

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEDIDAS DE REGULACIÓN EN LAS CUENCAS MEDIA Y ALTA DE LOS ARROYOS LUDUEÑA Y SAN LORENZO

Collins Jorge (1,2)Abendaño Germán (1)

(1) Instituto Nacional del Agua CRL , (2) Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas

E-mail: collinsjorge@gmail.com germanabendano@yahoo.com.ar

RESUMEN: En los años 2012 y 2013 se produjo lluvias que superaron en algunas estaciones pluviométricas los 230 mm causando en las cuencas de los arroyos Ludueña y San Lorenzo, anegamientos de importancia en las áreas rurales y urbanas de los distritos de Funes, Roldán, San Jerónimo Sur, Rosario, afectando no solo los cascos ya urbanizados sino también emprendimientos urbanísticos que se desarrollan en forma acelerada hacia el oeste de la ciudad de Rosario. El estudio tuvo su eje en el análisis de la capacidad de regulación de la cuenca media y alta, a través de embalses distribuidos en la cuenca, con el objetivo de atenuar los picos de las crecidas mejorando de esta manera el funcionamiento del sistema actual, que se encuentra al límite sobre todo el sistema de entubados que descargan los excesos al río Paraná. Los resultados obtenidos permiten determinar la capacidad de regulación de la cuenca media y alta del Arroyo Ludueña y del Arroyo San Lorenzo y las subcuencas que más inciden en la formación del caudal máximo en la salida. El estudio fue realizado a partir de la implementación de modelos matemáticos tanto hidrológicos como hidráulicos aplicados a escenarios hidrológicos generados por diferentes tormentas estadísticas y condiciones de humedad del suelo. La implementación de estos reservorios de retención permite disminuir hasta llegar a la anulación de los desbordes de los canales Salvat e Ibarlucea antes de la desembocadura del Arroyo Ludueña.

INSTRUCCIONES GENERALES

Las cuencas de los arroyos Ludueña y San Lorenzo tienen una superficie de 750 Km² y 580 Km² respectivamente, totalizando una superficie de 1330 Km², Figura N° 1, donde las ciudades de Rosario, Pérez, Zavalla, Funes, Roldán y otras, constituyen el conglomerado urbano denominado Gran Rosario.

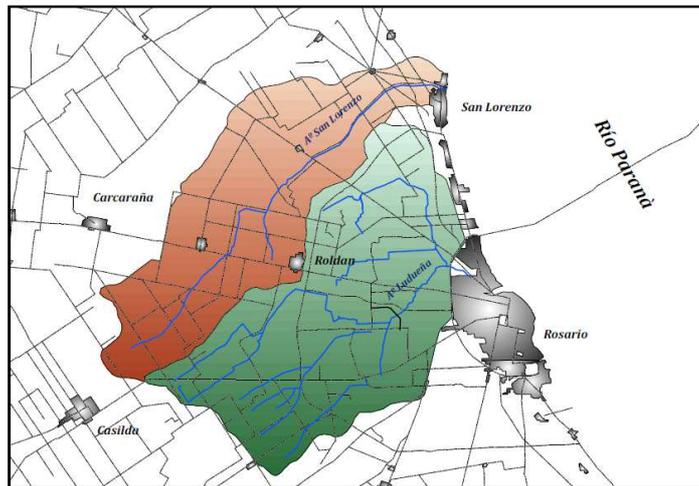


Figura 1.- Cuencas A° Ludueña - A° San Lorenzo

A estas ciudades llegan diferentes accesos viales y ferroviarios en forma radial y otros, circunvalan las ciudades y sus alrededores, dejando superficies encerradas que afectan el sistema escurrimiento natural. Muchos de estos caminos y vías férreas, fueron realizados en diferentes épocas, donde las secciones de paso del escurrimiento superficial son variables y en algunos no coinciden con las líneas principales y secundarias del escurrimiento de las cuencas mencionadas.

La cuenca del Ludueña, se ubica en el sur de la provincia de Santa Fe, se desarrolla de oeste a este, tiene como principal tributario el Canal Ibarlucea, y este su vez tiene como principal tributario al Canal Salvat.

Desde el año 1995 la cuenca que se ve parcialmente regulada por la Presa del A° Ludueña, Figura 2 que se encuentra aguas arriba de la Au Rosario - Córdoba.



Figura 2.- Presa de retención del A° Ludueña

La descarga del A° Ludueña se produce por un sistema de entubados, (Aliviador I Olive, J.B. Justo, Aliviador II - Génova) actualmente se encuentra en etapa de ejecución el conducto Sorrento Figura 3 que

vuelcan sus aguas al Río Paraná. Su salida se encuentra emplazada en la ciudad de Rosario en una zona densamente poblada y los desborde producto de las crecidas afectan a una amplia zona.



Figura 3 .- Conductos de descarga A° Ludueña

La cuenca del arroyo San Lorenzo se encuentra al norte y oeste de la cuenca del Arroyo Ludueña, con una superficie de 580 Km². Limita al sur y este con la Cuenca del Arroyo Ludueña, al oeste con la cuenca del río Carcarañá, al sur con la cuenca del Arroyo La Candelaria y al noreste con el río Paraná. Su red de desagüe natural está constituida por un conjunto de cañadas longitudinales, con un sentido de escurrimiento SO-NE, las que confluyen en una única conducción aguas arriba de la localidad de Palacios, formando luego un único cauce que desemboca en el río Paraná, en la ciudad homónima, causando la misma problemática del A° Ludueña.

Ambas cuencas son cuencas denominadas de llanura, y tienen una pendiente media de 0.0014 m/m, con precipitaciones anuales media que rondan los 1000 mm, en los últimos años sean producidos eventos de una alta intensidad llegando a precipitar 178 mm en un día y totalizando 254 mm en 5 días, como ocurrió en diciembre del 2012. lo que sumado a su deficiente red de drenaje y la expansión de las fronteras urbanizadas provocan un incremento del riesgo de verse afectadas por inundaciones.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO. Se desarrolló una dinámica hídrica superficial de las cuencas altas y medias realizadas a partir de los antecedentes, de la morfología de la superficie del terreno, de las trazas de las obras hidráulicas, viales, ferroviarias, considerando las capacidades de desagües de las mismas y las restricciones o modificaciones al escurrimiento superficial, las que fueron inspeccionadas a partir de las diferentes recorridas de campo donde se visualizaron y midieron las obras existentes, sus dimensiones y la forma del terreno. De la combinación de toda la información se definió los esquemas topológicos de los modelos Figura 3.

