



**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

Rosario, 08 de Noviembre de 2022

A partir que ha tomado estado público el posible asentamiento de viviendas residenciales permanentes dentro del territorio que originalmente se encontraba destinado para el embalse de la presa de retención de crecidas del arroyo Ludueña, y considerando además que desde el Departamento de Hidráulica (DH) y el CURIHAM (FCEIA-UNR) hemos aportado en el proyecto, construcción, mantenimiento y seguimiento de esta obra de atenuación de crecidas decidimos elaborar y difundir el siguiente informe.

En el documento adjunto se resumen aspectos relacionados con la descripción hidrológica-hidráulica de la cuenca del A° Ludueña y afectaciones en la misma a través de la historia; obras ejecutadas y/o proyectadas.

Particularmente en lo referente a la presa de retención de crecidas del A° Ludueña se describen aspectos técnicos asociados a niveles esperables de agua, superficie afectada y volumen almacenado para diferentes Recurrencias.

También se detallan aspectos técnicos del área hidráulica vinculados con los posibles impactos para ocupaciones permanentes habitacionales dentro del embalse de la presa.

Finalmente, en el documento se realizan conclusiones y recomendaciones.

Dr. Ing. Civil Hernán Stenta. Director del CURIHAM.
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario

Dr. Ing. Civil Carlos Scuderi. Director del Departamento de Hidráulica.
Escuela de Ingeniería Civil.
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
Universidad Nacional de Rosario.



**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

Ante diversas consultas formales e informales tanto de organizaciones sociales como organismos estatales como así también de profesionales independientes y con la importancia que tiene el tema, este Departamento de Hidráulica y el Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario) creemos una obligación difundir este reporte donde se señala claramente el punto de vista de esta institución académica respecto **al posible emplazamiento de viviendas de ocupación permanente dentro del área prevista para el almacenamiento transitorio de escurrimiento superficial en la Presa de Retención de Crecidas del Arroyo Ludueña.**

A partir del conocimiento y activa participación de este estamento universitario desde el inicio del proyecto de la presa de retención de crecidas del arroyo Ludueña desde el año 1983 y teniendo en cuenta que tanto el Departamento de Hidráulica como el CURIHAM, tiene entre sus ejes de experiencia y trayectoria estudios de procesos hidroambientales en los sistemas hídricos de la región, hemos decidido sentar nuestra posición en esta problemática, que se puede sintetizar en las siguientes conclusiones:

En nuestro criterio el territorio con afectación del **embalse no debe ser ocupado por asentamientos humanos permanentes** en zonas donde las cotas originales de terreno natural resulten menores al mapa de inundación correspondiente a recurrencia $R= 100$ años, o sea nivel de terreno natural $Z= 29.45$ m IGN.

En términos de regulación del uso y ocupación del suelo, dentro del embalse, para la zona asociada al mapa de $R= 100$ años ($Z_{max}= 29.45$ m) las restricciones a asentamientos permanentes deben ser del tipo de **PROHIBICIÓN TOTAL**.

Toda interpretación de las leyes provinciales 11730y13246 que puedan dar lugar a una compensación de volúmenes **entendemos que no deben ser aplicadas** pues no se trata solamente de una zona con amenaza de inundación, sino que se trata de un territorio afectado a un embalse, destinado al almacenamiento temporario y lento drenaje para atenuación de crecidas, donde los procesos hidroambientales son mucho más complejos que en una zona ribereña con amenaza que puede ser ocupada temporalmente por las aguas.

Los fundamentos de la prohibición total se basan en los siguientes puntos que tienen que ver con la funcionalidad de la presa; la seguridad de la presa, la seguridad de los habitantes del territorio tanto aguas arriba como aguas debajo de la presa y la preservación de la calidad hidroambiental del territorio.

- (1) Peligrosidad de sobrelevación por acción del viento;
- (2) Elevadas permanencias de los niveles dentro del embalse;
- (3) Degradación hidroambiental de la zona del embalse;
- (4) aumento de amenaza por hipótesis de riesgo de rotura de presa;
- (5) Inadmisibilidad de generar antecedentes o jurisprudencia de ocupación dentro del mapa de $R= 100$ años

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

A continuación se presenta un breve reporte donde se describe documentación antecedente y de carácter disciplinar que sirve como base argumental para sostener la prohibición total señalada.

1. INTRODUCCION

El área tributaria de la cuenca completa del arroyo Ludueña es de 740 km², considerando el cierre correspondiente en la embocadura de sistemas de grandes conductos subterráneos (Bo. Empalme Graneros), previo a su desembocadura en el río Paraná en el barrio Empalme. La cuenca tiene una pendiente media de 1.4 por mil y la red hídrica principal está constituida por el A° Ludueña y los canales Ibarlucea y Funes-Salvat, mientras que en épocas de lluvia se adicionan numerosos y pequeños cursos naturales (cañadones) y artificiales que aportan al escurrimiento. La región se encuentra atravesada por importantes terraplenes tanto viales como ferroviarios. La red de cursos y canales primaria tiene una extensión aproximada de 140 km, en tanto que con el agregado de cunetas y canales secundarios esta longitud de vías de drenaje alcanza los 360 km. En la Fig. 1 se esquematiza la cuenca hidrográfica. Este sistema hídrico comprende total o parcialmente áreas urbanas y/o rurales de los distritos: Granadero Baigorria, Capitán Bermúdez, Ibarlucea, Ricardone, Funes, Roldán, Pujato, Zavalla, Perez, Soldini y Rosario.

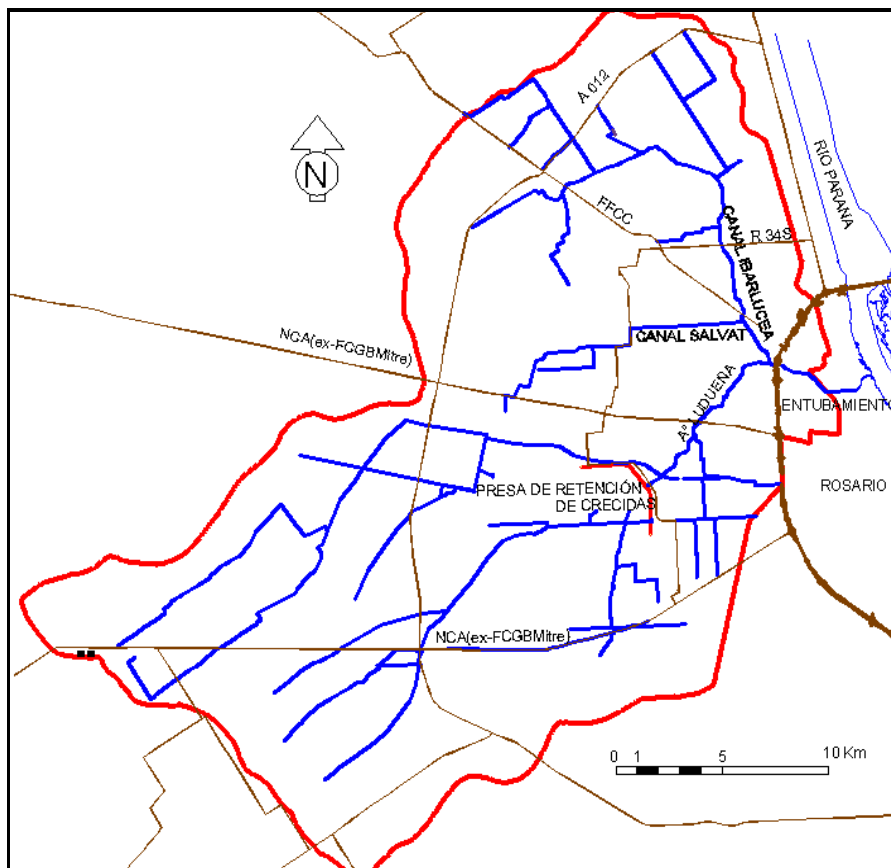


Figura 1. Cuenca Arroyo Ludueña

La densidad de drenaje (Longitud de cursos respecto el área a drenar) considerando solamente los cursos naturales es de 0.19 km/km², en tanto que al cabo de la alteración antrópica alcanzada a la fecha, la densidad de drenaje asciende a aproximadamente 0.50 km/km², lo que conforma una importante indicador del grado de transformación que ha sufrido la cuenca a través de los años y la actividad humana.

