



**GRUPO XI
GRUPO DE ESTUDIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES (GIA)**

EROSION COSTERA EN EL AMBALSE DE ITAIPU-MD

Jorge Anibal Acha Navarro

ITAIPU BINACIONAL

RESUMEN

El programa de estudio y monitoreo de la erosión costera en el embalse de Itaipú-MD, uno de los frentes de acción de la Entidad, fue iniciado en 1.993 como respuesta a inquietudes sobre el fenómeno. Años después del llenado del embalse (oct./82) empezaron a observarse claros síntomas del mismo, como ser el retroceso de la línea de costa en muelles y otras instalaciones costeras, el derrumbe de arboles y la turbidez del agua en la zona marginal, así como la formación de altos barrancos.

Este documento es una reseña de lo hecho hasta la fecha por el mencionado programa, incluyendo resultados considerados aun preliminares.

PALABRAS LLAVE

Erosión costera, Erosión Marginal, Embalse.

1.0 – INTRODUCCION

El embalse de Itaipu cuenta con un perímetro de costa bastante extenso (2.919 Km.), además de una anchura importante del espejo de agua (entre 6 y 10 Km. en los dos tercios inferiores). Esto favorece a la formación de ondas de agua (olas), las cuales llegan con mucha fuerza y altura a las costas, carcomiendo constantemente los diferentes horizontes de suelo que componen la pared del barranco. De esta manera se produce la erosión costera o marginal.

A pesar de que no se cuenta con registros del avance erosivo anterior a este programa (1982 a 1993), existen evidencias de ello, como ser la ubicación de muelles y otras instalaciones costeras con respecto a la línea de costa, que según afirmaciones de pobladores antiguos

de la zona, indicaría avances que en ciertos casos supera los 50 mts. (caso Puerto Marangatú).

2.0 – ASPECTOS GENERALES

2.1 Antecedentes

Existe muy poco material bibliográfico sobre el tema. Se tienen referencias de estudios de esta naturaleza realizados desde la década del 70 en lagos naturales y artificiales de regiones templadas, especialmente en EE.UU. y Canadá. En ellos se describe la compleja interrelación existente entre los diversos procesos erosivos y los factores actuantes. No obstante, en un clima subtropical húmedo como el nuestro, dichos factores, así como la magnitud de la erosión costera, serán diferentes de aquellos observados en un clima templado.

A nivel de nuestra región se tienen estudios de erosión costera marítima en el litoral atlántico del Brasil. También se conocen estudios realizados sobre el río Paraná en la región de Porto Rico, estado de Paraná-Brasil (Quiñonez, 1990), y las investigaciones actuales desarrolladas por la Itaipu Binacional., que se constituyen en las primeras que se realizan sobre el tema en lagos artificiales de clima subtropical.

2.2 Definición y fundamentos

Podemos definir la erosión costera como el “fenómeno de retroceso lineal de las márgenes de un canal fluvial, producido por la remoción de los materiales del barranco, por acción de agente físicos (olas, precipitaciones, vientos y otros).

Este fenómeno responde a la teoría de la hidráulica que expresa cuanto sigue; “El aspecto morfológico de un

canal fluvial depende del equilibrio existente entre erosión y deposición”. Con la formación del embalse de Itaipu se produjo un desequilibrio entre esos procesos, sufriendo el nuevo canal fluvial con su gran masa de agua, el ajustamiento de sus variables morfológicas a fin de alcanzar una nueva forma estable, compatible con las nuevas condiciones del medio.

2.3 Localización del área de estudio

Geográficamente, el área de estudio se halla comprendida entre los 24 y 26 grados de latitud sur, y entre los 54 y 56 grados de longitud oeste. Abarca el embalse de Itaipu en toda la extensión de su margen derecha, desde la base de la represa ubicada en las proximidades de la localidad de Hernandarias, hasta Saltos del Guairá, afectando parte de los departamentos de Alto Paraná y Canindeyü.

