



provincia de buenos aires
comisión de
investigaciones científicas
Calle 526 e/ 10 y 11 1900 La Plata
Tel. Fax: (0221) 421 7374 / 6205 int.143
D.E.: perapoyo@cic.gba.gov.ar

**PERSONAL DE APOYO A LA
INVESTIGACION Y DESARROLLO**

Ing. (Msc.) Georgina CAZENAVE

Informe Científico-Tecnológico

Período 2012/2013



Índice

1. DATOS PERSONALES	3
2. OTROS DATOS	3
3. PROYECTOS DE INVESTIGACION EN LOS CUALES COLABORA	3
4. DATOS DEL DIRECTOR	4
5. LUGAR DE TRABAJO	4
6. INSTITUCION DONDE DESARROLLA TAREAS DOCENTES U OTRAS	4
7. EXPOSICION SINTETICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERIODO	5
8. OTRAS ACTIVIDADES	6
8.1 Publicaciones, comunicaciones, etc.....	6
8.2 Cursos de perfeccionamiento, viajes de estudio, etc.	6
8.3 Asistencia a reuniones científicas/tecnológicas o eventos similares	6
9. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERIODO VIDADES	6
10. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TITULOS ANTERIORES	6
ANEXO I. Unicen Divulga	7
ANEXO II. INFORME TÉCNICO	10



INFORME PERIODO Febrero 2013-Julio 2013

1. APELLIDO....CAZENAVE.....
Nombre(s)....GEORGINA.....
Título(s)...ING. EN REC. HÍDRICOS – MASTER REC. HÍDRICOS EN ZONAS DE LLANURA.....
Dirección Electrónica....cazenave@faa.unicen.edu.ar...

2. OTROS DATOS

INGRESO: Categoría....PROFESIONAL ADJUNTO.....Mes.....FEBRERO.....Año...2013....
ACTUAL: Categoría.....PROFESIONAL ADJUNTO.....Mes.....AGOSTO.....Año....2013....

3. PROYECTOS DE INVESTIGACION EN LOS CUALES COLABORA

a) Procesos de recarga y descarga de acuíferos mediante trazadores naturales. Referencia 637610534-10534-4-9

Director: Emilio Custodio CoDirectora: Marisol Manzano

Centro: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil

Organismo: Universidad Politécnica de Cartagena (España)

Convocatoria: Proyecto ya en marcha, concedido por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) de España

Estado: En desarrollo (2010-2012)

b) Escurrimiento, Sedimentos y Contaminantes Biológicos En Microcuencas De Tres Regiones Agroecológicas Contrastantes Afectadas Por Erosión Hídrica Moderada A Severa Proyecto UBACYT 20020100100709

Entidades participantes: UBA, INTA Paraná e IHLLA.

Estado: En desarrollo (2011-2014).

c) Análisis de la interacción suelo-agua-vegetación en unidades del paisaje sometidas a diferentes usos en un sector de la Pampa Deprimida Bonaerense (03/I031), evaluado según la Resolución N° 1879/2008 del Ministerio de Educación y aprobado por la Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología de la UNCPBA, desde enero de 2011 a diciembre de 2013.

d) Análisis de las variaciones de niveles freáticos someros producto de la recarga y la evapotranspiración mediante tomografía eléctrica y su efecto en el aumento de la producción de los cultivos. Ejecución 2011-2013. Programa de Incentivos a Docentes Investigadores. Código 03-I030



4. DIRECTOR

Apellido y Nombre (s).....VIVES LUIS SEBASTIÁN.....
Cargo Institución.....DIRECTOR.....
Dirección: Calle.....B° 18 DE ABRIL TORRE 9.....N° ...5° C.....Ciudad.....AZUL.....
C. P.....7300.....Prov..... BUENOS AIRES.....Tel. ...2281-432666...
Dirección Electrónica Ivives@faa.unicen.edu.ar.....

5. LUGAR DE TRABAJO

Institución.....INSTITUTO DE HIDROLOGÍA DE LLANURAS "DR. EDUARDO USUNOFF"
Dependencia..... UNCPBA - CIC - Municipalidad de Azul.....
Dirección: Calle....REP. ITALIA.....N° ...780.....Ciudad.....AZUL.....
C.P....7300.....Prov.....BUENOS AIRES.....Tel.....2281-432666.....