**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

A partir de la década de 1940, se evidencian eventos de inundaciones de distintas gravedades y en distintas zonas de la cuenca, resultando aquellos con mayor impacto sobre la población en las zonas urbanas y periurbanas en los distritos de Funes y Rosario.

A través del estudio de la evolución histórica de la cuenca y la generación de aportes superficiales, puede afirmarse que las inundaciones se han producido por factores hidrometeorológicos (en menor medida) asociados a una multiplicidad de acciones antrópicas a saber:

- (a) Factores Hidrometeorológicos: Cambio de régimen de precipitaciones. A pesar que se evidencia un leve aumento de la lluvia media anual, se observa un incremento mayor en la cantidad de eventos lluviosos extremos durante el año. Además, se verifica que las lluvias extremas son precedidas más frecuentemente por lluvias menores que producen la saturación parcial o total del suelo impidiendo la infiltración durante los eventos extremos
- (b) Factores Antrópicos: cambios en los usos de los suelos rurales con cambios de prácticas agropecuarias con cultivos variados a monocultivos (soja) y sustitución de tierras de usos ganaderos a usos agrícolas; proliferación de cuneteos y canalizaciones no planificadas y/o clandestinas; drenaje de bajos naturales; urbanización y consiguiente impermeabilización de superficie urbanas y periurbanas (usos residenciales e industriales) de localidades de la cuenca.

Paralelamente a la presentación de episodios de inundaciones se han realizado obras estructurales y aplicando medidas no estructurales tendientes a controlar y/o mitigar impactos por inundaciones en toda la cuenca y en el distrito Rosario en particular.

Las obras estructurales han involucrado:

- (i) Canalizaciones en arroyo Ludueña, Canal Ibarlucea, Canales de la Legua y Media Legua, Salvat entre otros;
- (ii) terraplenamientos; (iii) alcantarillas y puentes; (iv) Presa de retención de crecidas sobre rama del arroyo Ludueña;
- (v) Grandes conductos subterráneos; (vi) Obras de protección de márgenes y Disipadores de energía

En tanto que las medidas no estructurales comprendieron:

- (i) Mapeos de zonas inundables; (ii) Control de urbanización en zonas inundables; (iii) Legislación y políticas públicas para control de aportes superficiales; (iv) legislación de uso y control del suelo; (v) sistema de mediciones de variables hidrometeorológicas y sistema de alerta hidrológico temprana (actualmente desmantelado); (vi) definición de planes de contingencia en eventos críticos de inundaciones.

A pesar de todas las acciones estructurales y no estructurales puede afirmarse que aún no se ha logrado la sostenibilidad en la producción y control de los escurrimientos superficiales.

Evolución histórica de la demanda de obras para evitar inundaciones en la zona de desembocadura del Ao Ludueña en Distrito Rosario

En la Figura 2 queda muy evidenciado cómo ha aumentado notablemente la demanda de capacidad de conducción de escurrimiento pluvial en la zona del distrito Rosario, debido a cambios antrópicos en la cuenca.

Cuando en la década de 1940 bastaron 23 m² de sección transversal de conductos subterráneos para permitir la evacuación de crecidas extremas, llegamos a 2007 con una demanda de capacidad de aproximadamente 150 m², con el agregado que dentro de la cuenca se realizó una importantísima obra de atenuación de crecidas sobre la rama del arroyo Ludueña. Podemos afirmar que en 70 años los caudales máximos se multiplicaron alrededor de 7 veces.

Cabe destacar los resultados obtenidos en los estudios de Rehidrología de la cuenca, realizados por el Departamento de Hidráulica de la Facultad Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (2008 y 2009). En este sentido los nuevos escenarios de proyecto de modo de asegurar la protección ante inundaciones del arroyo en distrito Rosario para una recurrencia de R= 100 años y para un estado de aguas medias del río Paraná, han determinado que la capacidad de

**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

evacuación existente al año 2009 resultaba insuficiente y debía aumentarse alrededor de 75 m². Esto dio origen al planteo de varias alternativas de nuevos conductos subterráneos en el distrito Rosario y a indagar en otras alternativas con almacenamientos temporarios en zonas fuera de Rosario de modo de atenuar los caudales máximos antes de llegar a Rosario.

La alternativa adoptada fue la de secuenciar en etapas la ampliación de la capacidad de descarga en al menos dos conductos. El primer conducto actualmente construido Aliviador 3 – Conducto Sorrento- con aproximadamente 20 m²) y un 2do conducto a construir en el futuro denominado Aliviador 3 – Conducto Grandoli-. Este último fue pensado para captar caudales directamente desde el canal Ibarlucea a la altura de calle Grandoli, luego con traza hacia el este hasta Avda. de Circunvalación y luego hacia el norte, bordeando la Avda de Circunvalación, hasta la desembocadura en el río Paraná en la zona norte de Rosario.

Una variante a la construcción del Aliviador 3 – Conducto Grandoli- que se planteara por parte del Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente (luego Ministerio de Infraestructura y Transporte) en 2015, es una serie de 4 presas atenuadoras de crecidas en 4 zonas de la cuenca media y alta del arroyo Ludueña. Esto constituye un planteo de regulación de caudales, en sitios más cercanos a los lugares de generación de parte del escurrimiento superficial. No obstante, en los estudios del 2009, el planteo de nuevas presas y embalses no fue recibido favorablemente por actores sociales directamente afectados por la posible construcción de tales obras.

**EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN
ARROYO LUDUEÑA PARA CRECIDA CENTENARIA**

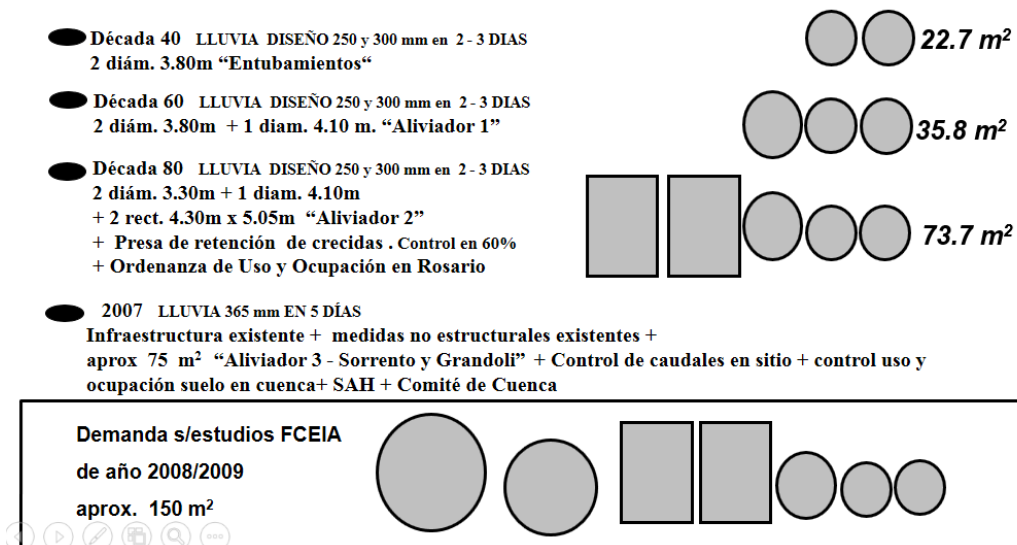


Figura 2. Evolución de la demanda de la capacidad de descarga de Arroyo Ludueña 1940 – 2009