2.4 Causas de erosión costera en el embalse Itaipú

Por la naturaleza del embalse de Itaipú (gran extensión del espejo de agua), las olas constituyen el principal factor causante de erosión costera. En horas de viento fuerte, las olas adquieren tamaño y fuerza considerables, y golpean con persistencia el perfil de las márgenes.

Una condición que hace que se acelere o desacelere la erosión costera es la variación del nivel del embalse o cota. El embalse de Itaipú registra normalmente, por motivos operacionales de la usina, variaciones periódicas de nivel. Cuando esta variación es para arriba del nivel normal (cota 220 s.n.m.) se aceleran los procesos erosivos, ocurriendo lo inverso cuando baja el nivel por debajo de la cota mencionada.

2.5 Variables regionales incidentes en los procesos de erosión costera

La descripción de las condiciones geomorfológicas, hidrodinámicas, sedimentológicas, de vegetación y de clima, ayudan para el mejor entendimiento de los procesos erosivos actuantes en las márgenes de cursos de agua. Por ello, haremos una breve consideración sobre estos aspectos.

2.5.1 Formación geológica: La formación geológica de los suelos en el área del proyecto Itaipú es relativamente uniforme, consistiendo en suelos lateríticos derivados de rocas basálticas. Así, suelos residuales de textura arcillosa a arcillo-arenosa de diversa espesura, pero generalmente de buena profundidad, cubren las márgenes del lago. Se observan también pequeñas y bien localizadas zonas con suelos limosos y franco-arenosos.

2.5.2 Aspectos morfológicos e hidrodinámicos: El inmenso lago formado por la represa, con una anchura promedio de 8 kms. en los dos tercios inferiores del embalse y un estrechamiento gradual en el último tercio, ha favorecido a la formación de grandes olas. Así mismo, la gran masa de agua (1.350 Km² de superficie del espejo de agua y un volumen de 29.000 millones de m³), ejerce una enorme presión hidrodinámica sobre las márgenes del lago.

2.5.3 Características climáticas de la región: El clima de la región es *Subtropical húmedo*, con precipitaciones medias anuales de 1.865 mm, la temperatura media anual es de 21,5 grados centígrados y la humedad relativa varía entre 74 al 82 % de promedio anual.

En cuanto al factor climático más importante en relación a la erosión costera, *el viento*; según estadísticas elaboradas por el sector Climatología de la Itaipú Binacional, es el único parámetro que ha experimentado un aumento en sus valores promedios luego de la formación del embalse, verificándose un aumento en la velocidad promedio anual de 5 para 7 nudos (1 nudo = 1,89 Km/h), desde la época anterior al llenado del embalse hasta el año 1.987. Posteriormente se ha verificado un aumento progresivo en dichos valores, llegando a registrarse 12 nudos de promedio anual en el año 1.995. Sin embargo, cabe aclarar que este fenómeno no se debería exclusivamente a la formación del lago de Itaipú, sino también a la casi total desaparición de la cobertura boscosa de la región, la cual actuaba como barrera natural Arompe-vientos@.

Por otra parte, los vientos predominantes registrados en la región inciden en su mayoría sobre la margen derecha del embalse debido a la orientación geográfica de este. Observando mapas de la zona, apreciamos que el embalse sigue una dirección Norte, ligeramente inclinado hacia el Nor-Este. Por ello, la margen derecha recibe directamente vientos de los sectores Nor-Este, Este y Sur-Este; en tanto que la margen izquierda recibe en forma directa vientos Sur-Oeste, Oeste y Nor-Oeste. Los vientos de los sectores Norte y Sur no inciden en forma directa sobre ninguna de las dos márgenes. En base a estas consideraciones, podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que el factor determinante de que la erosión costera sea más intensa hacia la margen derecha del embalse constituye la mayor incidencia de vientos predominantes hacia dicha margen (ver Tabla 3).