6. INSTITUCION DONDE DESARROLLA TAREAS DOCENTES U OTRAS

Nombre..... DIRECCIÓN GENERAL DE CULTURA Y EDUCACIÓN.....
Dependencia..... INSTITUTO SUPERIOR DE FORMACIÓN DOCENTE N° 156.....
Dirección: Calle....AV. 25 DE MAYO.....N° ...750.....Ciudad.....AZUL.....
C.P....7300.....Prov.....BUENOS AIRES.....Tel.....2281-434636.....
Cargo que ocupa.....PROFESOR INTERINO.....

7. EXPOSICION SINTETICA DE LA LABOR DESARROLLADA EN EL PERIODO (Debe exponerse la actividad desarrollada, técnicas empleadas, métodos, etc. en dos carillas como máximo, en letra arial 12, a simple espacio)

- Mantenimiento físico de la red de alerta contra inundaciones de Azul y apoyo técnico en la emergencia, contratado por la empresa CAE SpA (Bologna, Italia) para la municipalidad de Azul. Además se realiza el apoyo técnico al municipio desde el momento en que se anuncia el alerta meteorológico y se lo acompaña durante el evento para la predicción de crecidas y partes de prensa. Además se realizan medidas de caudal durante el paso del evento en distintas secciones de control. Luego se releva en campo la información recolectada por el instrumental del IHLLA sin telemetría.
- Monitoreo y bajada de datos del instrumental hidrometeorológico del IHLLA.
- Procesamiento, control de la información y carga en la base de datos hidrológica del IHLLA (www.azul.bdh.org.ar).
- Modelación hidrodinámica del tramo urbano del arroyo del Azul aplicando programa HEC-RAS para análisis de medidas estructurales adoptadas para atenuar las inundaciones en el sector urbano del arroyo del Azul.
- Modelación hidrológica continúa en la cuenca alta del arroyo del Azul, análisis de medidas estructurales y no estructurales para manejo de excedentes hídricos. Aplicación del programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool by USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS) and Texas A&M AgriLife Research, part of The Texas A&M University System) para las medidas no estructurales como son el cambio del uso del suelo. Para las medidas estructurales se implementará el programa SSHH (Simulaciones hidrológicas de Universidad Nacional de Rosario) que permitirá evaluar módulos agrohidrológicos, alteos de caminos y reguladores de caudal.
- Entrenamiento en la medición, procesamiento y análisis de diferentes variables hidrometeorológicas correspondientes a la microcuenca en estudio para su trabajo de Tesis Doctoral de la Ing. María Guadalupe Ares, Universidad de Buenos Aires.
- Dirección de tesis de maestría en Ecohidrología de la Universidad de La Plata del Ing. Cristian Guevara Ochoa: Una metodología para el manejo integral de excedentes superficiales en una cuenca rural en zona de llanura. Caso de estudio cuenca del arroyo Santa Catalina, Azul (provincia de Buenos Aires).



8. OTRAS ACTIVIDADES

8.1 PUBLICACIONES, COMUNICACIONES, ETC.

- Unicen Divulga (Junio 2013): Análisis del riesgo de inundaciones en el partido de Azul a través de modelos matemáticos. Ing. (MsC) Georgina CAZENAVE.
(<http://www.unicen.edu.ar/content/an%C3%A1lisis-del-riesgo-de-inundaciones-en-el-partido-de-azul-trav%C3%A9s-de-modelos-matem%C3%A1ticos>)
- Informe Técnico del IHLLA para la Municipalidad de Azul (Julio 2013): Análisis preliminar del efecto de las obras de atenuación de inundaciones en la ciudad de Azul.
- Revista Ciencia Hoy (en revisión): Monitoreo hidrometeorológico, redes de alerta contra inundaciones y modelos de predicción hidrológica.

8.2 CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO, VIAJES DE ESTUDIO, ETC.

8.3 ASISTENCIA A REUNIONES CIENTIFICAS/TECNOLOGICAS o EVENTOS SIMILARES.

- 15/05/2013 y 23/05/2013. La Plata. Consejo Permanente para el Estudio y Prevención de Catástrofes Climáticas organizado por la Honorable Cámara de Diputados de la provincia de Buenos Aires. Representante por el IHLLA.

9. TAREAS DOCENTES DESARROLLADAS EN EL PERIODO.

Profesor interino en la carrera Profesorado de física del Instituto Superior de Formación Docente N° 156 “Palmiro Bogliano” en el espacio curricular “Fuerza, movimiento y energía mecánica y laboratorio”.

10. OTROS ELEMENTOS DE JUICIO NO CONTEMPLADOS EN LOS TITULOS ANTERIORES. (En este punto se indicará todo lo que se considere de interés para una mejor evaluación de la tarea cumplida en el período).