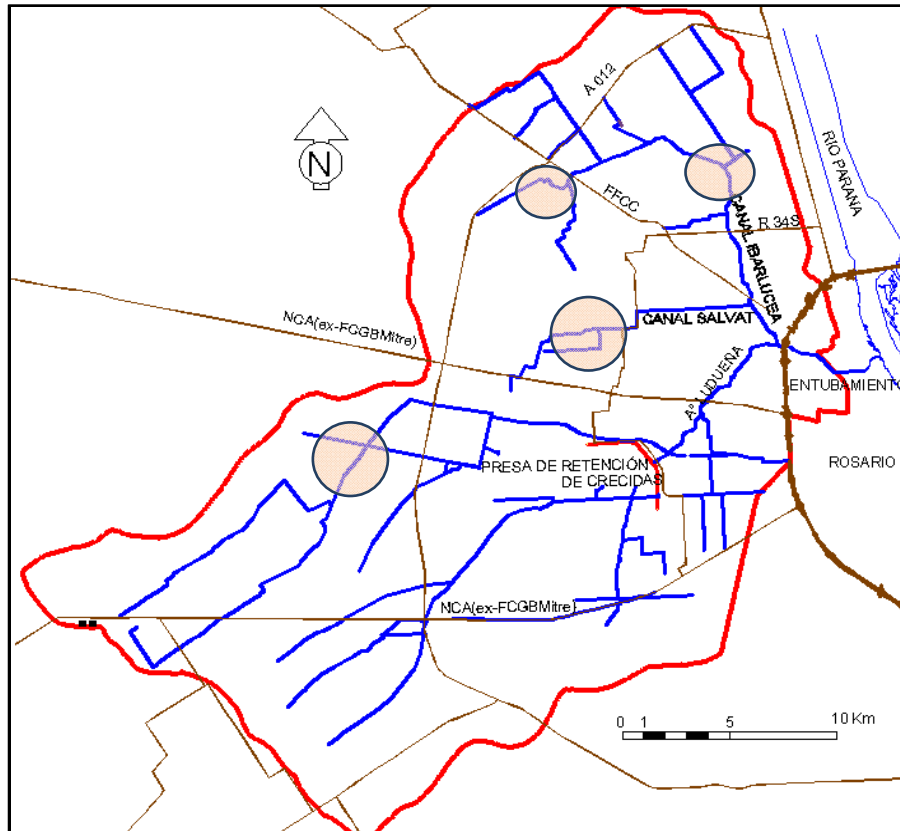


Figura 3. Posición tentativa de los reservorios de acuerdo a Proyecto de Alternativas de Regulación en Cuenca Media y Alta propuesta por el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente en 2015.

Debe mencionarse que posteriormente a los estudios de Rehidrología del año 2009, se desarrolló un Sistema de Alerta Hidrológica Temprana constituido por una red de sensores que median en tiempo real variables como lluvia, niveles de agua y otras variables hidrológicas de interés, acoplado con un sistema computacional que, en base a la información en tiempo real, permitía establecer un pronóstico a corto y mediano plazo de la posible variación de los niveles del arroyo Ludueña. Esto conformaba una importante acción no estructural que permite emitir avisos de alerta de inundación ante determinados eventos de modo de permitir algún tipo de evacuación o acción para mitigar los posibles daños por las inundaciones. Además, el uso posterior de la información hidrológica aforada en cada evento lluvioso (de pequeña o gran envergadura) hubiese permitido seguir de cerca posibles cambios en la respuesta de la cuenca ante la evolución de la actividad humana en los últimos 10 años. Lamentablemente por déficit de la gestión de los organismos estatales involucrados, el sistema de alerta nunca llegó a funcionar en forma adecuada y los posibles beneficios con que se diseñó, nunca pudieron aprovecharse.

2. LA PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS DEL ARROYO LUDUEÑA.

En una descripción muy sintética podemos describir que la presa de retención de crecidas regula aproximadamente 360 km² de aporte superficiales del sistema hídrico completo y su efecto mitigador de crecidas se manifiesta en todo el resto del sistema hídrico en la dirección aguas abajo. La presa está constituida por (1) un terraplén de tierra seleccionada con cota superior +32.50 m IGN; (2) una obra de descarga conformada por un vertedero de 45 m de largo y cota de coronamiento CCV= 29.00 m IGN y 7 orificios circulares de 1.00 m de diámetro y (3) un embalse que aporta el almacenamiento temporario de flujo para la laminación de crecidas en el rango de probabilidades anuales de ocurrencias estudiadas desde 1 a 1/10000 (Recurrencia desde 1 año a 10000 años).

**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

De acuerdo a los estudios realizados en el proyecto original, las cotas de agua, áreas y volúmenes del embalse y recurrencias asociadas a los eventos son la que se presentan en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1. Características del embalse

Recurrencia R(años)	Cota Z(m)	Superficie S (ha)	Volumen V (hm ³)
10000	30.32	2942	81.984
5000	30.22	2899	79.063
2000	30.07	2822	74.773
1000	29.83	2700	68.146
500	29.71	2567	64.986
200	29.51	2542	59.877
100	29.45	2334	58.414
75	29.24	2294	53.555
50	29.12	2241	50.834
25	29.03	2175	48.847
10	28.46	1858	37.353
5	27.99	1601	29.224
2	27.19	1109	18.384
1	24.6	252	0.759
---	24	1	0.000

La cota de coronamiento del vertedero de proyecto es CCV= 29.00 m IGN, en tanto que la cota del embalse prevista correspondiente al diseño de los orificios para R= 100 años, también denominado Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO) es NAMO= 29.45 m.

La cota máxima extraordinaria prevista para R= 10000 años, también denominado Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME) considerada para el diseño hidráulico y verificación estructural del terraplen y vertedero es NAME= 30.32 m IGN.

Para el diseño de la cota de coronamiento de la presa se consideró una revancha por viento de + 2.18 m por sobre NAME, estableciendo un valor de CCP= 32.50 m.

Las direcciones consideradas para los vientos máximos analizados correspondieron a direcciones entre Sur Oeste (SO) y Sur (S) en tanto que se verifica para esas direcciones y según el nivel del embalse que, el fetch asume longitudes entre 6.0 a 6.5 km. El viento máximo considerado correspondió a una velocidad de 105 km/h con duración de la ráfaga de D= 45 min.

En la Figura 4 se presenta una copia del plano original del anteproyecto de afectaciones permanentes para R= 1 año y R= 100 años, delimitado en oportunidad de la elaboración del proyecto ejecutivo, conjuntamente con el plano de divisiones catastrales de 1986.

En la Figura 5 se presentan las curvas de afectaciones trazadas a partir del modelo digital del terreno considerado en el proyecto ejecutivo de las obras y asociadas a recurrencias y cotas presentadas en la Tabla 1, superpuestas con una imagen Google Earth © actual. En la Figura 6 se presenta una ampliación de la anterior figura con un detalle del predio a intervenir, donde se puede apreciar que la mayor parte del predio queda incluida en la curva de 10 años de recurrencia.