Tabla 1.- Valores adoptados Green y Ampt

Cont Inicial (%)	Cont Saturado(%)	Succión (mm)	Cond (mm/h)
0.24	0.48	581	2.5

El evento utilizado para la calibración del modelo es el de octubre de 2012 Grafico 1,

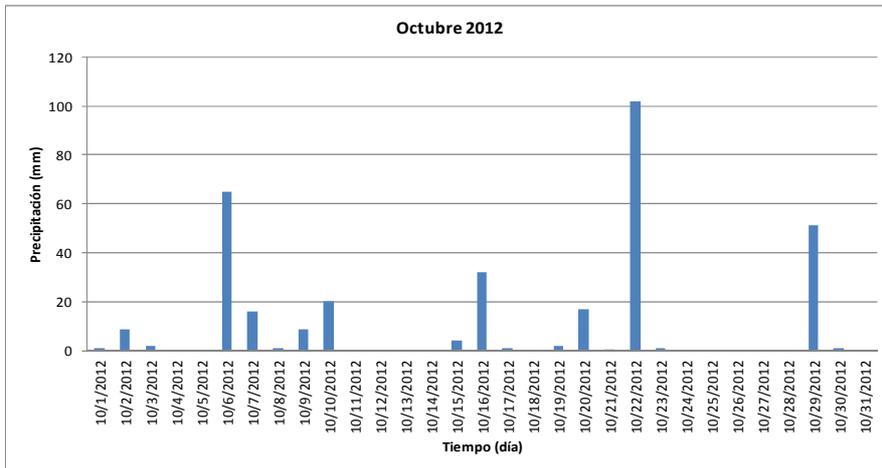


Grafico 1. - Precipitaciones del mes de octubre de 2012

Los resultados del modelo fueron validados en diferentes secciones de acuerdo a la disponibilidad de información hidrométrica que es discontinúa y presenta algunos niveles de inconsistencia. En la Figura 4 muestra la ubicación de las secciones de control sobre los canales Ibarlucea, La Legua, La Media Legua, la presa Ludueña, a la salida de la misma y en la intersección del arroyo Ludueña y la Avenida de Circunvalación, sección de cierre del estudio.

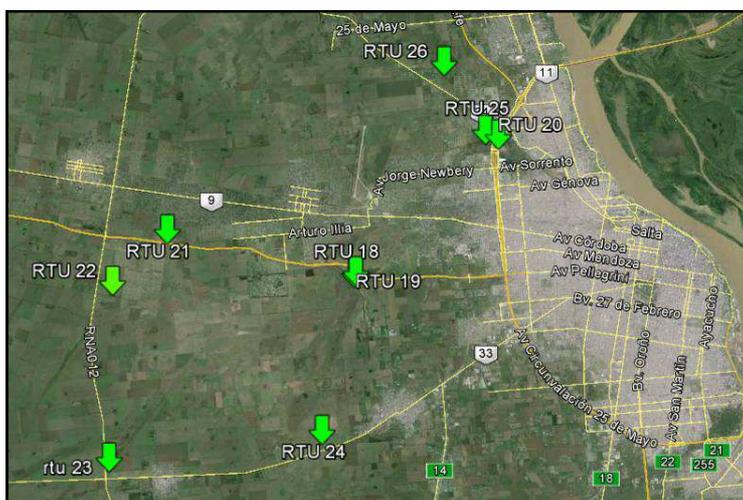


Figura 4.- Ubicaciones de las Estaciones Telemétricas

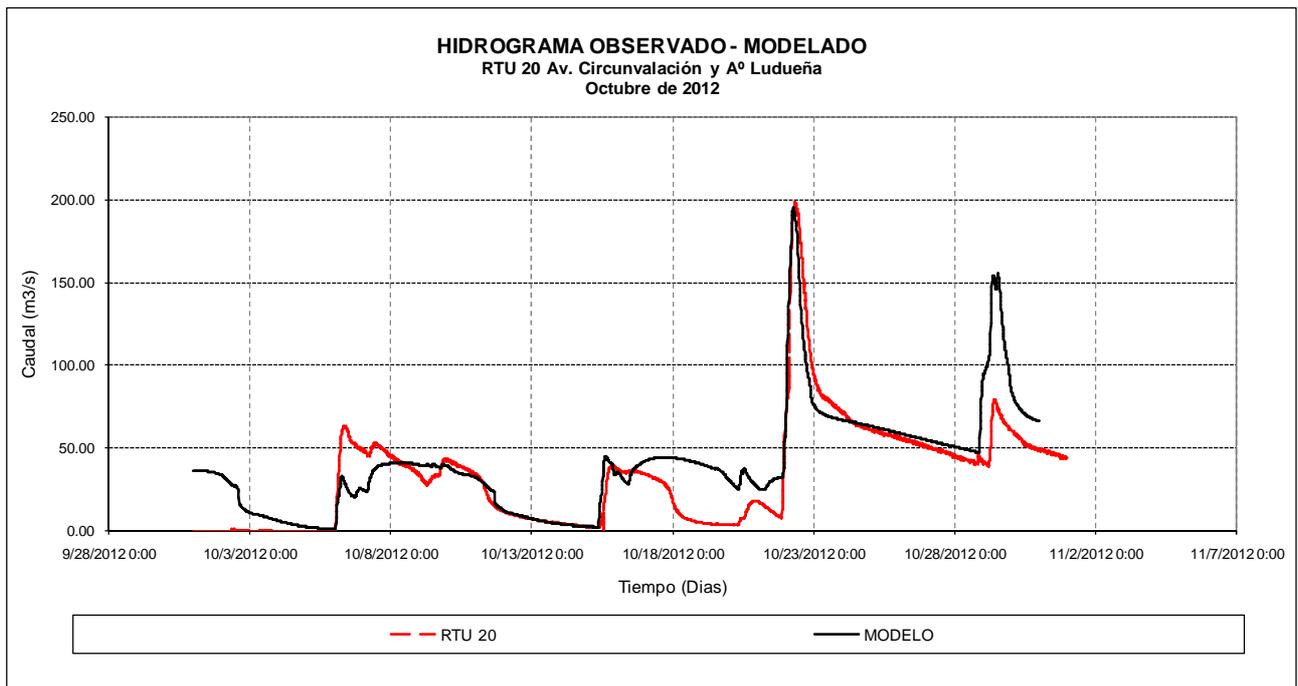


Grafico 2. - Hidrograma de octubre del Arroyo Ludueña en la Avenida de Circunvalación

A partir del ajuste obtenido se aplicó el modelo hidrológico para las tormentas ocurridas en el mes de diciembre 2012, Grafico 3, se validó los resultados con las observaciones realizadas en dicho evento.