- Participación en Comité Hídrico de la Municipalidad de Azul, donde se evalúan diferentes actividades relacionadas con las inundaciones en la ciudad de Azul y partido.
- Participación en Consejo Permanente para el Estudio y Prevención de Catástrofes Climáticas organizado por la Honorable Cámara de Diputados de la provincia de Buenos Aires. Consejo que busca establecer pautas normativas y ejecutivas para la prevención de catástrofes naturales en la provincia de Buenos Aires.
- Organización curso de posgrado “Herramientas para la gestión de cuencas hidrográficas – Aplicación del SWAT” a dictarse del 21 al 25 de octubre de 2013 en Azul.



provincia de buenos aires
comisión de
investigaciones científicas
Calle 526 e/ 10 y 11 1900 La Plata
Tel. Fax: (0221) 421 7374 / 6205 int.143
D.E.: perapoyo@cic.gba.gov.ar

**PERSONAL DE APOYO A LA
INVESTIGACION Y DESARROLLO**

ANEXOS I: Unicen Divulga (Junio 2013)

Disponible en: <http://www.unicen.edu.ar/content/an%C3%A1lisis-del-riesgo-de-inundaciones-en-el-partido-de-azul-trav%C3%A9s-de-modelos-matem%C3%A1ticos>

Análisis del riesgo de inundaciones en el partido de Azul a través de modelos matemáticos



Ing. (MsC) Georgina CAZENAVE.

En la región central de la provincia de Buenos Aires la producción agropecuaria es la principal fuente de actividad e ingresos, y es también la principal demandante de una mejor gestión de los recursos hídricos. La región de la llanura bonaerense se ha visto sometida a una alternancia de períodos secos y lluviosos, dentro de los cuales se han producido varias inundaciones en la ciudad de Azul.

Esta alternancia hace que el paisaje pase de una superficie salpicada de acumulaciones de agua de diferentes dimensiones a superficies completamente utilizadas por la agricultura. En períodos de excesos hídricos, se produce un fenómeno de llenado y encadenamiento de áreas bajas donde el agua ocupa, de manera discontinua, superficies del orden de centenas o miles de hectáreas. Son inundaciones de pequeño tirante, generalmente menos de un metro, y tiempo de permanencia muy largo en relación al área de aporte. No es rara una lámina de agua de algunos centímetros durante 10, 15 o hasta 20 días. Por ello es importante definir áreas de riesgo de inundación con las cuales prevenir daños a la producción agropecuaria y que permitan gestionar adecuadamente los recursos hídricos para favorecer la rentabilidad de este sector productivo.

La modelación matemática lluvia-caudal en cuencas de llanura es difícilmente ajustable con los softwares hidrológicos usuales, ya que éstos han sido desarrollados para cuencas convencionales. En áreas planas, la red de drenaje es proclive al escurrimiento difuso, conformada por numerosos cursos paralelos de escasa pendiente y para crecidas medias en adelante el almacenamiento superficial es el componente crítico de la propagación. Se pueden utilizar modelos agregados, utilizados mayormente para eventos, o modelos distribuidos que también permiten un cálculo continuo de las respuestas del sistema ante las entradas de precipitación.

Para simular el escurrimiento superficial se utilizan modelos distribuidos de detalle, calibrados a partir del análisis de la evolución del agua acumulada sobre el terreno. Estos modelos utilizan modelos digitales del terreno con información altimétrica donde se evalúa el movimiento del agua en superficie. También tienen representados el uso y la cobertura del suelo así como los procesos verticales de precipitación, infiltración y evaporación, que permiten la simulación continua del movimiento del agua en el terreno durante períodos de tiempo largos.

La distribución espacio-temporal de la inundación calculada por los modelos permite definir la zonificación de inundación de un área y su relación con la actividad productiva de la zona. Esto forma parte del insumo básico para definir el riesgo por inundación que tiene el sector productivo agropecuario en la zona de estudio. Así se puede evaluar ante una situación de excesos hídricos cuáles son las zonas que se verán afectadas ya sea por anegamiento directo, falta de piso para el trabajo, medidas de control de erosión, salinidad, transitabilidad o acceso a rutas pavimentadas, etc. Este procesamiento se realiza con metodologías que se trabajan en entornos de sistemas de información geográfica (SIG) que permiten la ubicación espacial de cada resultado obtenido. Los mapas de riesgo pueden utilizarse para definir estrategias de inversión desde los organismos públicos, aseguradoras de riesgo y propietarios o arrendatarios.