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil) Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

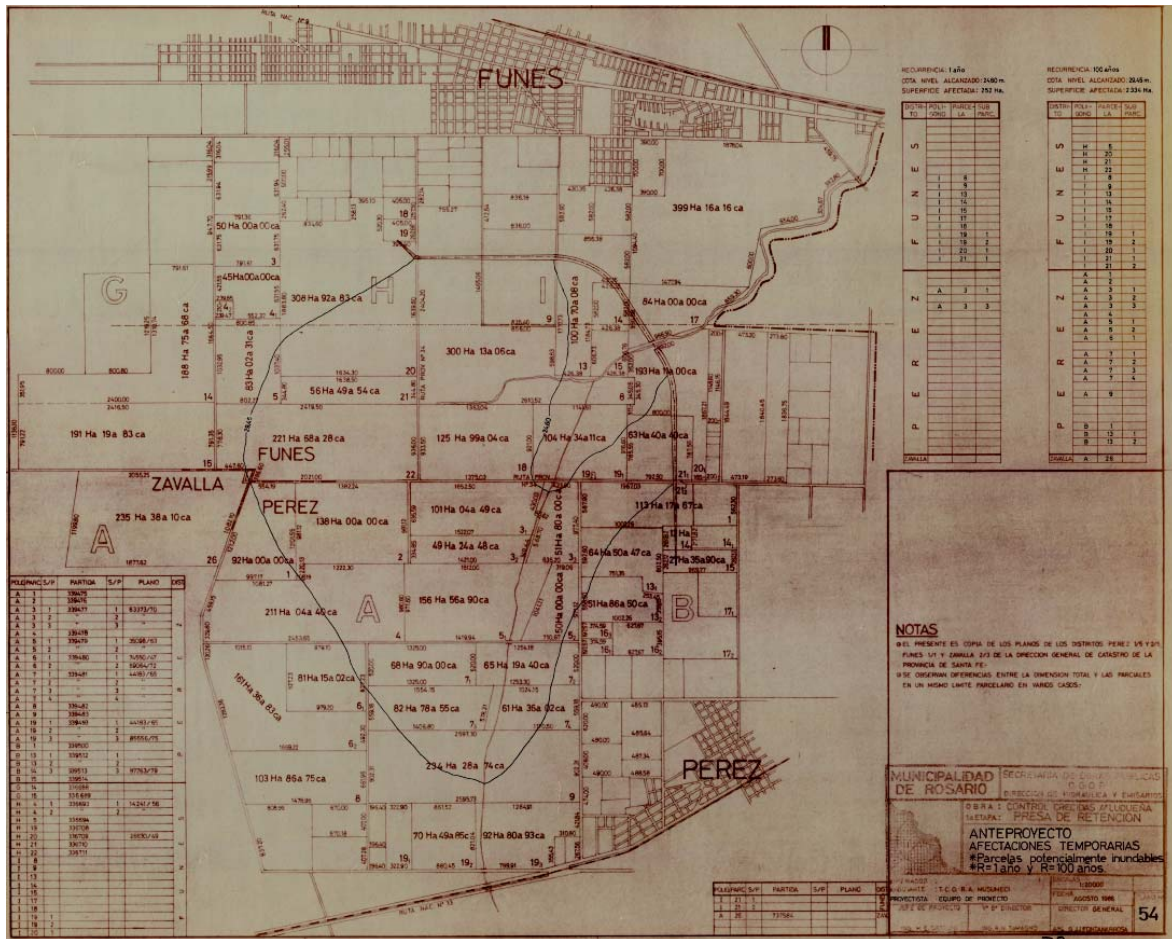


Figura 4. Copia de plano de Anteproyecto de Afectaciones Temporarias (1986) para R= 1 y 100 años

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
 Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
 Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

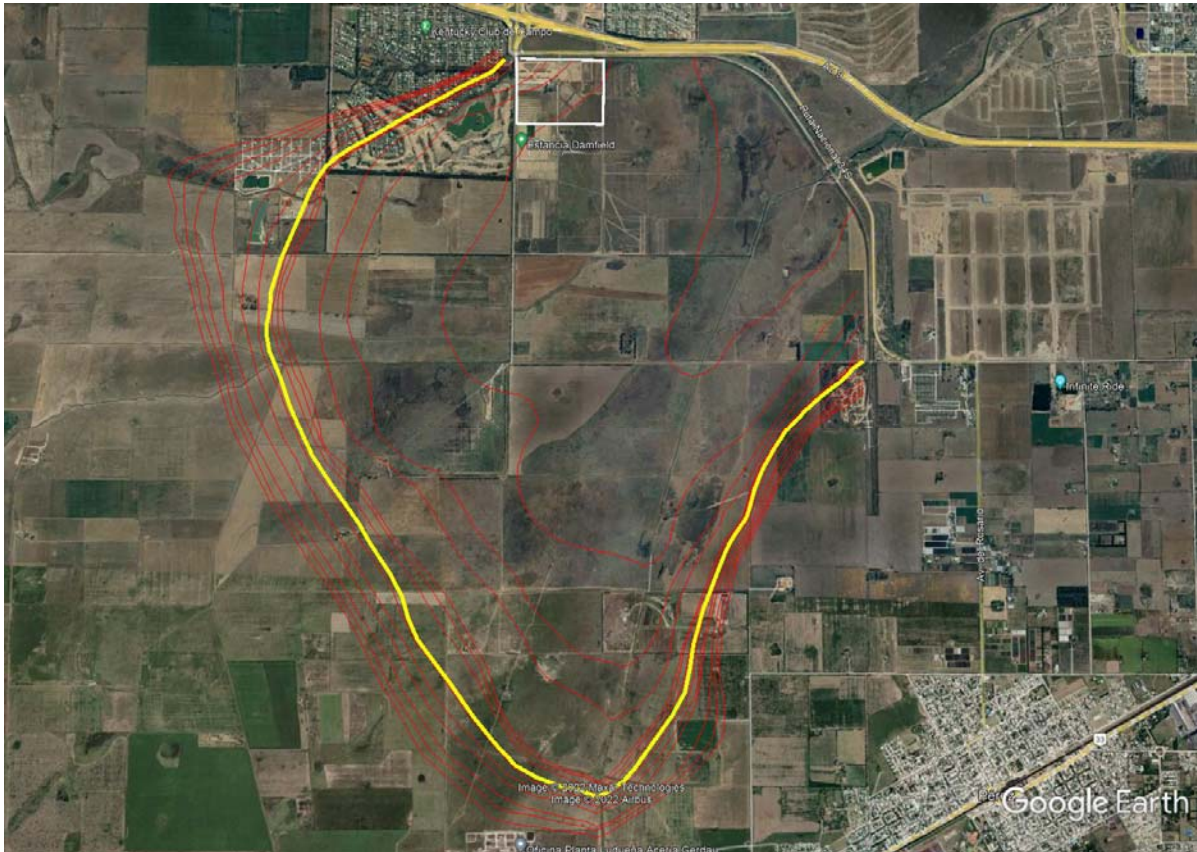


Figura 5. Zonas afectadas a diferentes niveles de inundación del embalse. En amarillo mapa R= 100 años Z= 29.45 m IGN



Figura 6. Detalle de Zonas afectadas a diferentes niveles de inundación del embalse en las proximidades del emprendimiento. En amarillo mapa R= 100 años Z= 29.45 m IGN

3. SOBRE LA OCUPACIÓN DEL TERRITORIO INVOLUCRADO PARA EL EMBALSE

Para el posible uso y ocupación del suelo en el área afectada al embalse se considera imprescindible dejar liberado de todo asentamiento permanente de población humana hasta la cota original del terreno asociada a R= 100 años NAMO= 29.45 m. En tanto que puede definirse una zona con restricciones de uso y ocupación por parte de asentamientos humanos permanentes hasta la cota NAME= 30.32 m

Ante la interpretación de la legislación vigente sobre definición de áreas de impactos mayores y menores en el valle de inundación de cualquier curso de la provincia de Santa Fe, donde bajo determinados mecanismos de compensación de volúmenes puede llegar a ocuparse en forma permanente zonas afectadas dentro de los mapas de inundación de R= 100 años, queremos dejar bien establecido que las áreas dentro del embalse no pueden estar sujetas a ningún tipo de compensación pues existen varias causas fundamentales de diferenciación que hacen la zona con mayor peligrosidad de inundación, entre las que podemos citar:

(A) SOBRE ELEVACION DE LA SUPERFICIE DE AGUA POR VIENTO

En un embalse, debido a la extensión territorial de la superficie mojada en una crecida, adquiere magnitudes importantes la sobre elevación por viento. Tengamos presente que bajo hipótesis de ráfagas de viento entre 60 a 110 km/h y con una alineación S, se determinan según el nivel de agua del embalse, fetch entre 4.0 km a 6.0 km en la dirección del posible emplazamiento de viviendas permanente, lo que resulta en altura de olas significantes entre 0.75 m a 1.70 m, pudiendo llegar a aumentarse dichas alturas por sobre elevación por remanso y trepada de la ola. Por lo tanto no solo debe considerarse la cota de agua en aproximación de

superficie de agua horizontal en el embalse (piscina nivelada), sino el necesario agregado de la sobrelevación por viento. En la Figura 7 se presenta la relación fetch – velocidad de viento – duración de ráfaga y altura de ola significante.