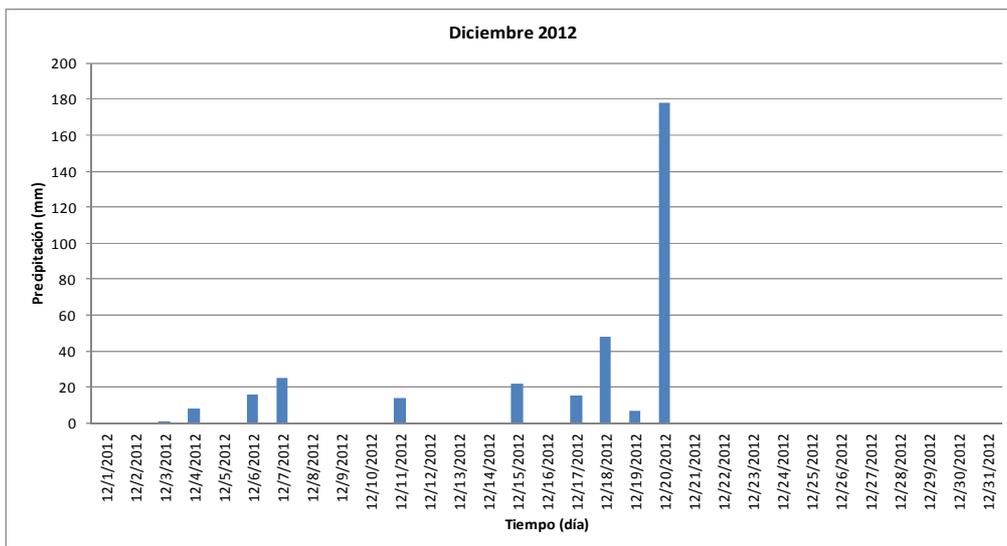


Grafico 3. - Precipitaciones del mes de diciembre de 2012

Como se observa en el Grafico 4 se logra una verificación adecuada del la estructura del modelo y de sus parámetros

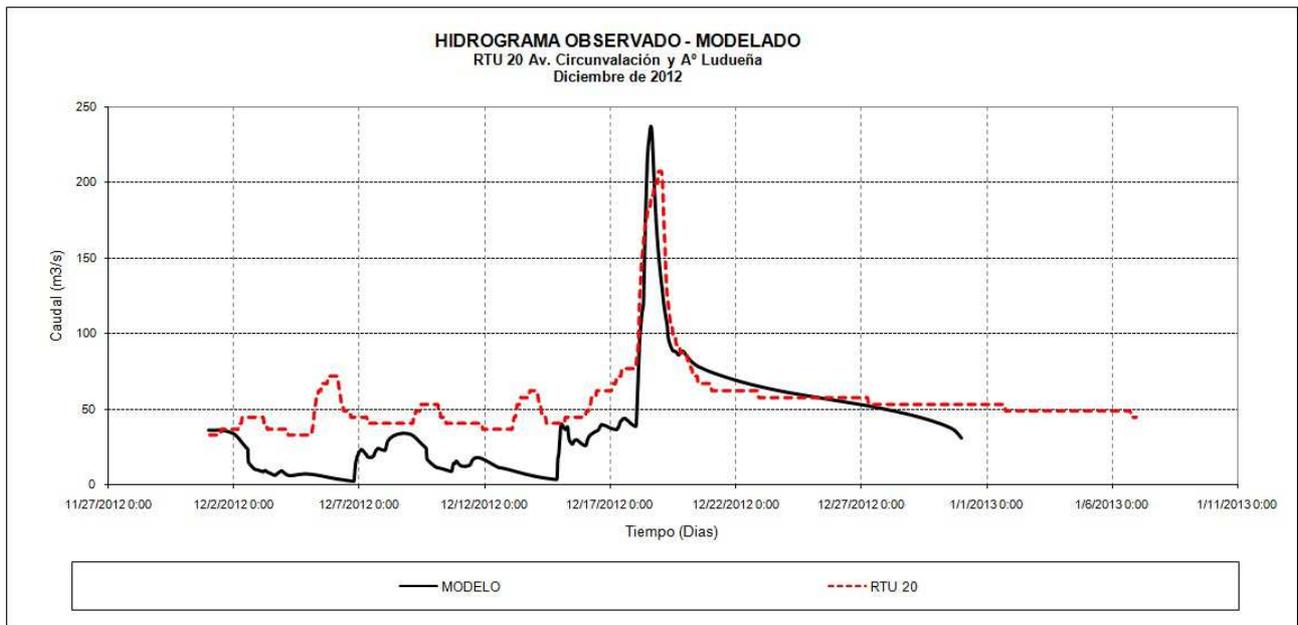


Grafico 4. - Hidrograma de diciembre del Arroyo Ludueña en la Avenida de Circunvalación

En el caso de la cuenca del A° San Lorenzo la escasa información hidrométrica observada hizo que el ajuste del modelo para los eventos hidrológicos seleccionados fuera realizada, más por los efectos producidos a través de los niveles de inundación generados en las intersecciones del arroyo con las rutas transversales, alturas máximas registradas en obras civiles y por las manchas o superficies afectadas durante el evento hidrológico. Se consideró en la aplicación realizada, la adopción de los parámetros de la calibración de la cuenca del Arroyo Ludueña, que cuenta con mayor información hidrométrica de los eventos lluviosos mencionados. Estas cuencas tienen aspectos semejantes en el uso del suelo y en la afectación de las obras viales y ferroviarias.

DESARROLLO Y ANALISIS DE LAS MEDIDAS DE REGULACION DE LA CUENCA.

Con el modelo calibrado se incorporaron los reservorios, considerando en primera instancia la ubicación propuestas por MASPyMA actualmente MIT Figura 5.

