

# **Evaluación del riesgo ambiental por inundación con SIG del valle fluvial del Río Paraná próximo a los núcleos urbanos de Resistencia y Corrientes**

*Nora I. BASTERRA - Miguel A. VALIENTE - Gisela GLIBOTA*

Centro de Gestión Ambiental y Ecología - CEGAE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
RECTORADO

Av. Las Heras 727 – Resistencia (CP 3500) – Provincia del Chaco - República Argentina  
cegae@ing.unne.edu.ar

## **Resumen**

Los pulsos hidrológicos anuales del Río Paraná han manifestado una marcada afectación superficial en épocas de inundaciones en la morfología de su complejo y extenso valle fluvial. En las cercanías de Resistencia y Corrientes esta particularidad ha sido muy notoria en 1982/83, 1991/92 y 1997/98, años en los que este río ha presentado caudales y volúmenes de escurrimiento extraordinarios por exceso.

El monitoreo temporal de la ocupación areal de un río en situaciones de inundación puede ser llevado a cabo con imágenes satelitales de distintas fechas, mientras que las evaluaciones de frecuencia de inundaciones se obtienen con el procesamiento de los registros de alturas de los ríos, ya que el Puerto de la Ciudad de Corrientes posee esta información en forma diaria desde principios del siglo pasado.

Se presenta en este documento una evaluación del riesgo ambiental por inundación del Río Paraná en su valle fluvial aledaño a las ciudades de Resistencia y Corrientes, contemplando la afectación superficial de los anegamientos con imágenes satelitales de las últimas inundaciones y asignando una frecuencia de ocurrencia de las mismas a través del procesamiento de los registros de niveles del río en la zona de influencia del estudio, asociando de esta manera, distintas probabilidades de riesgo hídrico a cada una de las inundaciones, todo ello realizado con la implementación de un sistema de información geográfica adecuado a escala de semi-detalle.

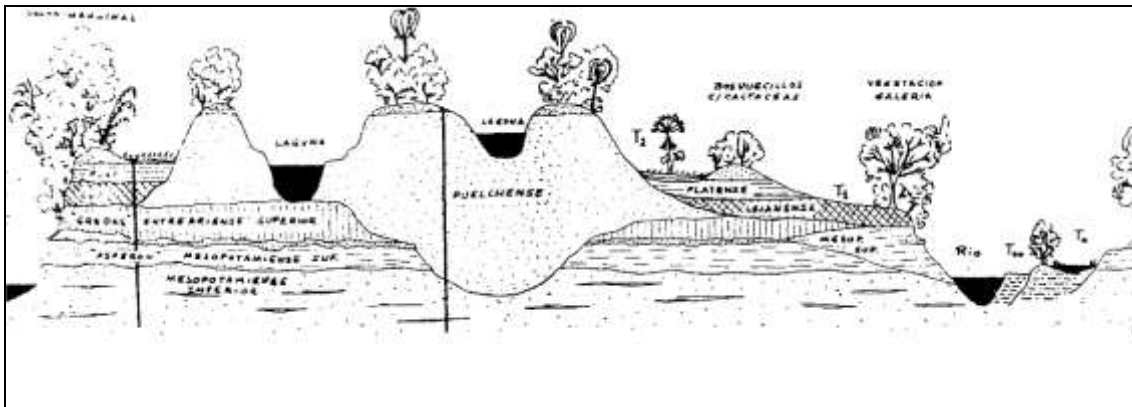
**Palabras claves:** riesgo ambiental, Río Paraná, frecuencia, inundación, sistema de información geográfica

**Temática:** Análisis territorial

## Introducción

Los pulsos hidrológicos anuales del Río Paraná han manifestado en distintas oportunidades a lo largo su historia observada a través de registros hidrométricos, una marcada afectación superficial en épocas de inundaciones en la morfología de su complejo y extenso valle fluvial. En las cercanías a las ciudades de Resistencia y Corrientes, esta particularidad ha sido muy notoria en los años hidrológicos 1982/83, 1991/92 y 1997/98, años en los que el Río Paraná ha presentado caudales y volúmenes de escurrimiento extraordinarios por exceso.