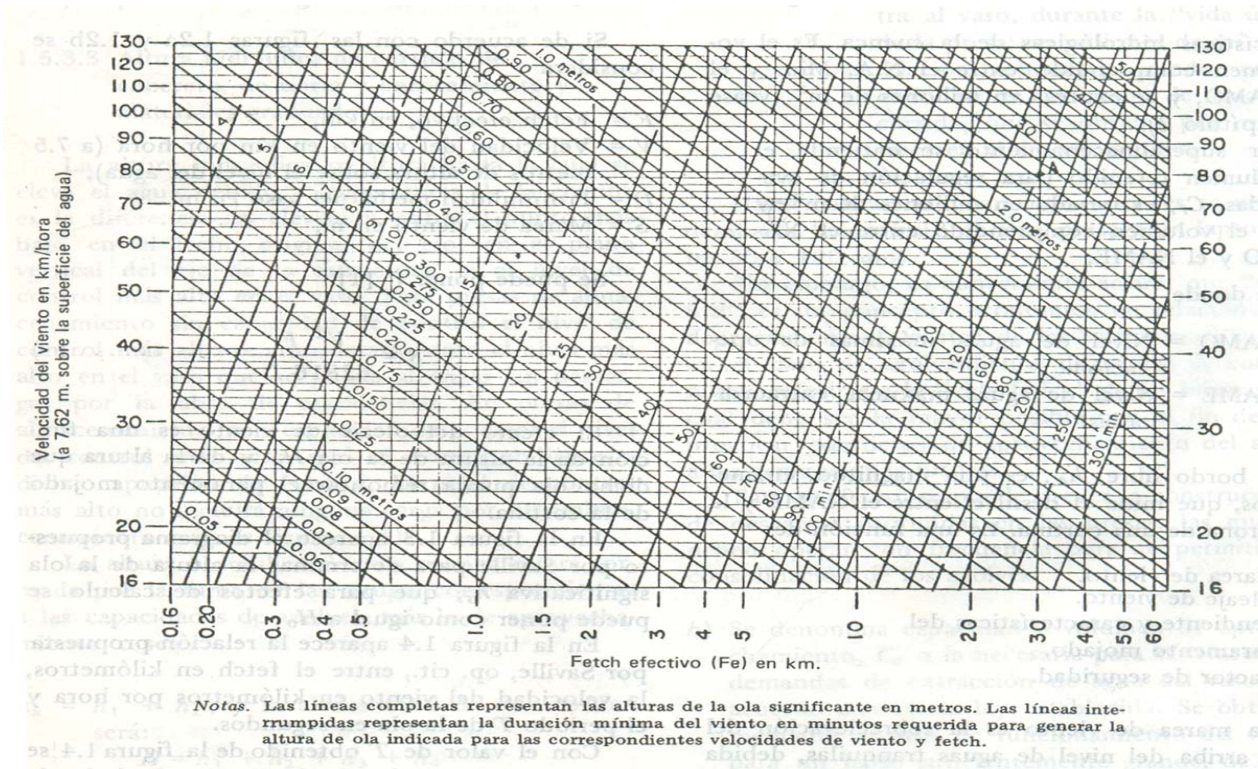


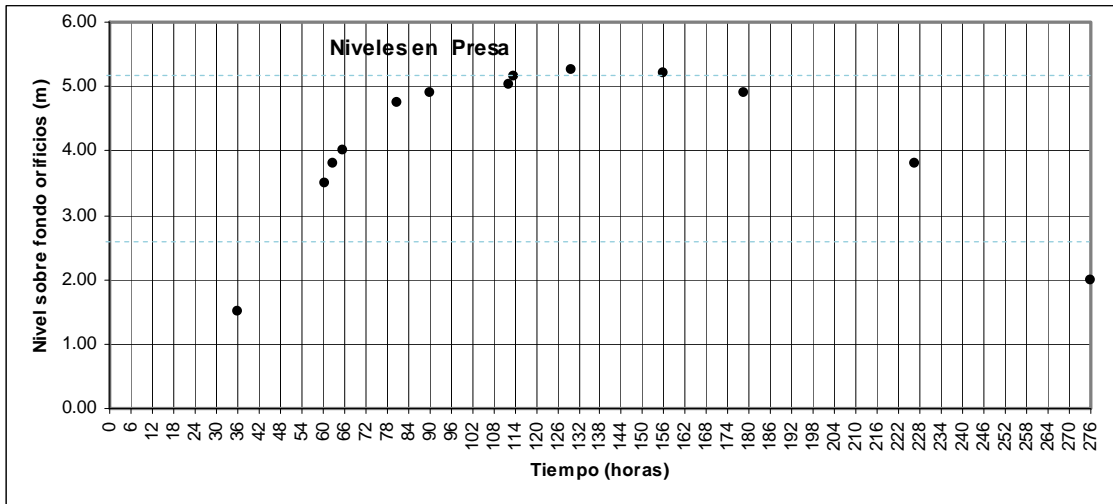
Figura 7. Relación fetch-velocidad de viento- duración de ráfaga y altura de ola significante

(B) PERMANENCIA DE NIVELES

Otro factor por lo cual se entiende que debe existir una prohibición total de asentamiento humano dentro de la zona de inundación de R= 100 años es la **permanencia**. Claramente puede demostrarse que las permanencias de los niveles aumentan considerablemente (dependiendo de las características morfológicas del embalse, de las obras de descarga, del hidrograma entrante y del estado inicial). Justamente un embalse que produce un mecanismo positivo como es la atenuación de caudales hacia aguas abajo, lo hace a costa de almacenar y retener temporalmente grandes porciones de volúmenes que a su vez lo genera a partir de aumentar las permanencias de los volúmenes medio-altos y altos.

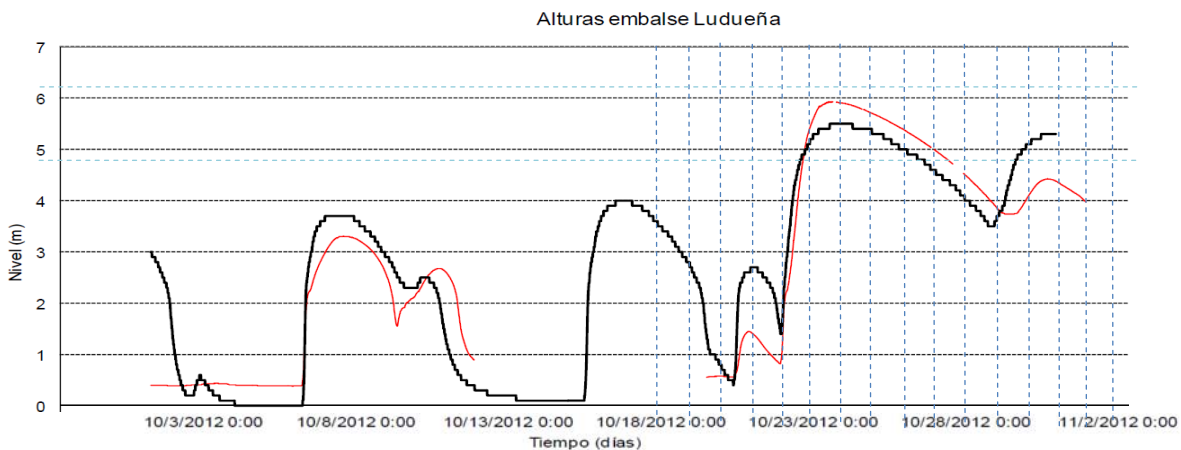
En las figuras siguientes (Figs. 8.1, 8.2 y 8.3) se presentan los limnigramas observados en el embalse en 3 diferentes inundaciones correspondientes a marzo 2007; octubre 2012 y diciembre 2012. En cada caso se presentan también las duraciones observadas para diferentes niveles representativos.