2.5.4 Vegetación costera del embalse: El monte alto constituye la vegetación predominante, encontrándose en muchos casos en estado de regeneración. Existen

además pequeñas y bien localizadas áreas con monte bajo, y otras con pasturas implantadas.

2.6 Consideraciones sobre la relación de la erosión costera con aspectos biológicos del ambiente.

2.6.1 En Tierra: Al avanzar, la erosión costera, va "devorando" mts. de tierra firme, sin distinción de tipos de vegetación, ya que está demostrado que igualmente avanza en zonas de monte alto, praderas, o por sobre cualquier otro tipo de vegetación. Esto significa la pérdida de suelos con toda la diversidad de vida que habita esas áreas; ya sean especies vegetales, insectos, microorganismos del suelo, reptiles, aves; además del efecto indirecto debido a la pérdida o disminución del hábitat de esas especies.

2.6.2 En el agua: En los lugares donde se observa erosión costera, y en días de viento, el agua se encuentra siempre turbia o rojiza, lo que con toda seguridad producirá la alteración de las condiciones para la vida acuática en dichos lugares. Además, se incorpora al lago un volumen considerable de sedimentos (que se depositan finalmente en el lecho) y de materia orgánica proveniente del suelo y la vegetación, los que juntos, finalmente contribuyen gradualmente a la disminución de la calidad del agua.

3.0 – OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE EROSION COSTERA

- * Estudiar las características, distribución y magnitud de la erosión costera producida a lo largo de la margen derecha del embalse de Itaipú.
- * Realizar un levantamiento de las características geomorfológicas, hidrodinámicas, sedimentológicas, de clima y vegetación que tengan incidencia en los procesos de erosión costera.
- * Estimar cantidad y características de sedimentos que las margenes del embalse adicionan al sistema debido a erosión costera, datos que luego podrán ser utilizados en la complementación de estudios sedimentométricos relacionados al cálculo de vida útil del embalse (por colmatación con sedimentos).
- * Estimar la tasa anual promedio de erosión costera y su evolución futura.
- * Buscar y proponer alternativas de solución o de mitigación del fenómeno (métodos de defensa costera), especialmente para áreas de alto valor, ya sea desde el punto de vista ambiental, económico o social (puertos y otras instalaciones costeras, refugios y reservas biológicas, etc).

4.0 - METODOLOGIA DEL ESTUDIO

Para alcanzar los objetivos propuestos por el proyecto que viene siendo ejecutado, el mismo consta de un programa de tareas de campo y de gabinete.

Los trabajos de campo buscan identificar los procesos erosivos y cuantificar la erosión costera en trechos seleccionados a lo largo del embalse, buscando abarcar las más diferentes condiciones hidrológicas y climáticas.

La medición de la velocidad de retroceso de las margenes en el campo se efectúa mediante la utilización del "METODO DE LOS PINOS Y LAS ESTACAS". El método de los pinos consiste en la inserción de pinos o varillas de acero perpendicularmente en el perfil del barranco, con la intención de medir la erosión a través del segmento expuesto de dichas varillas. Por su parte, el método de las estacas consiste en la colocación de estacas de madera, correctamente alineadas y encuadradas de acuerdo al sentido de la línea de costa, en la superficie del barranco, siendo medido el retroceso de las margenes a partir de las estacas referenciales con una regla centimetrada.

Estos métodos ya fueron utilizados por LAWLER (1978), HOOKE (1980), HUGHES (1977) entre otros, y probado en las margenes del río Paraná (Porto Rico, Brasil) por QUIÑÓNEZ (1990), con resultados satisfactorios.

