses mobiles le rectangle virtuel qui contient le fragment de côte, pour lequel on évalue l'érosion. Quand la direction de la côte est Nord-Sud ou Est-Ouest le résultat est égal aux moyennes mobiles. La valeur de l'érosion obtenue est égale au quotient entre la surface limitée par les deux courbes et la largeur sélectionnée pour le calcul. Les moyennes maximums, générales (moyenne) et minimums (graphique 3) correspondent à une largeur de 18, 12, 5 pixels respectivement. Le graphique 3 présente des valeurs d'érosion obtenues par les calculs

d'aires avec les méthodes des caisses mobiles.

## Conclusions et perspectives

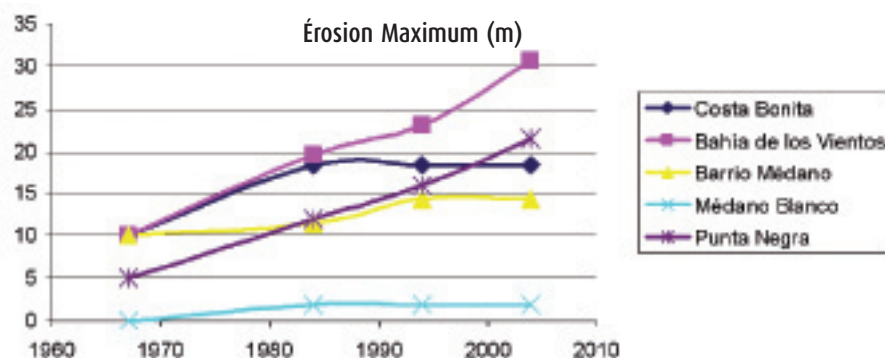
Pour certaines images nous avons eu recours à la combinaison de plusieurs techniques de pré-traitement et de traitement d'images. Cette méthode répond au besoin de numériser certaines photographies aériennes. Elle fait face également à un problème de bruit dû à la dégradation des images.

Dans les secteurs de falaises, les techniques utilisées ont permis de détecter la ligne de la côte, alors que dans les zones d'intervalles de dunes et de plages cela a été plus compliqué. D'après ces analyses on peut conclure que l'érosion n'est pas uniforme tout le long de la côte. Elle est présente de manière considérable par intervalles localisés, et pour chaque intervalle elle présente différents taux. Le taux d'érosion le plus significatif se situe sur la côte du village de Quequén, en particulier dans le secteur appelé Bahía de los Vientos. Sur un tronçon de ce secteur on a mesuré une érosion maximum de 30,6 mètres pour une période de 67 ans. Le taux d'érosion y est donc de 83 cm par an, approximativement.

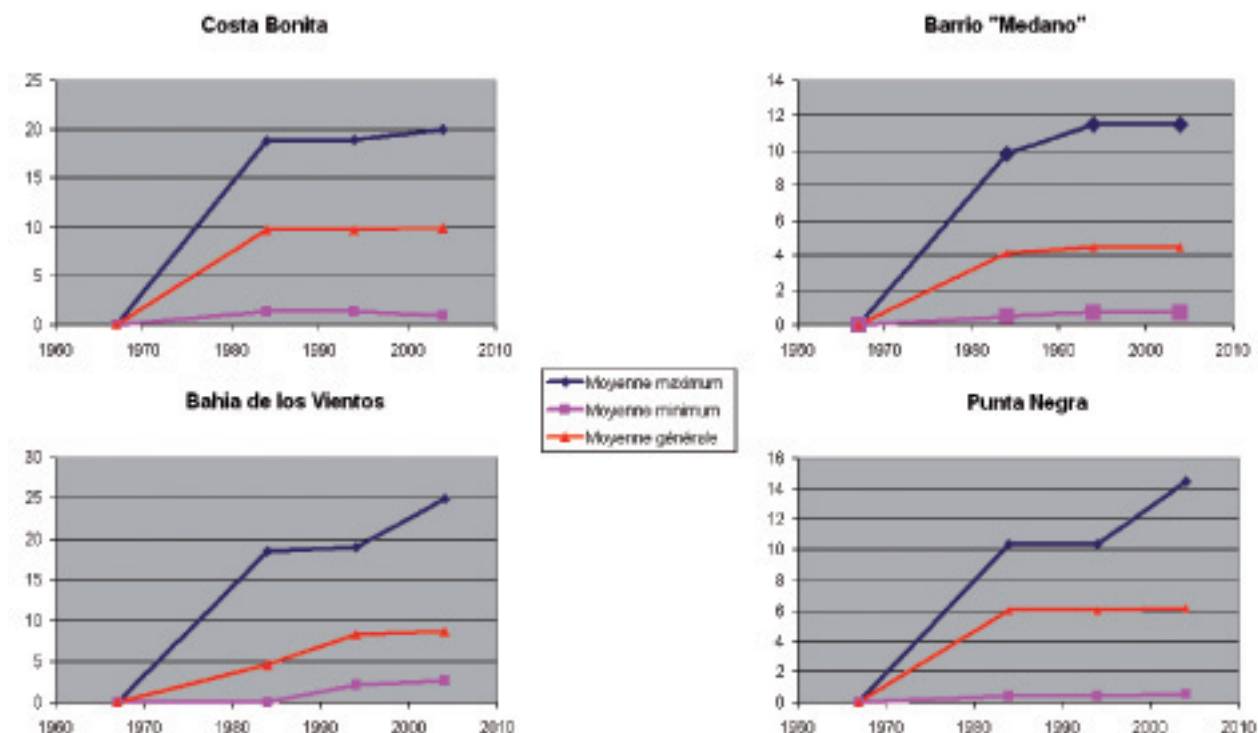
Les travaux réalisés ont permis de situer des points de référence grâce auxquels il est possible de mesurer directement la distance au bord de la mer avec une grande précision. Ceci permettra de suivre de plus près le processus d'érosion et permettra d'émettre des hypothèses sur les causes de l'érosion. On considère déjà que la mise en œuvre d'un brise-lames situé sur le port de Quequén a une grande influence sur ce phénomène. Ce travail fournit donc des éléments utiles pour une étude de ces hypothèses. ●