En la cuenca superior del arroyo del Azul, la modelación agregada es usada como parte del sistema de alerta contra inundaciones de la ciudad de Azul, donde un programa simple, con una interfase accesible y con poca información puede simular y predecir la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación intensos que ponen en riesgo de inundación el casco urbano.

Con la modelación matemática se puede predecir la respuesta de un evento extremo como fue el caso de mayo de 2012 en la ciudad de Azul, cuya precipitación promedio de 141 mm en 24 horas en la cuenca alta (se asocia a una recurrencia mayor a 100 años) inundó el casco urbano. El caudal máximo de este evento fue prácticamente el mismo que los caudales máximos registrados para los eventos de agosto del mismo año, cuyas precipitaciones promedio diarias en toda la cuenca alta fueron de 87 mm el 16/08/2012 y 72 mm el 23/08/2012. El valor medio mensual de agosto es de 48 mm, pero este año se registraron 260 mm distribuidos en tres eventos: el primero saturó el sistema con 101 mm promedio, y en las semanas sucesivas recibió los otros dos eventos que provocaron dos inundaciones seguidas del casco urbano con seis días de diferencia. Las condiciones de humedad antecedente disímiles son las que hacen que la respuesta de la cuenca sea similar en estos casos ante eventos de lluvias muy distintos.



Es posible incluir en los modelos matemáticos el vínculo entre lluvias e inundaciones, asociado entre otras causas, al estado de saturación de la cuenca y al uso y cobertura del suelo. Si bien las precipitaciones mayores se registran en los meses estivales, suelen ser más preocupantes las tormentas de otoño o invierno que encuentran los suelos semidesnudos y prácticamente sin cobertura. Aunque esta situación se ha visto acrecentada en la última década con el avance de la frontera agrícola, cambiando el uso de suelos ganaderos a suelos agrícolas, los fenómenos de inundaciones ya se registraban en Azul desde su fundación como fuerte de avanzada.

Con el objeto de regular los caudales fluviales generados en la cuenca alta del arroyo, a fin de atenuar los efectos de las crecidas extraordinarias en el casco urbano, se ha modelado el efecto que causaría la construcción de obras de retención en la cuenca alta del Azul. A partir de esas obras hidráulicas se pretende atenuar y retardar el pico de las crecidas en la ciudad de Azul. En general las inundaciones registradas, independientemente de las condiciones de saturación de la cuenca y tipo de lluvia, son producto del aporte conjunto del arroyo del Azul y sus afluentes. La regulación que permitiría una presa en la cuenca media sobre el arroyo del Azul hubiera reducido la afectación en la mayoría de las inundaciones registradas hasta el momento en la ciudad de Azul.

Las obras de regulación pueden no ser necesariamente grandes estructuras, sino también alteos de camino que permitan retener mayor tiempo el agua de lluvia en donde cae. Este concepto fue enunciado en 1984 por Barbagallo, quien propuso la sistematización agrohidrológica como uso eficiente y manejo adecuado de los excesos hídricos.

De todas maneras, para evaluar a través de modelos matemáticos si son efectivas estas medidas alternativas, es indispensable un detallado relevamiento topográfico de los posibles sectores de cierre y una modelación distribuida que permita ver el funcionamiento de estos reservorios temporales. Un cierre que no contemple una posible fuga del sistema al que pretende regular podría empeorar la situación.

Además, es necesario tener en cuenta que la sistematización agrohidrológica ayuda a regular eventos de magnitud media cuya probabilidad de ocurrencia es alta, sin embargo una sistematización integral procura responder a las situaciones de alto riesgo de inundación para la población donde son necesarias obras mayores.

En el caso de la cuenca alta del Azul se debe resaltar que toda medida de gestión de los excedentes hídricos no sólo beneficia a la población urbana sino que permitirá tener una menor afectación del sector rural, tanto en la zona alta como en toda la cuenca del Azul y la región que aporta al sistema del río Salado.

© *Todos los derechos reservados.*

Ing. (MsC) Georgina CAZENAVE:

Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff", UNICEN – CIC – Municipalidad de Azul.