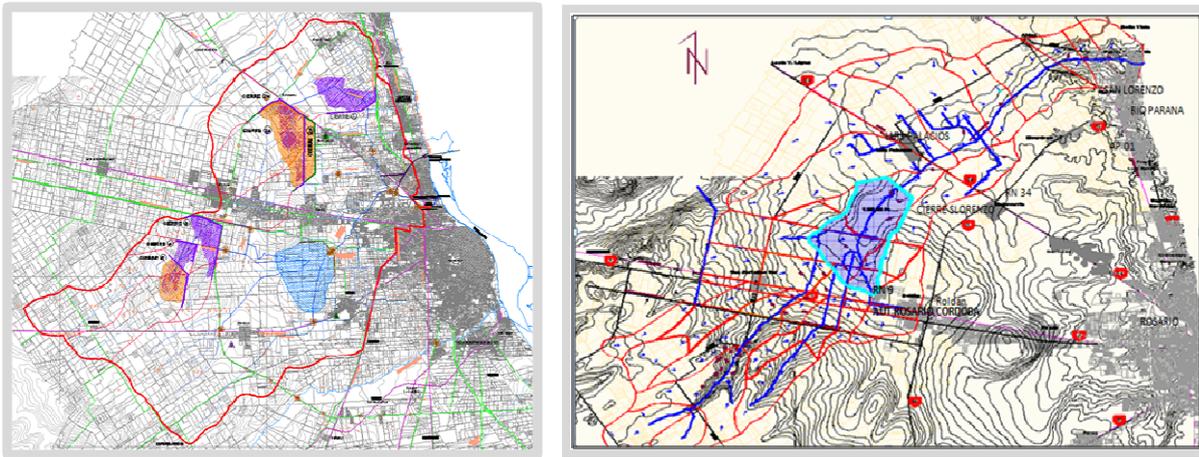


Figura 5.- Cierres Propuestos.

Los escenarios evaluados fueron con dos niveles de humedad antecedente, el escenario Moderado Alto con un valor de 0.35 Tabla 2 para el contenido inicial y para el escenario Severo de 0.48 Tabla 3 para el contenido inicial lo que implica que la cuenca se encuentra totalmente saturada.

Tabla 2.- Valores adoptados Green y Ampt escenario Moderado Alto.

ESCENARIO MODERADO ALTO			
Cont Inicial	Cont Saturado	Succión (mm)	Cond (mm/h)
0.35	0.48	581	2.5

Tabla 3.- Valores adoptados Green y Ampt escenario Severo.

ESCENARIO SEVERO			
Cont Inicial	Cont Saturado	Succión (mm)	Cond (mm/h)
0.48	0.48	581	2.5

El desarrollo de la tormenta de diseño para las diferentes frecuencias estadísticas fueron generadas por las curvas parametrizadas de la ciudad de Rosario, Zavalla y Casilda, obtenidas del estudio "Derivación y Parametrización de curvas IDR para Rosario, Casilda y Zavalla", Basile, Riccardi y Stenta, UNR, 2011. Estas fueron confeccionadas a partir de la información meteorológica del aeropuerto de Rosario, estación ubicada dentro del área de estudio. Considerando la complejidad de la cuenca en estudio y teniendo en cuenta las tormentas más recientes como las producidas en el año 2007 (1) y en el año 2012 (2), con duraciones que superaron las 72hs, las mismas pusieron en criticidad la presa del Ludueña y las áreas urbanas y rurales debido a la magnitud del volumen precipitado y a su intensidad. Se consideró en el análisis, una tormenta de diseño de duración 72hs (3días) y 120hs (5días) para realizar el diseño y validación del funcionamiento de los reservorios a implementar.

Los hietogramas que definen los diferentes escenarios hidrológicos encomendados fueron construidos para una duración de tres y cinco días y para recurrencias de TR: 10 años y TR: 100 años, Grafico N° 5 y 6 utilizando la metodología de los bloques alternados con el bloque de lluvia mayor centrada en el período de tiempo seleccionado, además se modelaron TR 10000 años y tormenta de recurrencia 100 años que se utilizo para el cálculo de la Presa del A° Ludueña.

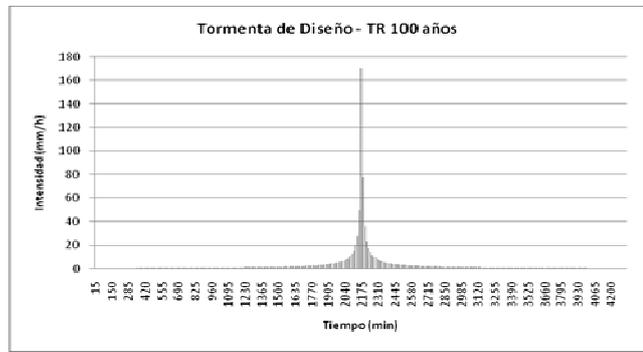
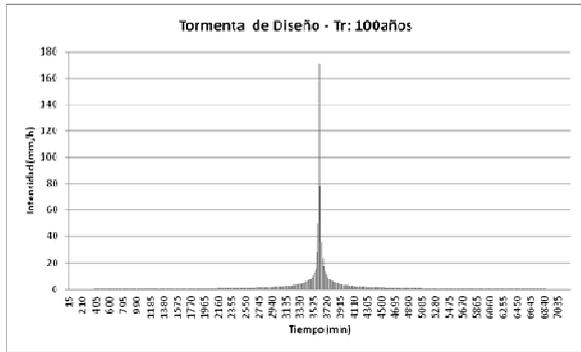


Grafico 5. - Tormentas de Diseño Tr 100 años 3 días - 5 días

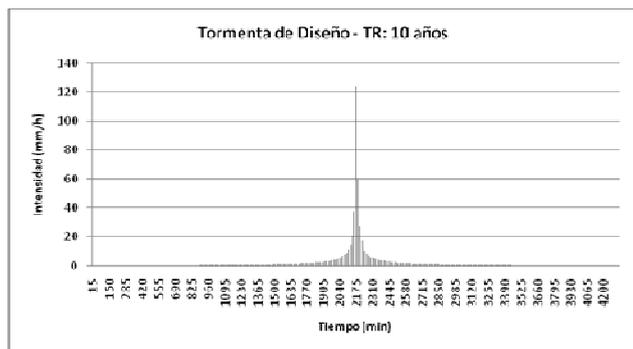
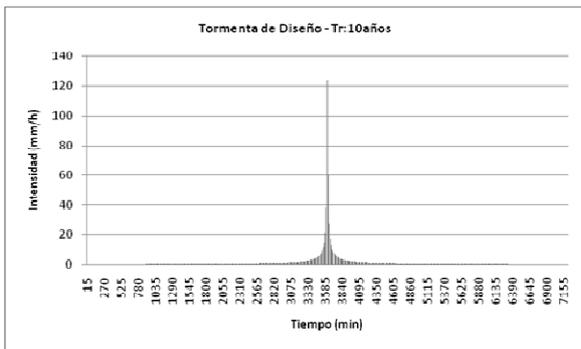