4.1 Trabajos de Campo

Consta de 3 etapas bien definidas, las cuales son;

4.1.1 Descripción y caracterización de las margenes:

Esta etapa ya concluida se realizó mediante recorrido en lancha bordeando toda la margen derecha del embalse, demandando aproximadamente *1 año y 4 meses* (agosto/93 a diciembre/94), y *25 campañas de campo*, las cuales normalmente tienen una duración de 4 a 5 días (de lunes a jueves o viernes), intercalando una semana de trabajos de campo con una de trabajos de gabinete. Durante esta etapa se clasificaron 481 puntos con diferentes niveles de erosión costera, 217 de los cuales sobre el canal principal del embalse (canal del río Paraná), en donde se encuentran los mayores problemas de erosión costera (ver Tabla 1 y Figura 1).

Los datos recabados en estas campañas son los relacionados a la ubicación geográfica (demarcación en mapas a escala 1:100.000) y cuantificación de los niveles de erosión costera, además de datos complementarios, como ser; viento incidente sobre dichos puntos, vegetación costera, textura del suelo del barranco, etc.

El criterio tenido en cuenta para la cuantificación de la erosión costera en las margenes estudiadas, fue en base a la observación de las características geomorfológicas, hidrodinámicas, sedimentológicas y de vegetación del lugar. Basados en dicho criterio hemos establecido una escala con 5 niveles de erosión costera, los cuales sirven para cuantificar la intensidad de la erosión costera en cada punto estudiado. Dicha escala es como sigue;

- NIVEL I : Sin problemas de erosión costera.
 NIVEL II : Erosión leve o moderada.
 NIVEL III : Erosión media.
 NIVEL IV : Erosión fuerte.
 NIVEL V : Erosión muy fuerte o crítica.

TABLA 1 - NIVELES DE EROSION COSTERA INCIDENTES (EMBALSE DE ITAIPU-MD), SOBRE 481 PUNTOS ESTUDIADOS

	NIVELES DE EROSION COSTERA					TOTALS
	I	II	III	IV	V	
S/canal principal	22	61	77	48	9	217
Sobre afluentes	154	100	10	0	0	264
Sub-total puntos por nivel	176	161	87	48	9	481

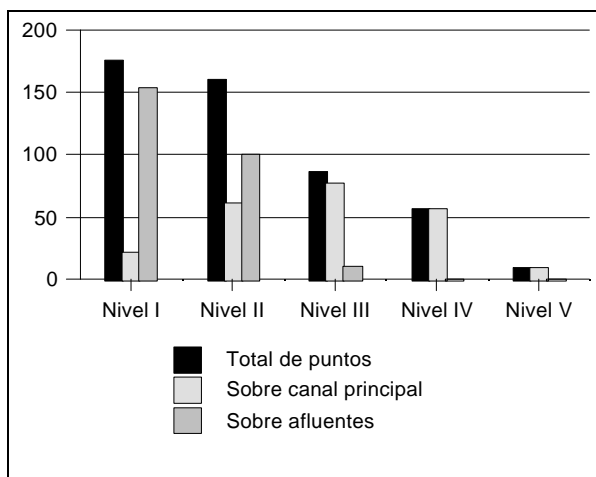


FIGURA 1 – NIVELES DE EROSION COSTERA / EMBALSE DE ITAIPU-MD

4.1.2 Elección de lugares para la ubicación e Instrumentación de puestos de medición de la erosión costera: En base a los datos obtenidos en la anterior etapa se han seleccionado sitios a lo largo del embalse para la instalación de puestos de medición de la erosión costera, buscando abarcar las más variadas características del medio a fin de obtener resultados representativos. Esta etapa se ha realizado, intercalando con otras actividades, desde octubre/94 hasta octubre/96, instalándose 14 Puestos de medición. Dichos puestos de medición se han distribuido, por razones de practicidad a la hora de realizar las campañas de campo, en 6 Zonas de Medición desde la base de la represa hasta Saltos del Guairá (ver Tabla 2).