Debe destacarse que, en la crecida de diciembre de 2012, hace menos de 10 años, la zona del predio del asentamiento permanente ha estado inundado, tal como se documenta en fotografía del punto siguiente.



Fecha: 31/03/2007 - Zmax= 27.25 m;
 Z= 24.60 m; Permanencia: 9 días
 Z=27.19 m; Permanencia: 1.7 días

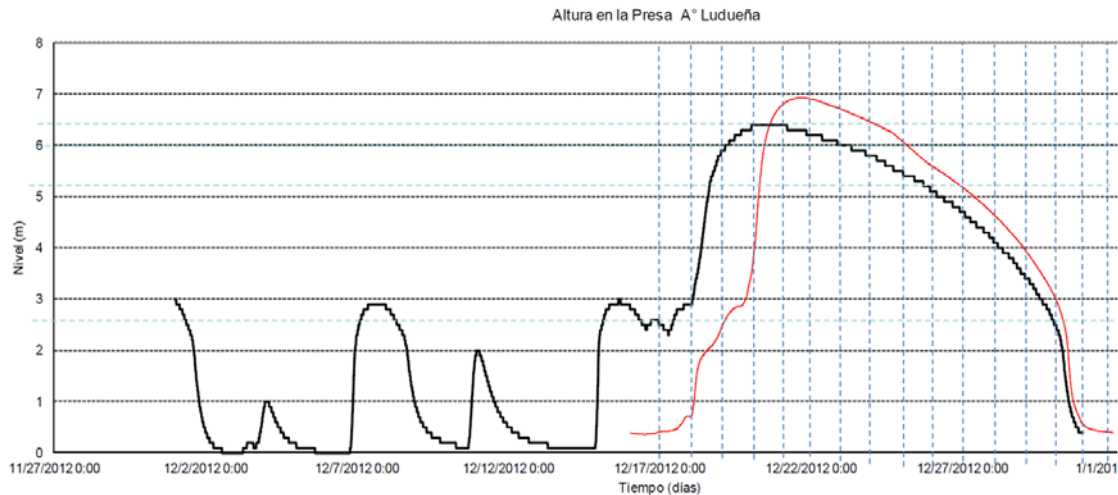
Figura 8.1 Limnigramma en Presa en período 26/03/2007 al 05/04/2007 (0 local = 22.00 m IGN)



Fecha:23/10/2012; Zmax= 27.75 m;
 Z= 24.60 m; Permanencia>11 días
 Z=27.19 m; Permanencia: 3.8 días
 (trazo rojo: nivel observado)

Figura 8.2 Limnigramma Presa 03/10/2012 al 02/11/2012 (0 local = 22.00 m IGN).

Fuente: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEDIDAS DE REGULACIÓN EN LAS CUENCAS MEDIA Y ALTA DE LOS ARROYOS LUDUEÑA y SAN LORENZO. INFORME FINAL (2016) MASPpyMA. Gob. de Santa Fe



Fecha: 21/12/2012 -Zmax= 28,67 m
 Z= 24.60 m Permanencia: 11.2 días
 Z=27.19 m Permanencia: 6.8 días
 Z= 27.99 m Permanencia: 4.7 días
 Z= 28,46 m Permanencia: 3.5 días
 (trazo rojo: nivel observado)

Figura 8.3 Limnigrama Presa 02/12/2012 al 01/01/2013 (0 local = 22,00 m IGN)

Fuente: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEDIDAS DE REGULACIÓN EN LAS CUENCAS MEDIA Y ALTA DE LOS ARROYOS LUDUEÑA y SAN LORENZO. INFORME FINAL (2016) MASPAMA. Gob. de Santa Fe

C. AUMENTODE PELIGROSIDAD DEBIDO A HIPOTESIS DE ROTURA DE PRESA

En toda obra de almacenamiento de agua cuyo colapso pueda generar condiciones de peligrosidad adicional a los habitantes aguas abajo, debe ser analizado el hipotético colapso, a pesar de que la probabilidad de ocurrencia sea mínima. Sin duda, la amenaza de daño también está presente para estructuras dentro del embalse pues al producirse el colapso se genera un aumento brusco de velocidades instantáneas que puede detonar procesos erosivos extremos. Un posible asentamiento humano por dentro de la zona de R= 100 años, también verá aumentada su amenaza por las implicancias que pudiera tener un hipotético colapso del terraplén.

De acuerdo a estudios de Generación y Propagación de Onda de Rotura de Presa, realizado en 1991 por el Departamento de Hidráulica (FCEIA; UNR), el caudal máximo saliente por la hipotética apertura del terraplén (sin precisar el lugar) puede alcanzar valores entre 1250 a 2500 m³/s con un tiempo de vaciado de 38 hs. Por otro lado las velocidades máximas computadas durante el mecanismo de formación de la brecha en el terraplén se establecieron en valores superiores a 5.0 m/s.

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

4. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA INUNDACIONES EN EL EMBALSE en OCTUBRE Y DICIEMBRE DE 2012



Figura 9.1 Zona de vertedero de la presa en momentos de cota máxima + 28.67 m (21/12/2012)



Figura 9.2 Detalle de regla en momento de presentación de cota máxima. Cota 28.67 m (21/12/2012)



Figura 9.3. Vista panorámica de embalse de arroyo Ludueña con la zona del posible asentamiento inundada Cota 27.75 m(24/10 2012).

5. DELIMITACION DE MAPAS DE INUNDACION de R: 100 años y MAPAS DE INUNDACIÓN OBSERVADOS EN EL EMBALSE DE LA PRESA DESDE 2002

En la siguiente secuencia de fotos se presentan los mapas (con trazos aproximado) de las zonas inundadas en el embalse de la presa de retención de crecidas desde 2002 a 2022, con el agregado del mapa de inundación asociado a una recurrencia de R= 100 años.

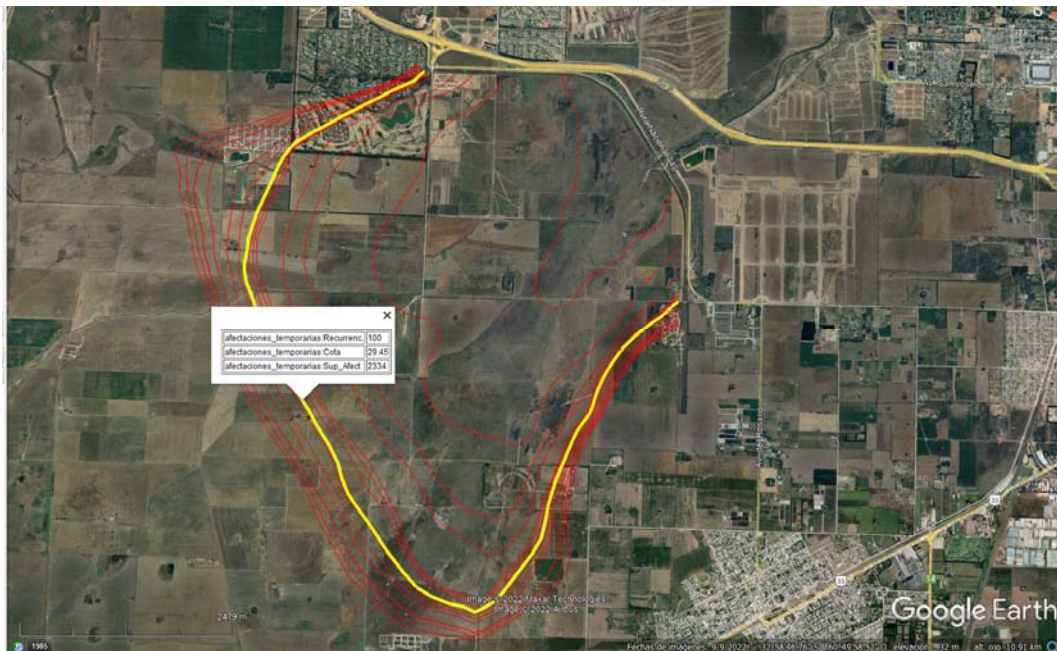


Figura 10.1. Mapa de Inundación de proyecto asociado a R= 100 años. Zmax= 29.45 m (trazo amarillo)