Grafico 6. - Tormentas de Diseño Tr 10 años 3 días - 5 días

Se realizó una evaluación de la capacidad de regulación y retención de la cuenca media y alta de la cuenca del A° Ludueña y San Lorenzo utilizando cuatro reservorios de almacenamiento transitorios indicados en la dinámica hídrica, las que fueron ajustadas a través de configuraciones sucesivas hasta llegar a la última alternativa, como se pueden ver en las Figura 5, 6 donde se realizó el diseño preliminar de las estructuras de cierre y de los terraplenes. Los volúmenes de almacenamientos fueron estimados por las respectivas curvas de altura - área - volumen en función de las estructuras de cierre y de la traza desarrollada.

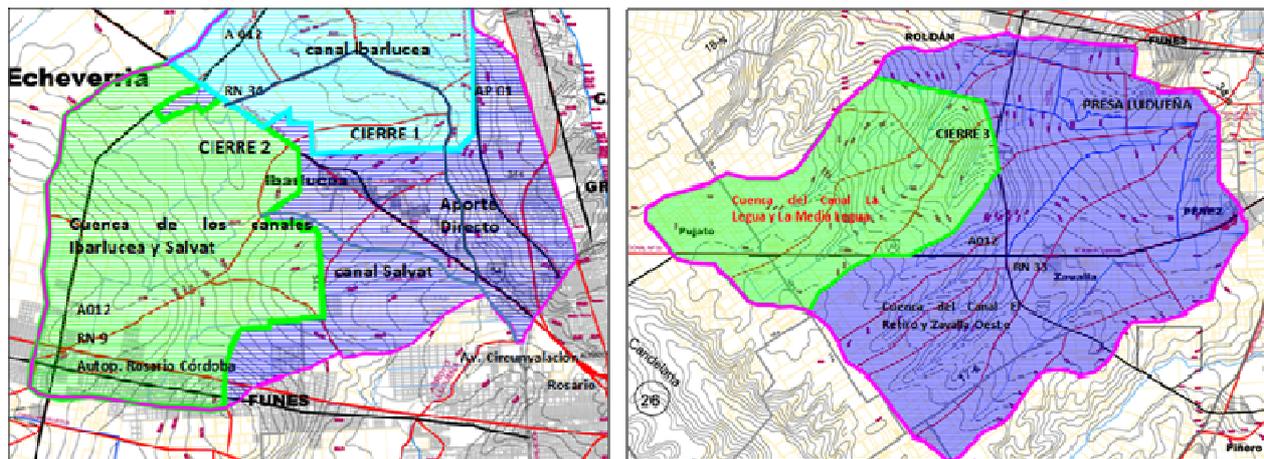


Figura 5.- Cierres Finales Cuenca del A° Ludueña

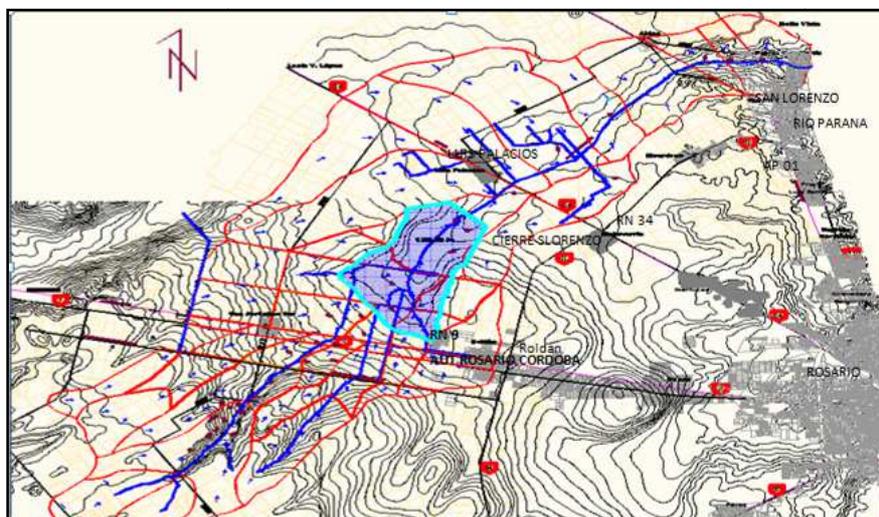


Figura 6.- Cierre Finales Cuenca del A° San Lorenzo

Se estimó para cada cierre las superficies anegadas y los volúmenes de almacenamiento para diferentes niveles, calculados a partir de las curvas de nivel de las planchetas IGN y de nivelaciones longitudinales entregadas por el Comitente. Las estructuras de salida consistieron en dos de salida de 1m de diámetro ubicados en la base del canal y un vertedero de 20m de ancho que permite la descarga de crecidas de mayor magnitud a excepción del cierre Salvat. En el cierre 1, se diseñó con cuatro orificios de 1m. Se puede observar en las Grafico 7, 8, 9 y 10 - las curvas de volumen acumulado y caudal de salida obtenida en cada reservorio de análisis.