Contacto: cazenave@faa.unicen.edu.ar - <http://www.ihlla.org.ar/>



provincia de buenos aires
comisión de
investigaciones científicas
Calle 526 e/ 10 y 11 1900 La Plata
Tel. Fax: (0221) 421 7374 / 6205 int.143
D.E.: perapoyo@cic.gba.gov.ar

**PERSONAL DE APOYO A LA
INVESTIGACION Y DESARROLLO**

ANEXOS II. Informe Técnico del IHLLA para la Municipalidad de Azul (Julio 2013)

INFORME TÉCNICO

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL EFECTO DE LAS OBRAS DE ATENUACIÓN DE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE AZUL

Dr. Adolfo Villanueva - Ing. (MsC) Georgina Cazenave
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA DE LLANURAS

Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC)
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA)
Municipalidad de Azul (MA)

JULIO DE 2013

<p>Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff" Sede Azul Calle Rep. de Italia 780 Campus Universitario Azul (B7300) Azul, Prov. de Buenos Aires, Argentina Tel-Fax +54 2281 432666 http://www.ihlla.org.ar</p>	<p>Sede Tandil Paraje Arroyo Seco Campus Universitario Tandil Tandil, Prov. de Buenos Aires, Argentina Tel-Fax +54 2293 439520 ihlla@faa.unicen.edu.ar (Secretaría General)</p>
--	--

ANÁLISIS PRELIMINAR DEL EFECTO DE LAS OBRAS DE ATENUACIÓN DE INUNDACIONES EN AZUL

El presente texto tiene por objetivo hacer un análisis preliminar del impacto de las obras de atenuación del impacto de inundaciones, previstas en el Plan Hídrico. Un análisis más detallado de la inundación y sus efectos, y de las medidas de mitigación de dichos efectos podría ser hecho mediante modelación matemática, utilizando el software HEC-RAS (de libre disponibilidad), u otro equivalente. En este texto es comentada una aplicación limitada de ese software, en función de los datos disponibles, y en el último ítem se presentan los requisitos para la implementación de un modelo matemático representativo del escurrimiento en el arroyo Azul.

La primera cuestión a considerar es la relativa a los puntos críticos a lo largo del curso del arroyo Azul, en el tramo aguas abajo de la sección Seminario. Los puntos críticos son aquellas secciones con baja capacidad de escurrimiento (estrangulamientos), que condicionan el nivel de agua, ya que por un lado se precisa más altura de agua para tener mayor sección de pasaje, y por otro lado el escurrimiento debe ganar altura hacia aguas arriba del estrangulamiento para generar la energía necesaria para superar el obstáculo que representa el estrangulamiento. En pocas palabras, si un puente es estrecho, aumentar el tamaño de las secciones aguas arriba tiene un impacto muy pequeño; el efecto de cualquier otro tipo de estrangulamiento es el mismo. En una analogía simple, es un efecto muy semejante al de anular algún carril de una avenida en horas de pico, todo el tráfico que converge a ese punto se congestiona y no fluye.

En el caso de un curso de agua los puntos críticos más usuales son los puentes, compuertas, etc., esta situación se ve agravada porque modificar esas estructuras no suele ser ni fácil ni barato. Las obras previstas en el Plan Hídrico apuntan a paliar algunos de los problemas de ese tipo en el arroyo Azul. A continuación se hará un análisis rápido del probable efecto de esas obras. Para establecer un marco de referencia para ese análisis se utilizará un valor representativo del área de pasaje necesaria para el escurrimiento de la creciente de mayo del 2012, en el trecho entre el Puente San Benito (Av. Pellegrini) y el puente San Martín.

Para estimar ese valor representativo se utilizará la ecuación de Manning, herramienta clásica de la hidráulica de canales abiertos. Los datos necesarios para utilizar esa ecuación son el caudal, la pendiente de fondo (desnivel/distancia), la fricción del cauce (rugosidad) y una estimación de la profundidad de agua en el cauce. Los valores utilizados para el cálculo fueron:

- Caudal: 285 m³/s, caudal máximo de la creciente de mayo 2012;
- Desnivel San Benito-San Martín: 3,11 m, según los planos de las obras;
- Distancia San Benito-San Martín: 2967 m, siguiendo el trazado del cauce;
- Pendiente de fondo (I_o) Ptes S.B. - S.M.: $I_o = 3.11/2967 = 0.00105$;
- Rugosidad: 0.035 (*n* de Manning, de USGS paper 2339, según las características del cauce)
- Prof. en el cauce: 4 m (valor aproximado de la altura de desborde en el cauce => R~3.5 m)

El resultado de ese cálculo es un área necesaria de pasaje del orden de **130 m²**.

Si bien ese valor es una aproximación simple, permite una apreciación rápida del potencial efecto de las obras.

En la Tabla 1 se presentan las obras previstas en el Plan Hídrico, junto con una estimación de cual sería el aumento de sección de pasaje que generarían en la capacidad de escurrimiento del arroyo. En las figuras 1 a 3 están las obras previstas en los puentes San Benito (Av. Pellegrini), Peatonal en el Ejército y San Martín. También se presenta el coeficiente de meandramiento calculado para el tramo inferior del sector urbano del arroyo del Azul. En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de aumento de la rugosidad por efecto de meandros (USGS paper 2339), utilizado para evaluar el impacto de la rectificación entre el puente Benavidez y el puente Las Blancas. Se observa que el efecto de los meandros es muy pequeño desde el punto de vista hidráulico. Se observa que con ninguna de las obras proyectadas se alcanza los aproximadamente 130 m² necesarios para la evacuación de un caudal como el del evento de mayo de 2012.

Tabla 1: Obras previstas en el Plan Hídrico y su impacto sobre la capacidad de escurrimiento del arroyo

OBRA (en el sentido del escurrimiento del arroyo)	Sección actual (m ²)	Aumento sección (m ²)	Sección modificada (m ²)	Aumento de capacidad de escurrimiento
Aliviador Puente San Benito (Figura 1)	76.53	6	83	+ 8%
Reacondicionamiento A° Azul entre Pte. San Benito y Pte. Perón				obra indefinida *
Ampliación Puente Peatonal del Ejército (Figura 2)	95	20	115	+ 20%
Aliviador Puente San Martín (Figura 3)	106.6	6	116.6	+ 6%
Meandros A° Azul entre Pte. Benavidez y Pte. Las Blancas	coef. de meandramiento: 1.0 (impacto ~0%, USGS 2339)			

* En el caso del trecho entre los puentes San Benito y Perón, no es posible evaluar el efecto de los trabajos previstos (o ya realizados), dado que no se cuenta con una caracterización topográfica e hidráulica del estado del trecho al momento de la inundación ni de los trabajos ejecutados o a ejecutar.

Tabla 2: Coeficiente de corrección de la rugosidad en función de la existencia de meandros.

(Degree of Meandering m) ^{1,2}		
Channel Conditions	n Value Adjustment ¹	Example
Minor	1.00	Ratio of the channel length to valley length is 1.0 to 1.2.
Appreciable	1.15	Ratio of the channel length to valley length is 1.2 to 1.5.
Severe	1.30	Ratio of the channel length to valley length is greater than 1.5.

¹ Adjustments for degree of irregularity, variation in cross section, effect of obstructions, and vegetation are added to the base n value (Table 1) before multiplying by the adjustment for meander.
² Adjustment values apply to flow confined in channel and do not apply where downvalley flow crosses meanders.

de: Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains - United States Geological Survey Water-supply Paper 2339 (USGS Selecting Manning's Roughness Coefficients.pdf)

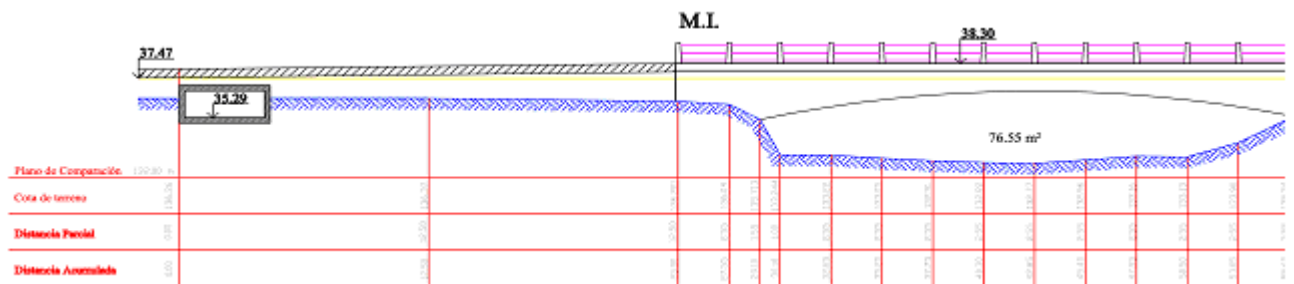
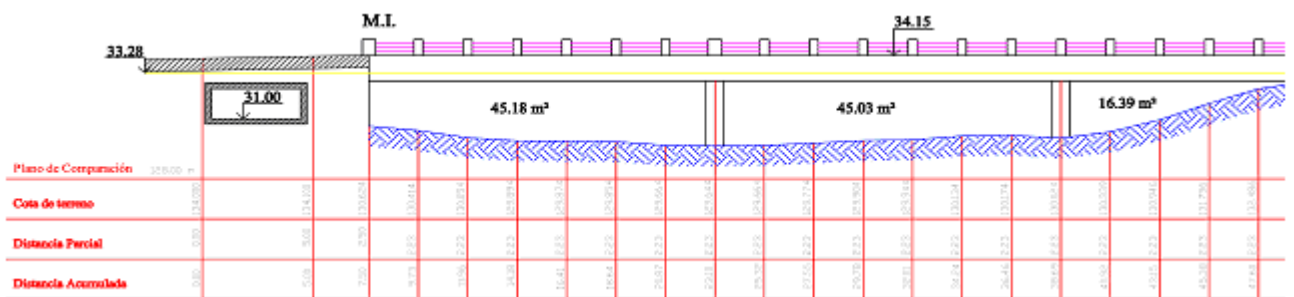


Figura 1: Puente San Benito y aliviador proyectado.



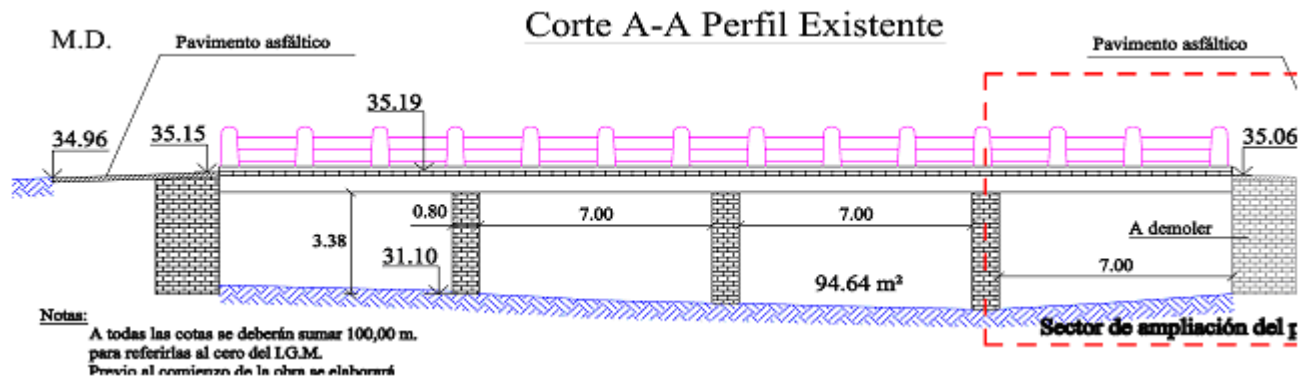


Figura 3: Puente Peatonal Ejército y ampliación proyectada de la sección transversal.

IMPLEMENTACIÓN EXPLORATORIA DEL MODELO HEC-RAS (USACE)

Se disponía en el IHLLA de una versión preparatoria del modelo hidrodinámico HEC-RAS (simulación de escurrimiento en cauces y planicies de inundación). Esa versión había sido montada utilizando información topográfica ya disponible (de fuentes diversas), complementada con algunas mediciones puntuales. Dicha versión había sido pensada para análisis básicos del comportamiento del arroyo ante inundaciones, y como guía para definir las necesidades de información topográfica para una implementación acorde a estándares profesionales.

Las limitaciones para la utilización de la versión disponible (y del HEC-RAS en general) vienen de las limitaciones de información topográfica (geometría del cauce del arroyo) disponible, y también de la ausencia de información para calibrar la representatividad del modelo. Cabe destacar que es una regla básica de la utilización de modelos matemáticos que ningún modelo genera resultados de calidad superior a los datos con los que es alimentado. En el caso de los modelos hidrodinámicos, la información topográfica de buena calidad es condición *sine qua non* para una utilización exitosa.

De esa versión fue utilizado en este caso el trecho entre la sección Seminario y la sección Las Blancas. Los objetivos de la aplicación fueron complementar los análisis de impacto de la obras del Plan Hídrico, y establecer las condiciones para futuras aplicaciones con estándares adecuados de información.

En relación al impacto de las obras, las simulaciones realizadas confirmaron lo que el análisis de capacidad de escurrimiento (área de pasaje), presentado en la primera parte de este texto. La comparación entre alturas de agua con y sin obras, aunque solo indicativos, sugiere que la disminución de nivel de agua causada por las obras no superaría los 10 cm, y en muchos lugares ni siquiera eso.

En el ítem siguiente se comentan los requisitos, en términos de información, para la implementación adecuada de un modelo de simulación de inundaciones en el arroyo Azul.

REQUERIMIENTOS PARA SIMULACIÓN DE INUNDACIONES CON EL MODELO HEC-RAS:

- *Secciones transversales del arroyo, cubriendo el cauce principal y las áreas de desborde.*

Las secciones deberán incluir, con especial énfasis, todos los puntos críticos y controles del escurrimiento, tales como puentes, compuertas, vados, etc. En términos generales, deberá haber secciones transversales en los puntos de cambio de las características del cauce principal y/o de las planicies de inundación; en trechos razonablemente uniformes la distancia entre secciones deberá ser del orden de 2000 m.

Las secciones deberán estar debidamente referenciadas en vertical (z), y en cada sección se deberá definir e identificar un “punto fijo permanente”, a efectos de poder referenciar trabajos posteriores. Fotos de las secciones, mostrando la misma y los trechos aguas arriba y aguas abajo, así como las planicies de inundación, también son recomendables.

- *Topografía de la “mancha de inundación”.*

Esta información debe tener la misma referencia vertical utilizada para las secciones transversales.

- *Marcas y/o cualquier otro tipo de referencias de los niveles máximos de agua alcanzados por las inundaciones*

Materializar en diferentes lugares de la “mancha de inundación” los niveles máximos, y si es posible la fecha y hora aproximada.

- *Seguimiento durante las inundaciones.*

Seguimiento de los niveles de agua en varios puntos a lo largo del arroyo, con intervalos del orden de 3 horas.

REQUERIMIENTOS PARA SIMULACIÓN DE VOLÚMENES DE INUNDACIÓN QUE SALEN Y ENTRAN DEL ÁREA SIMULADA CON EL MODELO HEC-RAS:

Para poder representar adecuadamente el funcionamiento de las áreas de inundación a lo largo del arroyo, en el trecho que atraviesa la ciudad, el HEC-RAS cuenta con la herramienta “storage area” (StoAr), áreas de almacenamiento (Figura 4). Los requerimientos básicos para utilizar esa herramienta son:

- i) Información sobre el área ocupada por las aguas, incluyendo topografía básica (cotas y distancias generales, por ejemplo, coordenadas y cota de centro de cruce de calle, anchos de calles, etc.) georreferenciada sobre la misma base que el cauce del arroyo;
- ii) Lugares de transferencia de agua (ida y vuelta) entre el arroyo y las áreas de inundación, y sus características hidráulicas, incluyendo tipo de transferencia (desborde, desagües pluviales, etc.), tamaño (ancho aproximado del desborde, diámetro de los pluviales, etc.), cotas (entrada, salida, desborde, etc.);
- iii) Características generales del movimiento del agua dentro de las áreas de inundación. Es necesario tener un panorama general de como se comporta el agua en las áreas de inundación, o sea cuáles son las áreas de acumulación “pura” (agua quieta),

cuáles las regiones por donde el escurrimiento es más visible, cómo se mueve el agua de una región inundada a otra, etc.;

La combinación de esas informaciones permite definir la localización, el número, el tamaño (área y volumen) y la conectividad de las StoAr necesarias para representar el funcionamiento del área inundada (entre StoAr y con el arroyo).

Una cuestión que condiciona la definición de cuántas StoAr utilizar y cómo se conectan entre sí es la metodología de simulación intrínseca del modelo (piscina nivelada). Esta metodología mueve el agua “instantáneamente” de un punto a otro de una StoAr. Para poder tener en cuenta el tiempo de viaje del agua, la misma requiere que las áreas de inundación no sean muy grandes (en relación a los tiempos y distancias de la creciente), sino un conjunto de áreas menores conectadas entre sí. En el caso del Azul, esto se da principalmente en el sentido paralelo al escurrimiento, ya que el ancho de inundación (para esta crecida) es pequeño.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de StoAr utilizada para representar el trasvase de agua del arroyo hacia la ciudad. La StoAr tiene una conexión con el arroyo en su extremo de aguas arriba y otra en el extremo aguas abajo. El agua entra por la conexión de aguas arriba (una estructura de descarga lateral tipo vertedero), recorre en forma instantánea todo el largo del área de almacenamiento (piscina nivelada, propagación instantánea) y sale por otra estructura lateral (conexión de aguas abajo) de vuelta al arroyo.

Las condiciones de desborde en las estructuras laterales se definen a partir de cotas donde comienza a inundar sectores adyacentes al curso del arroyo. Como en el ejemplo es utilizada una sola StoAr, lo que entra en la parte de aguas arriba sale en forma instantánea por la parte de aguas abajo. Para simular el efecto de propagación (retardo del escurrimiento) es necesario dividir la StoAr en varias partes, e implementar estructuras de conexión y regulación del escurrimiento entre ellas, por ejemplo vertederos o alcantarillas.



Figura 4. Ejemplo de área de almacenamientos laterales de inundación.