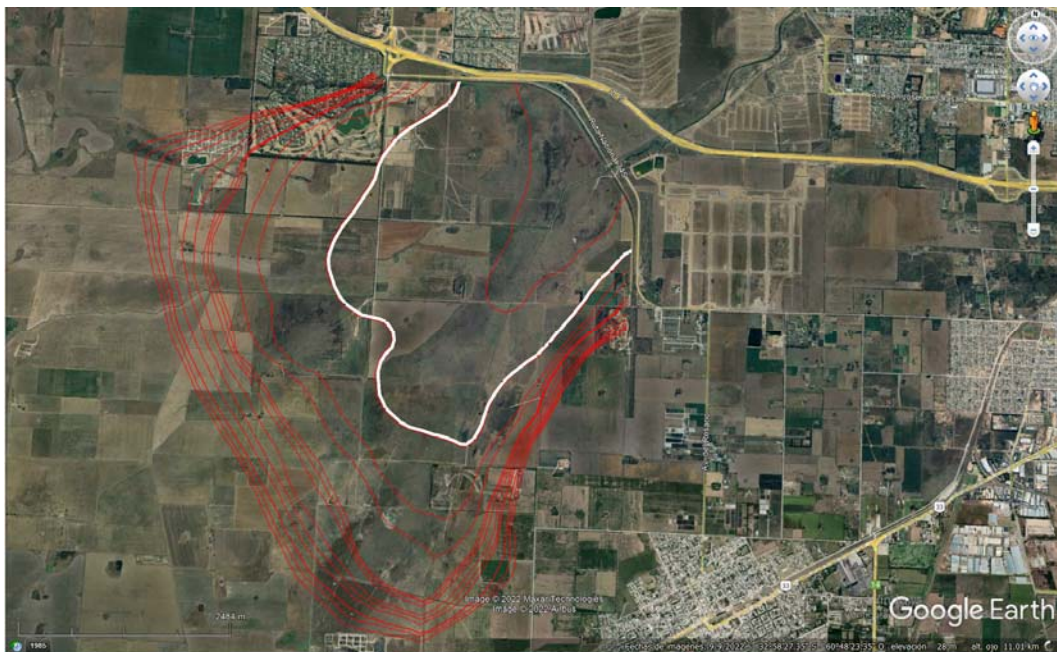


Figura 10.2. Mapa de Inundación Octubre de 2002. Zmax= 27.15 m (trazo blanco)

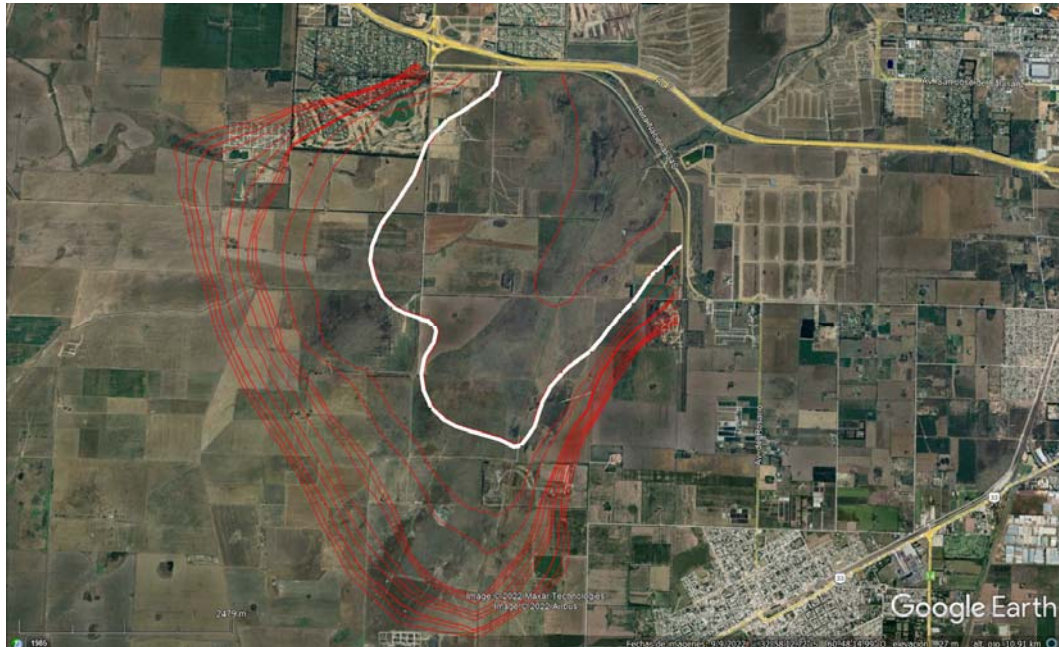


Figura 10.3 Mapa de Inundación Marzo 2007. $Z_{max}= 27.25$ m (trazo blanco)

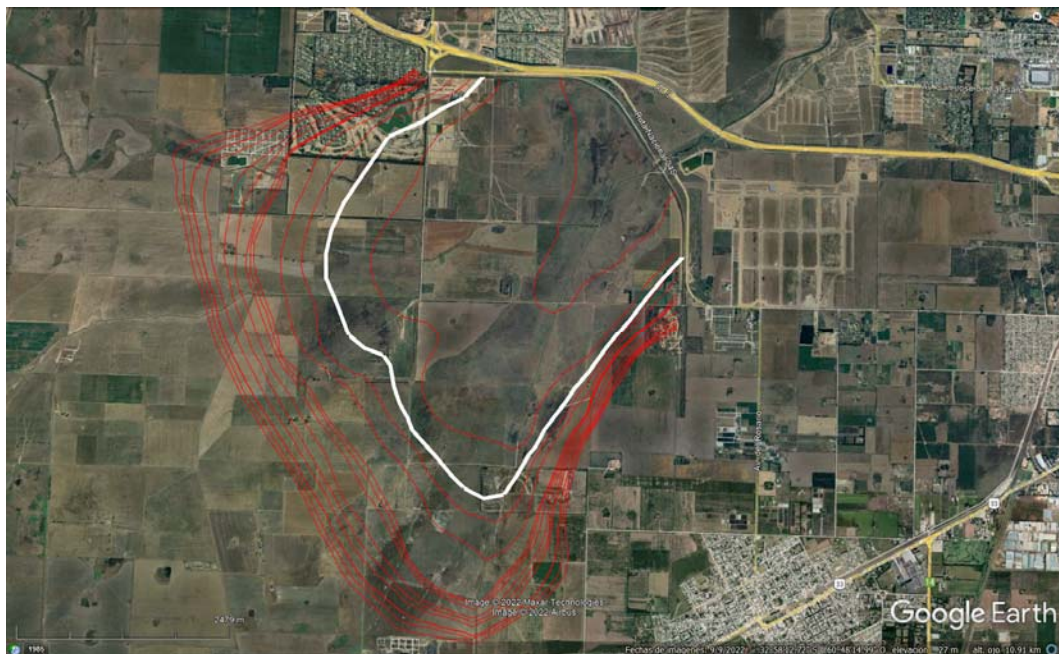


Figura 10.4 Mapa de Inundación Octubre 2012. $Z_{max}= 27.75$ m (trazo blanco)