Cierre 1- Canal Ibarlucea

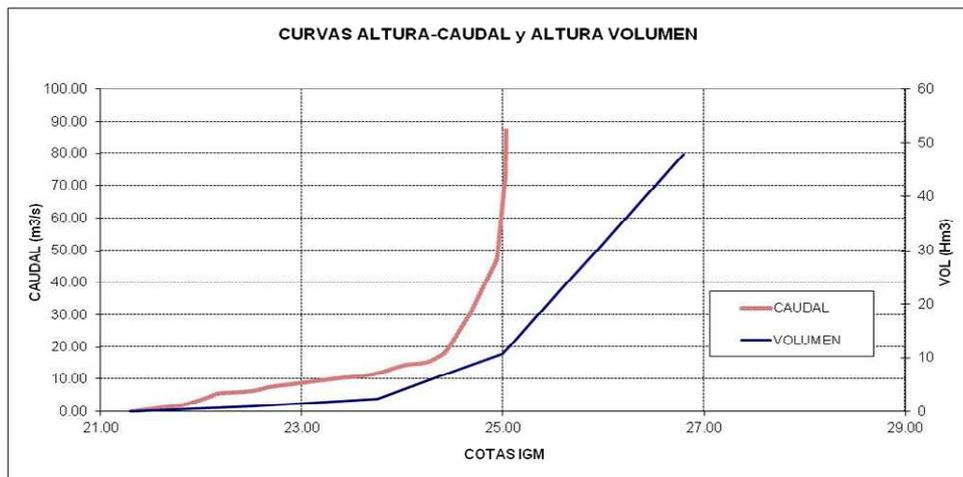


Grafico 7. - Curva Altura-Caudal y Altura - Volumen Cierre 1 Ibarlucea

Cierre 2. Corominas- Ibarlucea / Salvat

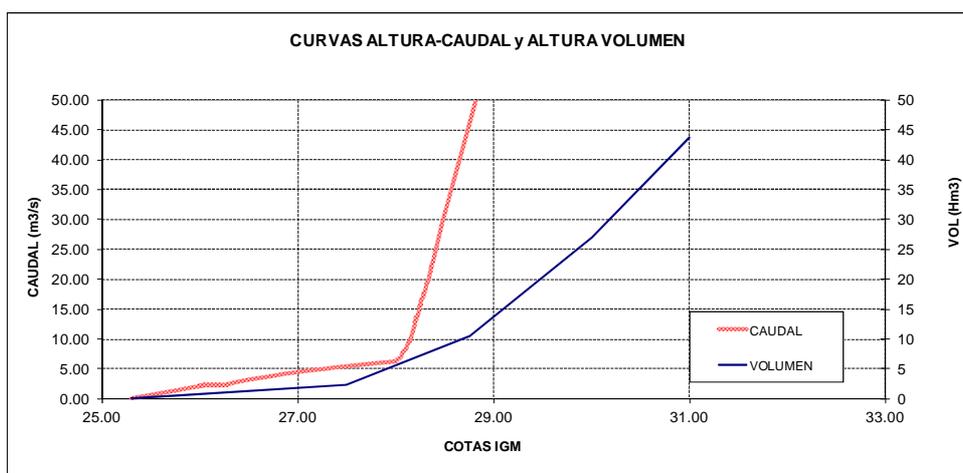
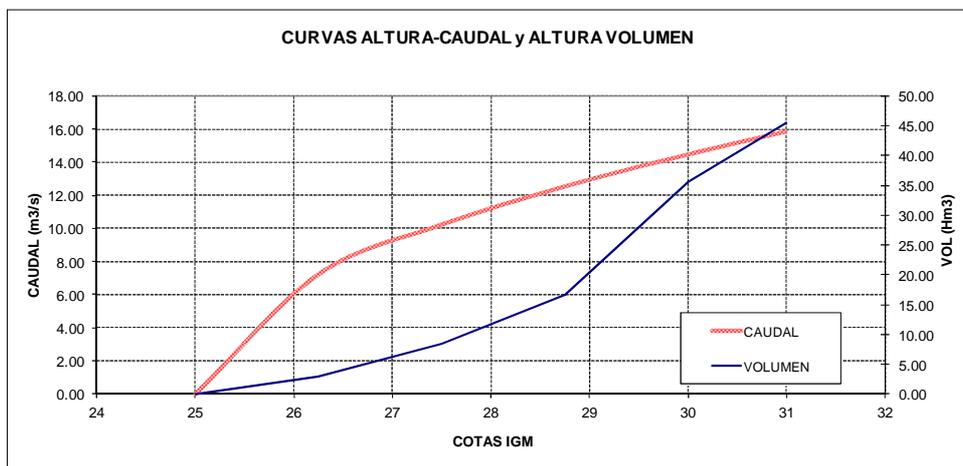


Grafico 8. - Curva Altura-Caudal y Altura - Volumen Cierre 2 Corominas- Ibarlucea / Salvat