## Références et bibliographie

- [1] J. Zújar. "Métodos para el Cálculo de la Erosión Costera. Revisión, Tendencias y Propuesta". Departamento de Geografía y Física y AGR. Univ. de Sevilla. Juin 2001.
- [2] G. Molina Fávero. "La reestructuración de un espacio: refuncionalización en la zona del frente marítimo de la ciudad de



**Graphique 2.** Montre le comportement de l'érosion des points maximums au fil du temps. L'axe des abscisses représente le temps en années et l'ordonnée l'érosion maximum en mètres.



Graphique 3 : présente l'érosion maximum, minimum et la moyenne. Les lignes montrent le développement du processus d'érosion.

Necochea". Facultad de Humanidades, Univ. Nacional de Mar del Plata, 2004.

[3] S. Aubié & J. P. Tastet. "Coastal Erosion, Processes and Rates: An historical Study of the Gironde Coastlines, Southwestern France". Journal of Coastal Research. Vol 16, No.3.

[4] G. Bo, S. Dellepiane, R. De Laurentiis. "Coastline extraction in Remotely Sensed Images by means of Texture Features Analysis". International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), v 3, 2001.

[5] S. Dellepiane, R. De Laurentis & F. Giordano. "Coastline extraction from SAR images and method for the evaluation of the coastline precision" Pattern Recognition Letters, Volume 25.

[6] M. Goicoechea "Remodelación y Prolongación de la Escollera Sur: Informe de Avance". Consorcio de Gestión de Puerto Quequen, Informe de Avance 2005.

[7] F. Isla, L. Teruggi, M. Farenga. "Dinámica Eólica de la costa del Parque Miguel Lillo y repoblamiento de Bahía de los Vientos, Partido de Necochea". Centro de Geología de Costas y del Cuaternario. Univ. Nacional de Mar del Plata, 1993.

[8] A. Jain. "Fundamentals of Digital Image Processing". Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey 1989.

[9] J. R. Jensen. "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective". 2<sup>th</sup> Edition Prentice Hall, New Jersey, 1996.

[10] C. Pinilla. "Elementos de

Teledetección". Ra-Ma., Madrid, 1995.

[11] T. M. Lillesand & R. W. Kiefer. "Remote Sensing and Image Interpretation". 3<sup>th</sup> Edition John Wiley & Sons Inc., New York, 1994.

[12] C. R. González & R. Woods. "Digital Image Processing". Addison Wesley Publishing Co. Massachusetts, 1992.

[13] K. R. Castleman. "Digital Image Processing". Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1996.

[14] P. Zuzek, R. Nairn & S. Thieme. "Spatial and Temporal Considerations for Calculating Shoreline Change Rates in Great Lakes Basin". Journal of Coastal Research Special Issue # 38. 2003.

## Contacts

Paula M. TRISTÁN - Jorge H. DOORN

Ruben S. WAINSCENKER

Faculté des Sciences exactes, UNCPBA, Tandil (7000), Buenos Aires, Argentine.

ptristan@exa.unicen.edu.ar

jdoorn@exa.unicen.edu.ar

rffw@exa.unicen.edu.ar

José F. ZELASCO

Faculté des Sciences exactes, UNCPBA - Faculté d'Ingénieur, Univ. de Buenos Aires - Faculté des Sciences Exactes et Technologie UCALP

jfzelasco@exa.unicen.edu.ar

## ABSTRACT

**Key words:** Erosion, satellite images, aerial photographs, urban planning.

Coastal erosion is a natural phenomenon that can turn into a hardship when there are urban neighbourhoods in the area. Lack of knowledge of processes which regulate the coastline evolution may frequently make community leaders take actions which may alter, in a way or other, the coastline ecosystem. Consequently, coastline areas become complex scenarios due to the number of variables conditioning their evolution. This paper reports the most important data collected alongshore thirty kilometres in Necochea county, located in the southeast region of Buenos Aires Province. The data was collected by means of indirect measurement using aerial and satellite images from 1960 up to the present as well as direct field measurements. The evolution of the coastline was precisely rebuilt integrating every source images in a single composed working image for each coastline segment studied. Integrated images were constructed coordinating a large variety of algorithms such as georeferentiation, aberration corrections and visualization techniques.