TABLA 2 - DISTRIBUCION PUESTOS DE MEDICION DE EROSION COSTERA

ZONAS DE TRABAJO	Puestos de Medición Instalados
Zona 1: Tati Yupí-Pirapytá	T.1 - T.2
Zona 2: Pikyry-Dos Hermanas	P.1-P.2-P.3
Zona 3: Itabó-Arroyo Indio	I.1-I.2
Zona 4: Limoy Pto.Marangatú	L.1-L.2-L.3-L.4
Zona 5: Carapá-Pto.Tigre	C.1-C.2
Zona 6: S. del Guairá-A1Piray	S.1

4.1.3 Etapa de Mediciones: Es la etapa en la que se encuentra el programa actualmente. Se realizan campañas de campo cada 4 a 6 meses en cada puesto de medición, pudiéndose hacer con mayor frecuencia en lugares y épocas del año en que la intensidad de los procesos erosivos sea mayor, por ejemplo, temporadas de lluvias y épocas en que el embalse se encuentre operando por encima de su nivel normal.

4.2 Trabajos de Gabinete o de Escritorio

Los datos obtenidos directamente de las observaciones de campo son almacenados en un banco de datos, para posteriormente ser procesados y sometidos a diversas técnicas de análisis matemáticos y estadísticos. Se realiza también la colecta de datos complementarios (pluviométricos, hidrométrico, temperatura, etc.), revisión bibliográfica de todo el material disponible sobre el tema, y otras tareas similares.

5.0 - RESULTADOS

En base al procesamiento de los datos obtenidos en las campañas de mediciones, se han sacado importantes conclusiones. Debemos recordar que las recomendaciones contenidas en bibliografías, y dadas por investigadores y estudiosos del fenómeno, hablan de 5 años de colecta de datos para considerar confiables los resultados. Antes de cumplirse estos plazos hablamos de Resultados preliminares, debido a que suelen producirse variaciones importantes en la condiciones del medio entre un año y otro, lo que haría que los resultados no reflejen lo que acontece en la realidad.

En la Tabla 4 se presentan resultados preliminares en las 6 estaciones de medición de la erosión costera más representativas, de las 14 con que se cuenta.

Así mismo, en la Figura 2 observamos el avance erosivo en metros desde la instalación hasta la última medición (eje Y), en las mismas 6 estaciones de medición mencionadas anteriormente. La unidad de tiempo utilizada está en meses (eje X), destacándose los meses de Junio y diciembre de cada año, a fin de separar por semestre. Se pueden observar en este gráfico tendencias parecidas para todos los puestos de medición distribuidos a lo largo del embalse.

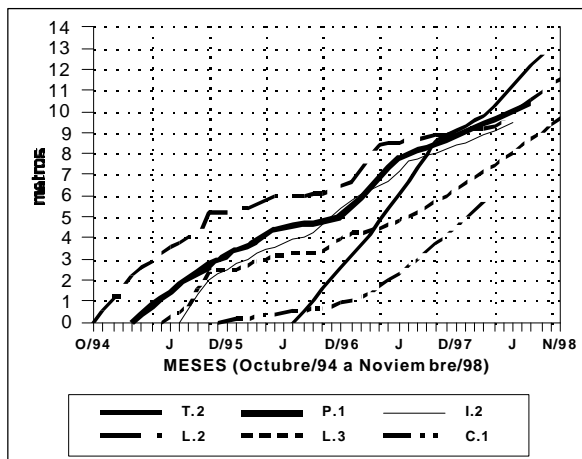


FIGURA 2 - AVANCE DE LA EROSION COSTERA- EMBALSE DE ITAIPU-MD

Por ejemplo, se registra una aceleración en la intensidad de avance de la erosión costera entre los últimos meses del 96 hasta mediados del 98, debido al aumento de nivel del embalse, relacionado a su vez al aumento de las precipitaciones en toda la cuenca por el Fenómeno del Niño. Por otra parte, se observa en los meses estivales un incremento en dicha intensidad para

todas las estaciones con orientación hacia vientos desde el cuadrante norte, y la disminución en esos meses para las estaciones con orientación hacia vientos del sur. Lo inverso se registra en los meses invernales, debiéndose esta alternancia a la predominancia de vientos del sector norte en los meses cálidos y del sector sur en los meses fríos, teniendo en cuenta que el viento es el principal factor de producción de erosión costera (a través de la formación de olas).