Cierre 3

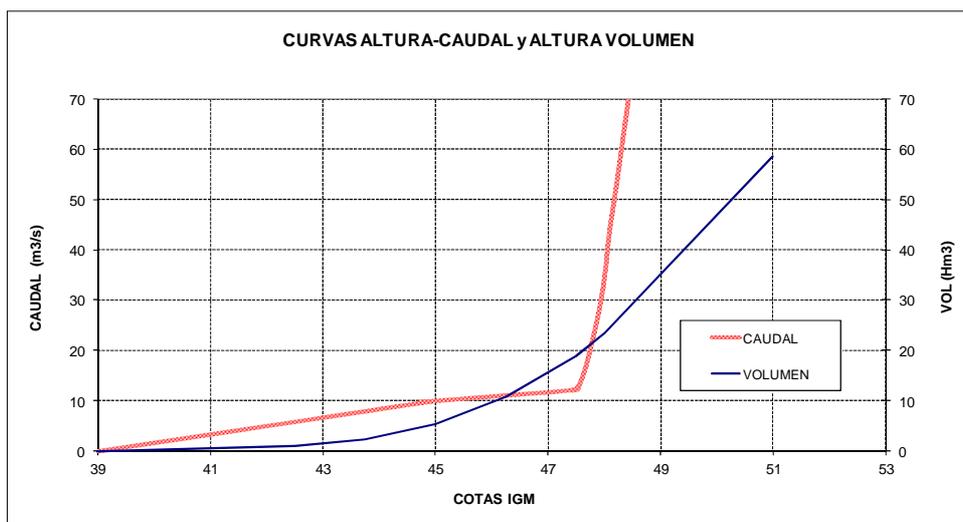


Gráfico 9. - Curva Altura-Caudal y Altura - Volumen Cierre 3

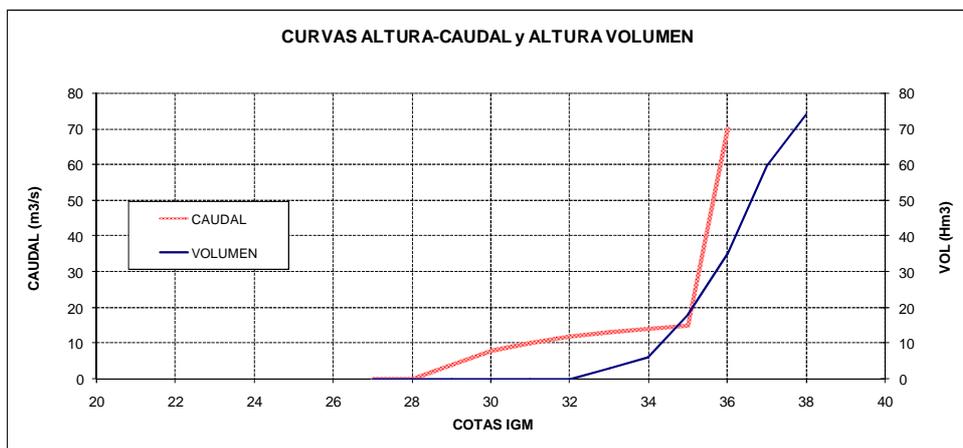


Gráfico 10. - Curva Altura-Caudal y Altura - Volumen Cierre A° San Lorenzo

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El análisis del funcionamiento de los cierres para la variedad de configuración, escenarios de humedad antecedente, duración de los eventos y recurrencias, sería demasiado extenso para poder exponerlo en el este trabajo, por lo que vamos a poder exponer a modo de ejemplo el impacto que generan la suma de todos los reservorios, un evento de duración 3 días, Tr 100 años y humedad antecedente en condición Moderado Alto producto de la intervención de estos cierres se logra disminuir el impacto en la zona de Av. Circunvalación con una reducción del caudal de llegada de aproximadamente un 25 % lo que significa aproximadamente 80 m³/s como se observa en la Grafico N° 10.

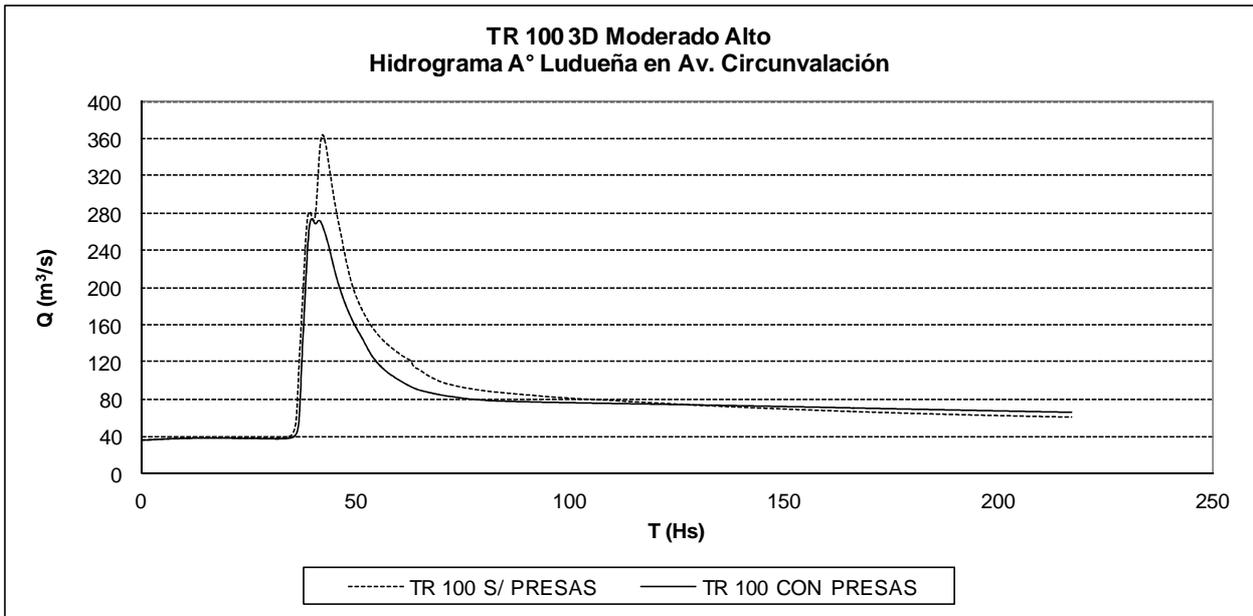


Grafico 11. - Hidrograma del Arroyo Ludueña en la Av. de Circunvalación con y sin los Cierres de control.

Dando un alivio a la zona de descarga, que en la actualidad lo conforman un grupo de 3 conductos, sumando al funcionamiento uno más que actualmente se encuentra en etapa de ejecución, lo que totalizaría una capacidad de conducción de 300 m³/s

La implementación de la totalidad de los reservorios sumado al cierre existe controlarían aproximadamente el 80 % de la cuenca dejando el 20 % restante sin control estructural y en una zona crítica como se observa en la Figura 7 de aportes directo que es la responsable del empunamiento de los hidrogramas y una área de difícil de regulación, sumado a esto tiene zonas densamente pobladas y donde emprendimientos urbanos tiene mayor auge.

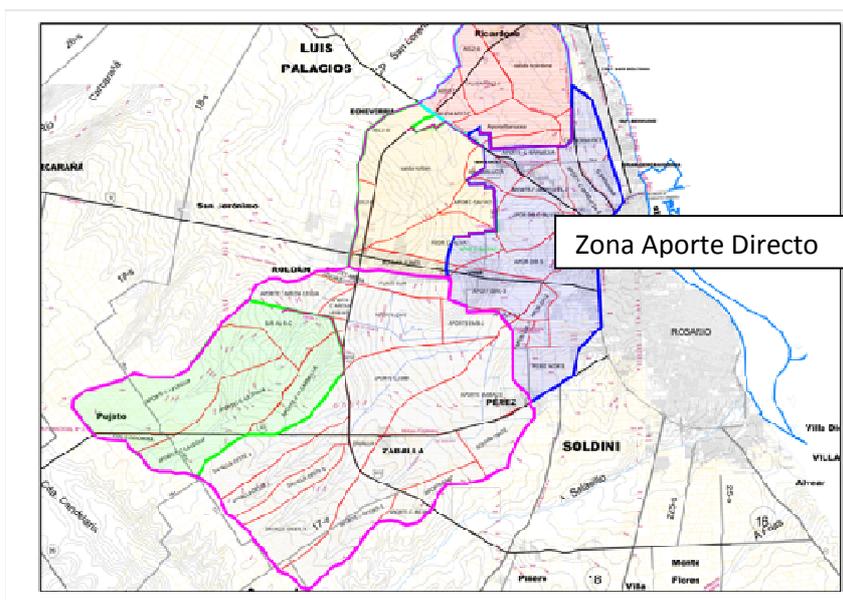


Figura 7.- Cierre Finales Cuenca del A° San Lorenzo

Los cierres propuestos tienen diferentes impactos, desde el punto de vista del caudal pico el Cierre 2 Ibarlucea/Salvat es el responsable de generar el mayor impacto dado la cercanía con la descarga, como se puede observar en la Tabla 4 produce disminución del caudal pico de hasta el 90 %, los Cierre 1 y 3 tienen un menor impacto en la salida ubicada en la Av Circunvalación de la Ciudad de Rosario, dado su ubicación y el área que regulan. El Cierre 3 descomprime la situación actual de la Presa del A° Ludueña dado que regula los caudales de un 30 % del área que actualmente está aportando, además de mitigar el problema de inundaciones en el entorno a la intersección de la Av Rosario - Córdoba y la ruta A 012 que en el 2012 se vio seriamente perjudicada con las inundaciones.

La regulación de la cuenca media y alta sería una manera de mitigar los desbordes que en la actualidad se producen en el gran Rosario además de ser desde el punto de vista técnico y económico de mejor resolución que la construcción de conductos de descarga hacia el río Paraná.

Tabla 4.- Resumen.

RESUMENES DE CAUDALES MAXIMOS (m ³ /s)		SIN OBRAS		CON OBRAS		
		R 10 3D (Mod-Alt)	R 100 3D (Mod-Alt)	R 10 3D (Mod-Alt)	R 100 3D (Mod-Alt)	
SECCIONES	Canal Ibarlucea y Puente Rn N 34	75.53	110.82	67.63	104.82	
	Canal Salvat en Descarga a Canal Ibarlucea	83.94	133.86	8.44	13.55	
	Canal Ibarlucea en descarga a Ludueña	154.06	238.74	97.52	146.41	
	Aguas abajo Presa de Retencion	Q aa	53.24	58.06	50.85	55.03
		H Presa	6 m	7.1 m	5.6 m	6.4 m
	Arroyo Ludueña en Pte RN N 9	80.45	119.11	80.45	119.07	
	Rama Ludueña aguas arriba de canal descarga de canal Ibarlucea	111.96	157.61	111.95	157.6	
Arroyo Ludueña en Av Circunvalación	235.03	365.13	179.3	273.9		

La implementación del reservorio en la cuenca del Arroyo San Lorenzo produce un fuerte impacto en la salida reduciendo satisfactoriamente en un 43 % el caudal pico en la sección de cierre adoptada, como se observa en el Grafico 12 lo que favorece un mejor control del caudal en la salida de la cuenca. El control del caudal aguas arriba de la RN N° 34 permite la salida del canal proveniente de la localidad de Palacios y mejora las condiciones de seguridad por anegamiento de dicha localidad.

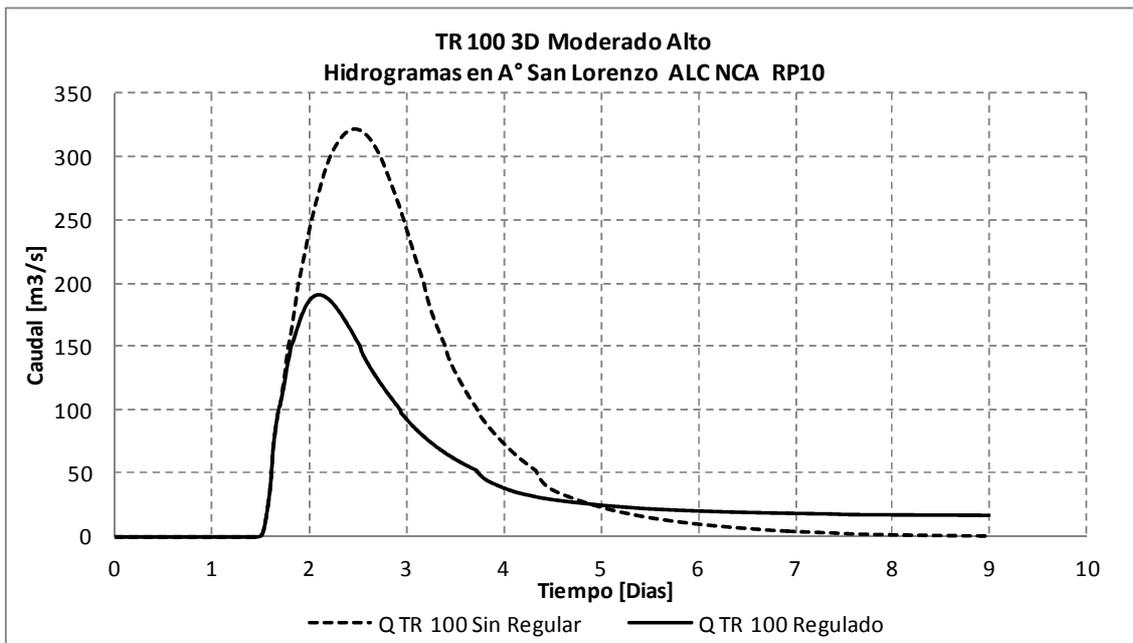


Grafico 12. - . Hidrograma del Arroyo San Lorenzo Alc NCA RP 10 con y sin el control.

En conclusión este tipos de obras permiten manejar y mitigar los riesgo de inundaciones y en este caso en particular son menos costosas que otro tipos de obras. Este tipo de obras debe ir acompañado de un conjunto de normativas sobre el uso del suelo que permitan extender la vida útil de las obras como así también mejora la calidad de vida.

REFERENCIAS

Basile, Riccardi y Stenta, UNR., 2011 Derivación y Parametrización de curvas IDR para Rosario, Casilda y Zavalla

Dirección General de Obras Hidraulica., 1996 Cuenca del A° Ludueña Diagnostico General.

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario., 2009. Rehidrología y modelo de simulación a tiempo real en sistema de alerta hidrológico en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo.

Municipalidad de Rosario., 1986. Análisis de las Alternativas de regulación realizada durante la ejecución del Anteproyecto de la Presa de Retención de Crecidas del Arroyo Ludueña.