La geomorfología del Río Paraná tiene su origen hace unos 3 ó 4 millones de años atrás y ha sufrido numerosas alteraciones con los distintos cambios climáticos hacia condiciones más secas y más húmedas que las actuales (Popolizio, 2001), conformando su relieve y sistemas de escurrimiento particulares (Neiff) (Fig. 1).



**Fig. 1:** Corte transversal del valle del Río Paraná a la altura de Resistencia (T<sub>0</sub>) y Corrientes (T<sub>1</sub>)  
Fuente: Popolizio, et al.

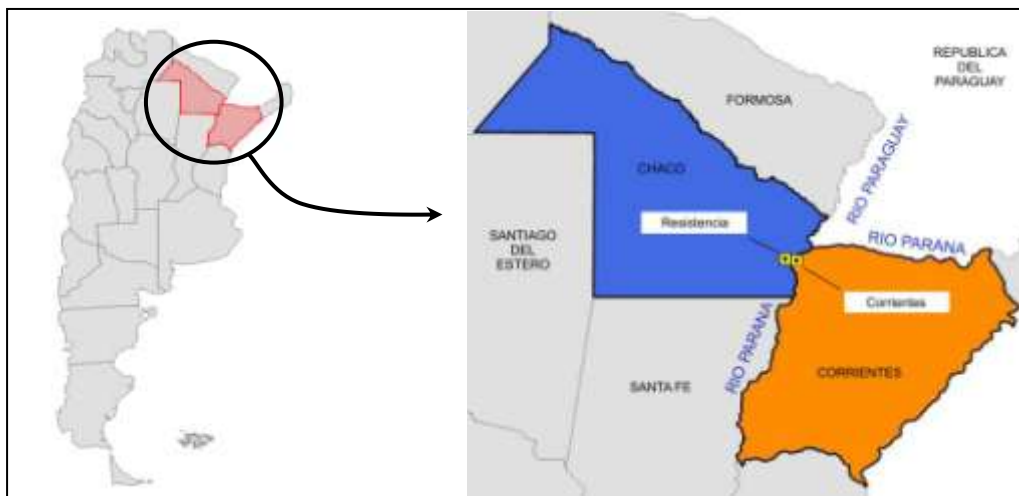
El monitoreo temporal de la ocupación areal de un río en situaciones de inundación puede ser llevado a cabo con la ayuda de imágenes satelitales de distintas fechas, herramienta adecuada en la gestión de los recursos naturales, sobre todo cuando el objetivo es la planificación del uso del territorio con fines sustentables y con miras a la disminución de los riesgos a que la población o la actividad productiva puede estar afectada.

En ese sentido, la sistematización en la observación de los registros de alturas de agua en los ríos principales del país a través de organismos nacionales como Prefectura Naval Argentina permite la realización de evaluaciones de frecuencia de inundaciones con relativa facilidad, habida cuenta que se poseen registros diarios de estos niveles en el Puerto de Corrientes desde principios del siglo pasado.

Este trabajo presenta una metodología de evaluación del riesgo ambiental por inundación del Río Paraná en su valle fluvial aledaño a las ciudades de Resistencia y Corrientes con todos los aditamentos descritos, contemplando por un lado, la afectación superficial de los anegamientos gracias a la disponibilidad de imágenes satelitales de fechas de las últimas inundaciones mencionadas y por otro, el acceso a los registros de niveles del río en la zona de influencia del estudio, de manera de evaluar la frecuencia de dichas inundaciones y asociarlas a distintas probabilidades de riesgo ambiental, todo esto realizado con la implementación de un sistema de información geográfica adecuado a escala de semi-detalle.

## **Materiales**

A fines del objetivo de este trabajo, se disponen de imágenes satelitales de fechas históricas que cubren la zona de estudio delimitada por el valle fluvial del Río Paraná aledaño a las ciudades de Resistencia y Corrientes (Fig. 2).



**Fig. 2:** Ubicación ciudades de Resistencia y Corrientes, limitadas por el Río Paraná. Fuente: elaboración propia.

Un acercamiento a la zona de estudio es presentado en la Figura 3 a través de una imagen satelital Landsat 5 TM del 02/09/2007.



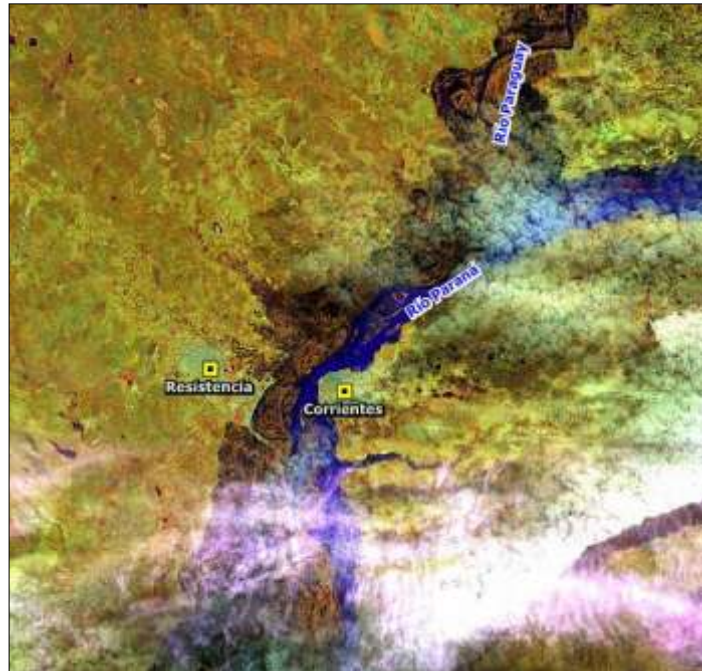
**Fig. 3:** Ubicación de Resistencia y Corrientes sobre una imagen Landsat 5 TM del 02/09/2007.  
Altura Río Paraná en Puerto Corrientes = 2.63m (Fuente: [www.inpe.br](http://www.inpe.br))

La Figura 3 visualiza el cauce principal del Río Paraná, desde aproximadamente su confluencia con el Río Paraguay hasta unos pocos kilómetros aguas abajo de la localización de las ciudades de Resistencia y Corrientes, para una altura hidrométrica de los niveles hídricos del Río Paraná en el Puerto de Corrientes de 2.63 m, según la información brindada por la Prefectura Naval Argentina para ese día en particular.

El restante juego de imágenes satelitales utilizadas en este trabajo se presentan en las Figuras 4, 5 y 6.



**Fig. 4:** Valle fluvial Río Paraná aledaño a Resistencia y Corrientes, en imagen satelital Landsat MSS del 23/07/1983. Altura Río Paraná en Puerto Corrientes = 8.60m (Fuente: Centro de Sensores Remotos - Fuerza Aérea Argentina)



**Fig. 5:** Valle fluvial Río Paraná aledaño a Resistencia y Corrientes, en imagen satelital Landsat 5 TM del 19/05/1992. Altura Río Paraná en Puerto Corrientes = 7.20m (Fuente: [www.inpe.br](http://www.inpe.br))





**Fig. 6:** Valle fluvial Río Paraná aledaño a Resistencia y Corrientes, en imagen satelital Landsat 5 TM del 04/05/1998. Altura Río Paraná en Puerto Corrientes = 8.38m. Fuente: [www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar)

El segundo componente básico para el análisis propuesto en este estudio está conformado por los registros diarios de alturas del Río Paraná en el Puerto Corrientes, registrado por Prefectura Naval Argentina en este sitio desde el 01/01/1904 hasta la fecha, con más de 38.000 valores históricos y publicados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación en su portal web (<http://www.mecon.gov.ar/ssrh>).

Finalmente y como tercer elemento básico del estudio, toda la información satelital ha sido compilada en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9.1 - ESRI), que representa el ámbito ideal para la administración, gestión y procesamiento de datos espaciales georeferenciados y que resulta adecuado para el análisis planteado.

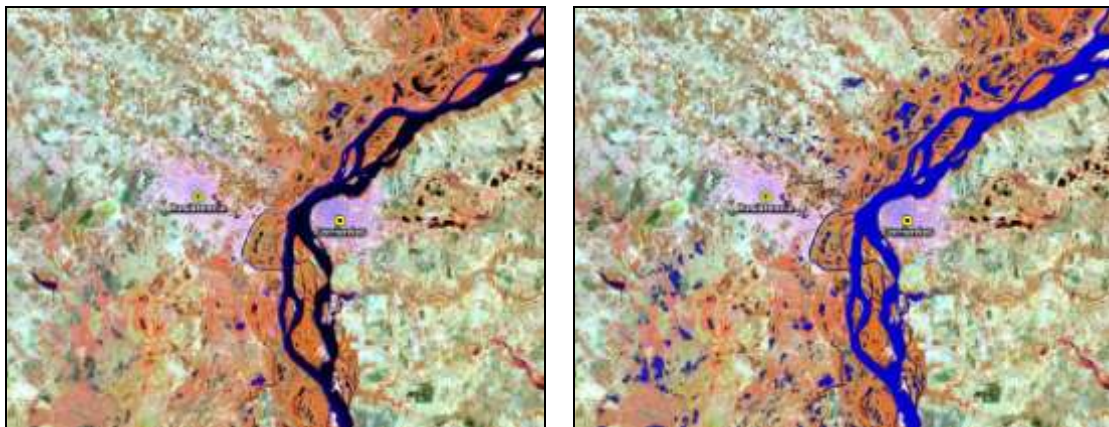
### **Metodología**

Se diferencian tres etapas de trabajo: primeramente, se realiza una zonificación de las áreas afectadas por las inundaciones en cada una de las imágenes satelitales de referencia con el objeto de identificar la afectación areal en esas inundaciones; en segundo lugar, se realiza un procesamiento estadístico - probabilístico con los datos de las alturas máximas anuales del Río Paraná en el Puerto de Corrientes de manera de asignar tiempos de recurrencia a los valores hidrométricos de los cuales se poseen

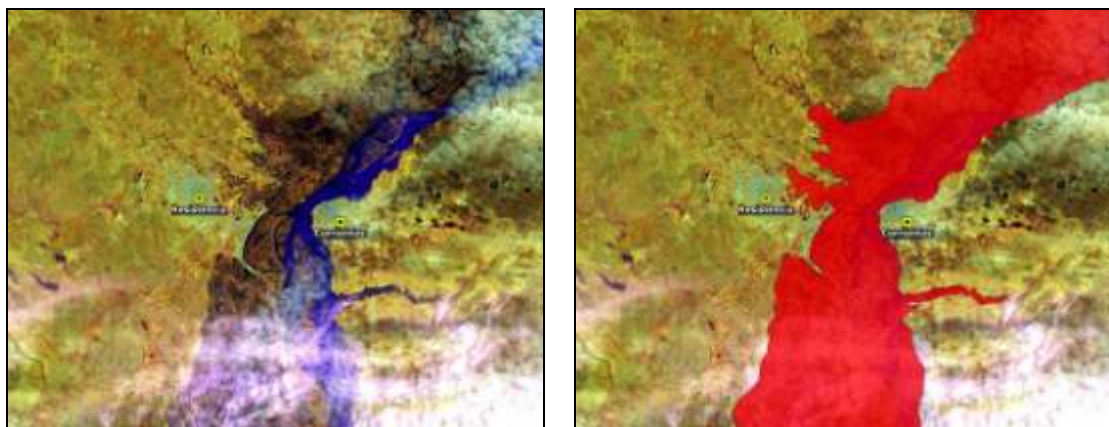
imágenes satelitales. En tercer lugar y en forma indirecta, se determinan distintas frecuencias de ocurrencia de las inundaciones observadas en los registros satelitales, lo que finalmente se traducirá en un mapa zonificado con distintos niveles de riesgo por anegamiento (severo, alto, moderado, normal), de acuerdo a qué tan frecuentes son las crecidas que lo generan y por consiguiente, las superficies de afectación.

### Zonificación de áreas inundadas

A través de técnicas de clasificación de imágenes con SIG, se procedió a realizar el mapeo de las zonas afectadas en cada registro satelital, obteniéndose la conformación planimétrica de las áreas ocupadas por las aguas en cada imagen. En la Figura 7, se aprecia el área ocupada por las aguas bajas en período de limnofase (2.63 m). En las Figuras 8, 9 y 10 correspondientes a períodos de aguas altas o potamofase, se aprecia el resultado de cada una de las delimitaciones de las áreas inundadas.



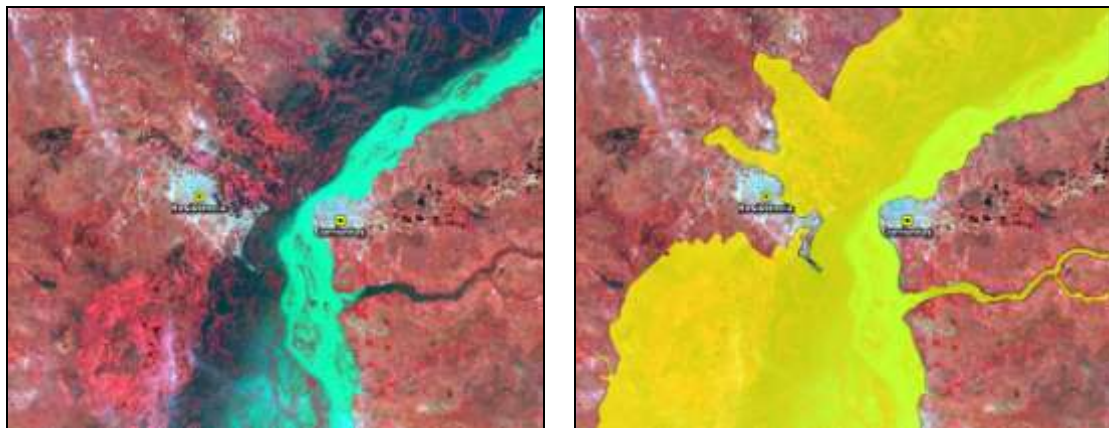
**Fig. 7:** Clasificación Imagen 2007: aguas en limnofase.



**Fig. 8:** Clasificación Imagen 1992: zona inundada 1 en potamofase.



**Fig. 9:** Clasificación Imagen 1998: zona inundada 2 en potamofase.



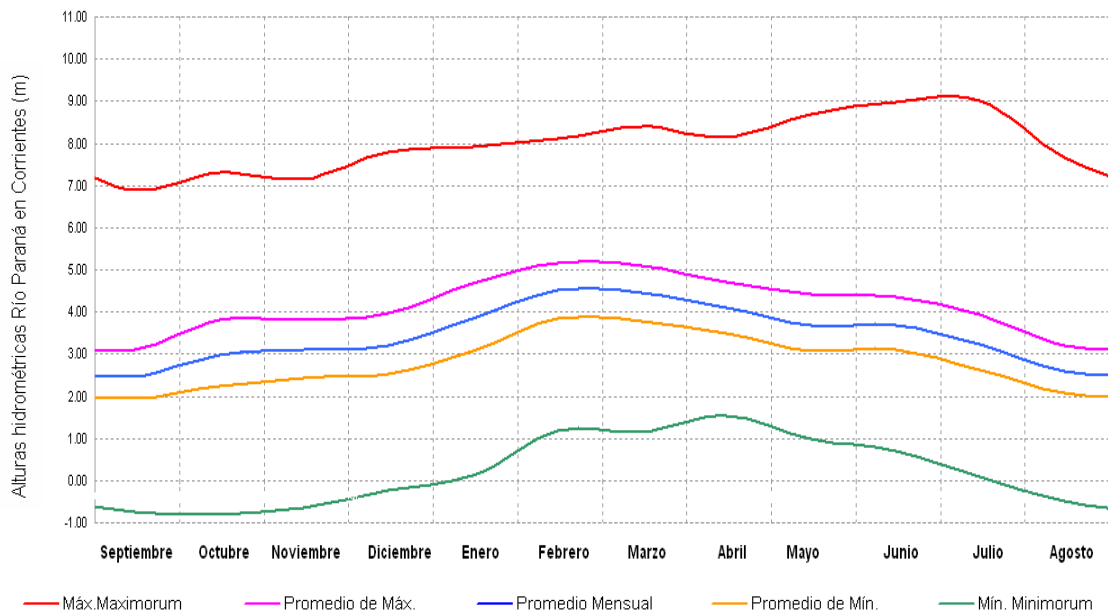
**Fig. 10:** Clasificación Imagen 1983: zona inundada 3 en potamofase.

### Estudio estadístico - probabilístico

La asignación de las frecuencias de ocurrencia de las inundaciones observables en las imágenes satelitales parte del estudio de los niveles hidrométricos del Río Paraná en el Puerto Corrientes. En la Figura 11 se observa una síntesis del procesamiento de dichos valores para los datos diarios tomados por Prefectura Naval Argentina desde 1904 hasta la fecha.

En dicha Figura 11 se puede apreciar claramente los rangos de variación de alturas del Río Paraná en Corrientes en cada uno de los meses que comprende el año hidrológico: se observan los valores de los promedios mensuales históricos, los niveles máximos y mínimos alcanzados en cada uno de los meses (Máx. Maximorum y Mín. Minimorum), como así también los promedios de los máximos y mínimos mensuales históricos.





**Fig. 11:** Síntesis de las alturas hidrométricas del Río Paraná en la sección Puerto Corrientes

Como puede apreciarse, el nivel hidrométrico del Río Paraná ( $H = 2.63\text{m}$ ) de la imagen del año 2007 (Figura 3) es un valor que puede llegar a considerarse como promedio general, mientras que las alturas de los años 1983, 1992 y 1998 ( $H = 8.60\text{m}$ ;  $H = 7.20\text{m}$  y  $H = 8.38\text{m}$  respectivamente), son valores de alturas de agua que indican indudablemente situaciones de inundación.

La estimación de las frecuencias de estas inundaciones se ha realizado con la ayuda de un modelo probabilístico generado a través de la conformación de una serie hidrológica de alturas hidrométricas máximas anuales del Río Paraná en el Puerto Corrientes, para una longitud de serie de 37 años, desde 1970/71 a 2006/07. Es decir, de los 365 valores de alturas diarias que corresponden a un año cualquiera, se ha tomado el mayor valor. Así, puede conformarse esa serie anual de valores máximos que contiene 37 datos (1 por cada año hidrológico), donde ese valor es el que corresponde a la altura máxima para ese año.

A través de la función de distribución teórica de probabilidades propuesta por Pearson (Paoli, et al, 1991), se ha determinado que para dicha serie anual, se corresponden las siguientes recurrencias (Tabla 1) (Chow, 1988).

**Tabla 1:** Tiempos de recurrencia característicos de alturas máximas anuales  
Río Paraná - Puerto Corrientes

Año hidrológico	Altura Río Paraná	Tiempo de recurrencia
1982/83	8.60 m	41.3 años
1997/98	8.38 m	27.1 años
1991/92	7.20 m	4.3 años

La Tabla 1 indica que una inundación de la magnitud que se observa en la imagen satelital del año 1983 y para una altura del Río Paraná en el Puerto Corrientes de 8.60m, puede ser que ocurra una vez cada 41.3 años (es decir que será de una frecuencia muy esporádica). Del mismo modo, es esperable que cada 27.1 años aparezca una inundación de la magnitud que demuestra la imagen del año 1998 (es decir poco frecuente o leve). Asimismo, la inundación que se presenta en la imagen del año 1992 es razonable que ocurra con una mayor frecuencia que las anteriores, es decir, al menos una vez cada 4.3 años (moderadamente frecuente).

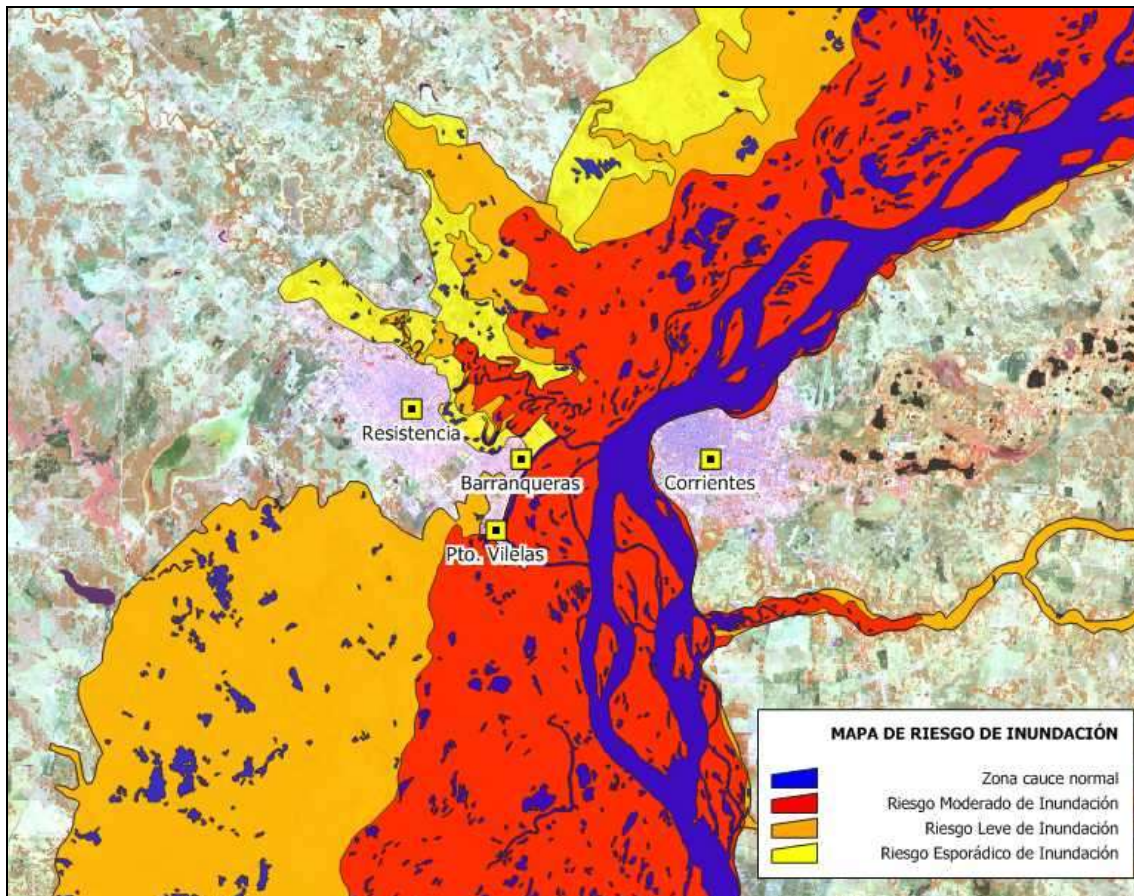
#### Categorías de riesgo de inundación

Finalmente, las distintas frecuencias de las inundaciones determinadas en el paso anterior especifican distintos grados o categorías de riesgo de inundación. Por un lado, aquellas inundaciones que ocurren una vez cada 41 años pueden considerarse como “*muy esporádicas*” mientras que aquellas que se dan una vez cada 27 años serán “*poco frecuentes*” y las que acontezcan una vez cada 4 años serán “*moderadamente frecuentes*”. Por otra parte, y en base a trabajos anteriores, puede considerarse razonablemente que la situación normal del Río Paraná es aquella en donde la altura del río es un promedio de todos sus valores históricos (Valiente, 2003).

De esta forma y realizado todo el procesamiento descrito, puede conformarse un mapa de zonificación de riesgo ambiental por inundación compilado de acuerdo a las frecuencias de los anegamientos que fueron obtenidos con cada una de las imágenes satelitales.

## Discusión de Resultados

A través de la compilación en un sistema de información geográfica se obtuvo el mapa final de zonificación ambiental por riesgo de inundación que es presentado en la Figura 12.



**Fig. 12:** Mapa de zonificación de riesgo ambiental por inundación del valle fluvial del Río Paraná aledaño a las ciudades de Resistencia y Corrientes

La visualización del mapa de riesgo de inundación ofrece dos rasgos relevantes: por un lado, se observa el casco urbano de la ciudad de Resistencia junto a las ciudades portuarias de Puerto Vilelas y Barranqueras que están ubicadas casi por completo en el valle de inundación del Río Paraná, hecho que ha ocasionado innumerables cuestionamientos de toda índole y por otro, se observa con nitidez que la expansión del Río Paraná en épocas de creciente se desarrolla con mayor amplitud hacia la margen derecha (hacia el Oeste) y muy poco hacia la margen izquierda, es decir, hacia la Provincia de Corrientes.

Las distintas definiciones o categorías de riesgo de inundación utilizadas en este trabajo, hacen referencia exclusiva a la periodicidad o frecuencia de las crecidas del río Paraná, ya que su concepción es estrictamente hidrológica. Sin embargo y como se aprecia en el mapa final de riesgo, la zona con riesgo moderado de inundación, tomada como el área que ocupa la mancha de inundación en la imagen del año 1992, afecta a las áreas urbanas de Puerto Vilelas y Barranqueras. Esto indica que estos centros estarán amenazados con una frecuencia periódica o moderada a los embates del río Paraná. En una situación similar aunque no tan frecuente o leve, estará sometida parte de la ciudad de Resistencia (ver imagen de 1998), y la zona de los Bajos de Tacuarí. Como extremo final, la ciudad entera de Resistencia y parte de la Ruta Nacional N° 11 por su condición vulnerable de ubicación en la terraza T<sub>0</sub> del río Paraná, estará amenazada al menos una vez cada 41 años (inundación año 1983), es decir en forma esporádica.

Se concluye finalmente que al ser los niveles de riesgo estimados con referencia sólo a la periodicidad de las crecidas, resulta claramente visible que la ocupación del valle fluvial del río Paraná va en aumento cuanto más esporádicas son las inundaciones extremas.

Es decir que a pesar que los niveles de riesgo van decreciendo cuando mayor es la inundación según la jerarquización tomada en este estudio, el área de afectación será tanto mayor cuanto menos frecuentes sean las crecidas extraordinarias. Esta vulnerabilidad intrínseca del Área Metropolitana del Gran Resistencia ha requerido importantes obras estructurales de defensa ejecutadas por el estado municipal, provincial y nacional a lo largo del tiempo.

## **Conclusiones**

Este trabajo permitió, establecer una metodología para la zonificación de áreas de riesgo ambiental por inundación en la planicie fluvial del Río Paraná en la zona aledaña a los centros urbanos de Resistencia y Corrientes. La utilización y combinación de información hidrométrica en el Puerto Corrientes, imágenes satelitales de fechas representativas de períodos secos e inundables y un sistema de información geográfica, permitió arribar al resultado obtenido.



Las imágenes satelitales permitieron la identificación de las áreas de afectación determinando las áreas anegadas por desborde del Río Paraná. El procesamiento de información de alturas diarias del Río Paraná provistas por Prefectura Naval Argentina desde el año 1904 hasta la fecha, permitió determinar las frecuencias de las inundaciones a través del tiempo en función de los registros máximos anuales de dicha variable hidrológica.

Las categorías o niveles de riesgo de ambiental por inundación según las inundaciones son “*esporádicas*”, “*poco frecuentes*” o “*moderadamente frecuentes*”, teniendo en cuenta su probabilidad de ocurrencia. Esta jerarquización se materializó finalmente en un mapa de riesgo que contempla los escenarios planteados.

El uso de un sistema de información geográfica se constituyó en una herramienta básica permitiendo además de la obtención de los resultados, la administración y consulta de los datos espaciales. Esto es, a los fines de un manejo ambiental y social de la zona, de gran utilidad a los gestores de un área con singulares características: importantes urbanizaciones, un manejo de cotas a través del represamiento de Yacyretá, declarada sitio RAMSAR, entre otras, que imperan al momento de la toma de decisiones al respecto.

## **Bibliografía**

Centro de Sensores Remotos (CENSEREM) - Fuerza Aérea Argentina.

CONAE - Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (www.conae.gov.ar).

Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988) Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, New York.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales - INPE (www.inpe.br).

Neiff, J. J. Río Paraná. Régimen de Pulsos. Dos Situaciones Hidrológicas Contrastadas. Centro de Gestión Ambiental y Ecología - UNNE. En Internet: <http://cegae.unne.edu.ar/docs/pulso.pdf>.

Paoli C, Bolzicco J, Cacik P (1991) Manual del Usuario – Programa Af-multi. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral (FICH – UNL). Santa Fe, Provincia de Santa Fe. República Argentina.

Popolizio, Eliseo (2001) Los cambios de Posición del Valle del Río Paraná a lo Largo de su Historia Geomorfológica. Centro de Geociencias Aplicadas - Facultad de Humanidades - Facultad de Ingeniería - UNNE. En Internet: <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2001/7-Tecnologicas/T-082.pdf>

Valiente MA (2003) Técnicas sugeridas para zonificación de riesgo de inundación en áreas rurales de llanura: Estudio de un caso en el Norte de la República Argentina (“Suggested techniques for flood risk zoning of flat rural areas: A case study in Northern Argentina”). Tesis de Maestría en Ciencia No. 007/2003 del Programa Water and Environmental Resources Managemet. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft, The Netherlands.