6.0 - CONCLUSION

Los resultados del presente estudio proveerán importantes informaciones, como la evolución morfológica del área monitoreada, que pueden constituirse en valiosa ayuda para los trabajos de gerenciamiento y manejo del área marginal del embalse de Itaipu, debiendo tenerse en cuenta para proyectos de reforestación, construcción de caminos, puentes, embarcaderos o muelles, campamentos, etc. Además, se podrán establecer las áreas que ameriten la construcción de defensas costeras, proponiendo las alternativas con que se cuenten para esos lugares.

Los mismos también servirán para complementar estimaciones sobre tiempo de vida útil del embalse por colmatación con sedimentos, pudiendo servir como referencia útil, no solamente para el embalse de Itaipú, sino también para otros de similares características.

7.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) QUIÑONES FERNANDEZ, OSCAR VICENTE. 1990. Mudanças no canal do rio Paraná e procesos de erosão das margens : Região de Porto Rico, PR. - Dissertação de mestrado, IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro-SP, 96 p.
- (2) HOOKE, J.M. 1979. An analysis of the processes of river bank erosion. Journal of Hydrology, 42 : p. 39-62.
- (3) HUGHES, D.J. 1977. Rates of erosion on meander arcs. In : Gregory, K.J., Ed. -- River Channel Changes, Chichester, John Wiley & Sons. p 193-205.
- (4) LAWLER, D.M. 1978. The use of erosion pins in river bank. Swansea Geographer, 16: 9 - 17.

TABLA 3 - FRECUENCIA MEDIA DE VIENTOS Y COMPARACION DE SU INCIDENCIA SOBRE AMBAS MARGENES DEL EMBALSE DE ITAIPU

	No inciden directamente		Inciden directamente s/la margen derecha			Inciden directamente s/la margen izquierda			SUB-TOTAL	CAL-MA	TOT-AL
	N	S	N-E	E	S-E	S-O	O	N-O			
DIRECCION DEL VIENTO											
FRECUENCIA ANUAL (%)	3	13	22	21	7	3	4	2	75	25	100
SUB-TOTAL	16 %		50 %			9 %					

TABLA 4 - RESULTADOS PRELIMINARES DEL PROGRAMA DE MEDICIONES DE LA EROSION COSTERA / EMBALSE DE ITAIPU-MD

Puesto de Medición/ Nivel Ero.Costera/ Viento Incidente	Avance de la Erosión Costera / Tiempo de mediciones	Promedio de Erosión Costera por año	Altura del barranco (promedio)	Volumen de Sedimentos por Erosión Costera (por año y por mt. lineal de margen)
T.2 Nivel V Nor-Este	12,64 mts. 2 años + 2 meses	5,83 mts/año	2,39 mts.	13,966 m3/año
P.1 Nivel IV Sur-Sur-Este	10,42 mts. 3 años + 6 meses	2,98 mts/año	2,07 mts.	6,171 m3/año
I.2 Nivel V Este-Nor-Este	9,51 mts. 2 años + 2 meses	3,26 mts/año	2,68 mts.	8,729 m3/año
L.2 Nivel IV Sur	11,57 mts. 4 años	2,86 mts/año	2,13 mts.	6,104 m3/año
L.3 Nivel V Este-Nor-Este	9,66 mts. 3 años + 6 meses	2,76 mts/año	2,99 mts.	8,263 m3/año
C.1 Nivel V Este	5,70 mts. 2 años + 4 meses	2,44 mts/año	3,01 mts.	7,353 m3/año