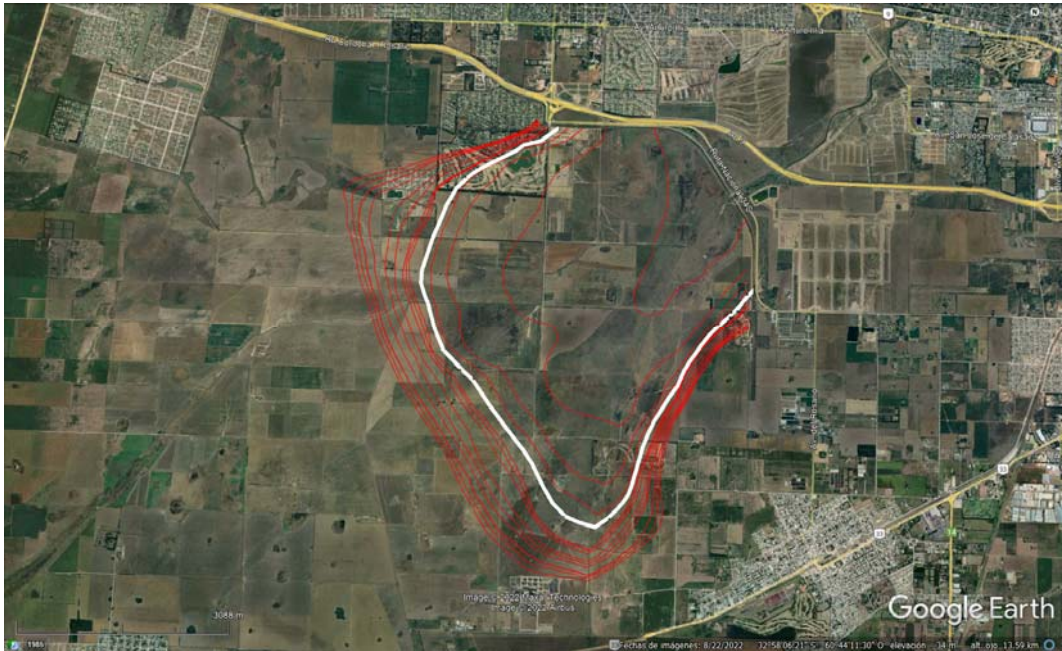


Figura 10.5 Mapa de inundación Diciembre 2012 $Z_{max} = 28.67$ m (trazo blanco)

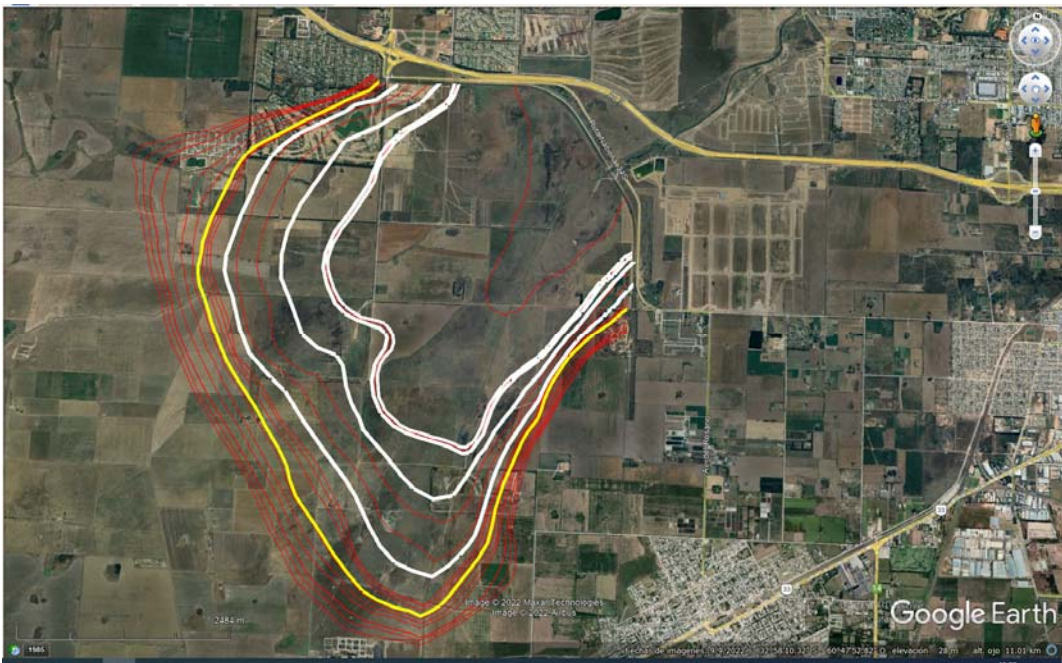


Figura 10.6 Mapas de inundación entre 2002 y 2022 en la presa de retención de crecidas del arroyo Ludueña (trazo blanco); Mapa de $R = 100$ años (trazo amarillo) y Mapas de otras recurrencias (trazo rojo)



**Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales y
Departamento de Hidráulica (Escuela de Ingeniería Civil)
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO**

6. ACERCA DE LA INADMISIBILIDAD DE GENERAR JURISPRUDENCIA CON OCUPACIONES DENTRO DEL MAPA DE R= 100 AÑOS.

Sin lugar a dudas autorizar este caso particular de ocupación del territorio con asentamientos humanos permanentes dentro de la mancha de inundación de R= 100 años puede llegar a constituir un antecedente que pueda ser tomado como argumento para cualquier otro desarrollador urbanístico.

Si el antecedente de ocupación del territorio se admite con validez para cualquier otro emprendimiento, generalizándose el mismo criterio de ocupación del reservorio, la zona libre de asentamientos humanos permanentes, en términos de extensión superficial puede llegar a reducirse muy por debajo de las 2334 Ha previstas originalmente para R= 100 años. En nuestro criterio creemos esto es TOTALMENTE INADMISIBLE.

7. RECOMENDACIONES

Para despejar todo tipo de incerteza sobre la delimitación de los mapas de inundación en el embalse y en función de posibles cambios en los regímenes de lluvia y fundamentalmente en los cambios antrópicos que se han producido en la cuenca de aporte a la presa es altamente recomendable que la autoridad hídrica provincial lleve adelante:

- a) La actualización de los estudios hidrológicos para determinar los hidrogramas de entrada al embalse de la presa para R= 2, 5, 10, 50, 100, 200, 500 y 10000 años.
- b) Relevamiento topográfico de precisión en la zona afectada al embalse, al menos hasta la cota de coronamiento de la presa CCP=+32.50 m IGN. Construcción de nueva curva cota-área y cota-volumen.
- c) Determinación de los hidrogramas salientes por las obras de descarga de la presa y la variación de niveles en el embalse mediante el tránsito de crecidas dentro del embalse.
- d) Determinación de los mapas de inundación del embalse para las recurrencias señaladas en (a)
- e) Definición de los mapas de inundación en las diferentes vías de aporte de caudales al embalse asociados a cada recurrencia.
- f) Determinación de sobreelevación de la superficie de agua debido a la acción del viento dominante.
- g) Determinación de las configuraciones areales y altimétricas más probables de la napa para cada escenario de análisis.
- h) Ante escenarios cambiantes del clima y de las acciones de los habitantes sobre las cuencas, incorporar como práctica habitual en la gestión de los recursos hídricos la actualización de los estudios hidrológicos e hidráulicos cada un cierto periodo.
- i) Medición continua de variables hidrológicas - hidráulicas (lluvias, niveles de agua superficiales, niveles freáticos) en toda la cuenca del A° Ludueña, así como restituir todo el sistema de mediciones del alerta hidrológico en la cuenca del A° Ludueña

Equipo de trabajo:

Dr. Pedro A. Basile
Dr. Gerardo A. Riccardi
Dr. Carlos M. Scuderi
Dr. Hernán R. Stenta
Dr. Erik Zimmermann

Departamento de Hidráulica. Escuela de Ingeniería Civil y Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales.
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario