

IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN POR RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO DEL RÍO MENDOZA (Argentina).

José A. Morábito⁽¹⁾⁽²⁾, Carlos M. Mirábile⁽¹⁾, Santa E. Salatino⁽¹⁾, Leandro Mastrantonio⁽²⁾, Roberto R. Barone⁽¹⁾ y Eduardo A. Comellas⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Centro Regional Andino - INA, Belgrano 210 Oeste, 5500 – Mendoza jmorabito@lanet.com.ar

⁽²⁾ Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo; Alte. Brown 500, 5505 - Chacras de Coria, Mendoza jmorabito@fca.uncu.edu.ar

Resumen

A partir del año 1950 se produjo en el mundo un gran crecimiento de la población en coincidencia con una aceleración de la tasa de urbanización. La provisión de agua limpia y segura, al igual que la disposición final de las aguas servidas y de los escurrimientos superficiales comienza a ser cada vez más compleja y requiere una adecuada planificación, altas inversiones y una rápida capacidad de reacción. El oasis del río Mendoza constituye un caso interesante de estudio. Su cuenca, con escurrimiento de origen nival, tiene una superficie de 8.000 km² pero el uso del recurso está concentrado en lo que localmente se denomina “oasis”, de sólo 800 km² y en esta pequeña superficie se concentra más del 80% de la población, el 74% del PBG provincial, el 72% de los servicios y más del 50% de la actividad vitícola (Fasciolo y otros, 2004). La eficiencia de uso, la calidad del agua en el río Mendoza y el modelo de administración descentralizado y participativo, con más de 100 años de co-gestión en la Provincia de Mendoza, debe afrontar un nuevo desafío cual es el incremento importante en el número de quejas de usuarios relativas a los inconvenientes causados por la presencia de material sólido (plásticos, latas, cartones, etc.) que pueden englobarse en los términos “residuos sólidos urbanos (RSU)” o “basura” arrastrado a través de la red de riego existente en el oasis. El objetivo general del trabajo fue analizar el impacto que generan la basura sobre la red de riego del oasis norte (río Mendoza) y, más específicamente, evaluar la incidencia de la basura transportada por el agua en la efectiva distribución de los caudales asignados a cada usuario. Con el fin de visualizar la problemática se procedió a relevar la red de riego existente en el área del estudio, especialmente las tomas de los principales canales e hijuelas localizadas en la Primera, Segunda y Cuarta zonas de riego (Asociaciones de Inspecciones de Cauce) del río Mendoza. Con posterioridad se eligieron al azar -en estas 3 zonas de riego- nueve (9) derivaciones de cauces en las que se realizaron relevamientos de las obras de arte existentes y campañas de aforos durante el ciclo agrícola 2005/2006 (agosto/mayo), midiendo los caudales con las compuertas sucias y luego de haberlas limpiado. Para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos se procedió al análisis estadístico de los caudales, mediante la utilización de la prueba de T para muestras apareadas, ya que las mismas no son independientes para cada canal. La hipótesis planteada fue que el caudal aforado en un canal “limpio” deberá ser mayor que el medido en el mismo canal “sucio”. Los resultados obtenidos permiten afirmar que para un nivel de confianza del 5 % ($\alpha = 0,05$) existen diferencias significativas sólo en uno de los nueve canales analizados confirmando la hipótesis planteada. Si se considera, en cambio, un nivel de confianza del 10 %, el número de canales afectados (alteración de los caudales entregados) asciende a 4/9 donde el caudal del canal limpio es mayor significativamente al caudal del canal sucio. Otra conclusión interesante resulta de observar que -en promedio- los RSU producen variaciones de caudal recibido y su valor se aproxima al 73 % del caudal esperado, es decir, un 27 % menos y la máxima diferencia medida entre caudal esperado y recibido fue del 68 %.

Palabra clave: riego, basura, canales, alteración de caudales

INTRODUCCIÓN / ANTECEDENTES

La Provincia de Mendoza, situada en el centro oeste de la República Argentina posee un territorio de 150.000 km², en su mayor parte desértico. En cuanto a su hidrología, pueden mencionarse cinco grandes ríos aprovechados que, de norte a sur son: *Río Mendoza*, cuya desembocadura y delta se encuentran en el límite con la provincia de San Juan (Lagunas del Rosario), *Río Tunuyán*, *Río Atuel*, *Río Diamante* y -por último- al sur del territorio, el *Río Malargüe*.

A partir del año 1950 se produjo en el mundo un dramático crecimiento de la población en coincidencia con una aceleración de la tasa de urbanización. La provisión de agua limpia y segura, al igual que la disposición final de las aguas servidas y de los escurrimientos superficiales -producto de las tormentas urbanas sobre las nuevas “mega ciudades”- comienza a ser cada vez más seria y compleja y requiere una adecuada planificación, altas inversiones y una muy rápida capacidad de reacción. Es así que desde fines del siglo XX el problema adquiere tal relevancia que, aparece en la agenda de todos los organismos internacionales dedicados al recurso hídrico (Biswas y otros, 2004).

El oasis del río Mendoza constituye un caso interesante de estudio. Su cuenca, con escurrimiento de origen nival, tiene una superficie de 8.000 km² pero el uso del recurso está concentrado en lo que localmente se denomina “oasis”, de sólo 800 km² y en esta pequeña superficie se concentra más del 80% de la población, el 74% del PBG provincial, el 72% de los servicios y más del 50% de la actividad vitícola (Fasciolo y otros, 2004).

Este proyecto se inscribe en la continuidad de una línea de investigación que se viene desarrollando en Mendoza a partir de estudios financiados por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la U.N. de Cuyo, el Instituto Nacional del Agua y la Facultad de Ciencias Agrarias respecto a la eficiencia de uso y la calidad del agua en los ríos Mendoza y Tunuyán. El modelo de administración descentralizado y participativo, con más de 100 años de co-gestión en la Provincia de Mendoza, fue lógicamente alterado en el tiempo por las distintas circunstancias socio-políticas que caracterizaron su desarrollo agrícola. Así, en los últimos años se ha observado un incremento importante en el número de quejas de usuarios relativas a los inconvenientes causados por la presencia de material sólido (plásticos, latas, cartones, etc. que pueden englobarse en el término “basura”) arrastrado a través de la red de riego existente en el oasis.

En Mendoza la recolección de los residuos sólidos urbanos está actualmente a cargo de los diferentes municipios quienes prestan el servicio de manera directa o en forma tercerizada (Ley 5970 / 92, artículo 1º: “*Los Municipios de Mendoza erradicaran todos los basurales a cielo abierto y los microbasurales en terrenos baldíos que se encuentren dentro de sus límites. Asimismo, impedirán el vuelco de residuos en cauces de riego o el mal enterramiento de los mismos*”).

Según datos del INDEC, la cantidad de residuos sólidos urbanos generados diariamente por cada habitante en el transcurso de un año en Argentina es de 0,91 kg. Mendoza está por arriba de la media nacional con 1,18 kg/habitante/día. Por otro lado, a nivel nacional se ha calculado que del total de RSU el: 58 % corresponde a restos de alimentos (residuos orgánicos), 9 % a papel y cartón, 10 % a plásticos, 6 % a vidrios, 2 % a metales y 15 % “sin identificar” (*Plan Nacional de Valorización de Residuos (PNVR). Año 2000. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Jefatura de Gabinete de Ministros*).

Por otra parte Según los datos facilitados por la Asociación de Inspecciones de cauce de la 1ª Zona de Riego del río Mendoza, un 89% corresponde a envases plásticos descartables, dentro de los cuáles los de gaseosas ocupan un 67%. Extrapolando estos datos puede decirse que solamente en la red secundaria urbana del río Mendoza (aproximadamente 340 km de canales a cielo abierto) se produce una acumulación de 77.180 m³ de basura al año (12.000 camionadas). Si se piensa en un costo promedio de extracción de 24,14 \$/m³, el costo total estimativo anual sería de \$ 1.863.125 (Salomón, 2005).

Si se analiza el problema desde el punto de vista de los responsables de la Gestión del agua de riego (Asociaciones de Inspecciones de Cauce) es sabido que la presencia de RSU afecta el presupuesto anual de dichas Asociaciones, encargadas del mantenimiento y limpieza de la red.

Según *Feijoo et al (2007)* los costos de mantenimiento se han visto incrementados a causa de que las Asociaciones se ven obligadas a reforzar el control y limpieza de los cauces. Esto supone un costo directo que representa el 30 o 35% de su presupuesto anual y también se ven afectados los costos indirectos. En promedio el gasto extra del canon que pagan los regantes del oasis norte supera el millón y medio de pesos y está destinado a la construcción de rejas y trampas para basura, reconstrucción de mampostería y obras de arte y compra de maquinaria para la extracción del material depositado en las márgenes de los cauces. Paralelamente al costo material existe un costo operativo no menos importante: horas extra del personal de tomeros e inequitativa distribución del agua, sumada a la pérdida de calidad del recurso por arrastre de desagües domésticos (lavandinas, detergentes, soda cáustica, etc.) y comerciales (lubricantes, estaciones de servicio, etc. con su aporte de hidrocarburos y compuestos químicos potencialmente peligrosos para los cultivos).

Por último, la acumulación de basura en los cauces de riego afecta la condición de colectores aluvionales de los principales canales de la red. Según *Maza (2005)* cuando se pasa de un habitante a ciento veinticinco por cuadra el caudal aluvional aumenta 10 veces y corre 10 veces más rápido, se reduce la evaporación y el agua que escurre aumenta un 88 %. Como perjuicio adicional el agua llega 10 veces más contaminada a las zonas de riego. La dualidad obligada de la red de riego (riego y evacuación aluvional) perjudica a los regantes quienes deben afrontar el gasto de las tareas de reconstrucción y mantenimiento de la red dañada por los aluviones cuando en realidad los verdaderos beneficiarios están asentados en la ciudad (sociedad toda).

HIPÓTESIS

La presencia de residuos sólidos urbanos en la red de riego perjudica la distribución del agua para riego y disminuye el caudal derivado a las propiedades.

OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo fue analizar el impacto que generan los RSU (basura) sobre la red de riego del oasis norte (río Mendoza) y, más específicamente, evaluar la incidencia de la basura transportada por el agua en la efectiva distribución de los caudales asignados a cada usuario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de visualizar la problemática se procedió a relevar la red de riego existente en el área del estudio, especialmente las tomas de los principales canales e hijuelas (ubicación, problemática, estado general, etc.). Para ello se recorrió la Primera, Segunda y Cuarta zonas de riego del río Mendoza, en compañía de personal de las respectivas Gerencias, aporte que no hace más que avalar la importancia que las Asociaciones de Inspecciones de Cauce asignan al problema.

Con posterioridad se eligieron al azar -en estas 3 zonas de riego- las derivaciones de los cauces (canales de riego) en las que se realizarían las mediciones. La campaña de aforos se realizó durante el ciclo agrícola 2005/2006 (agosto/mayo) y se eligieron los siguientes nueve (9) sitios de registro:

a) Primera Zona de Riego: sobre el Canal Cacique Guaymallén

- Rama Jarillal, Hijuela González (en su toma)
- Rama Tajamar, Hijuela Zapallar, el Ramo Pascual Segura (en su toma).

b) Segunda Zona de Riego: sobre el Canal Cacique Guaymallén

- Hijuela Villanueva (en su toma)
- Hijuela 2da. Guiñazú (en su toma)
- Rama Gil (en su toma)
- Hijuela Carbometal (25 m al sur de calle Besares)

c) Cuarta Zona de Riego:

- Canal Tulumaya (en su toma)
- Canal Tulumaya, la Hijuela Paramillo - Barón (en su toma)
- Canal Jocolí, la Hijuela Retiro (en su toma).

Toda la información obtenida se ingresó a una base de datos que permitió disponer de los caudales (aforos) oportunamente medidos a lo largo de la campaña y calcular las respectivas diferencias y/o variaciones.



Foto 1: Tramo final del canal Cacique Guaymallén y su partición en canales Jocolí y Tulumaya

La etapa siguiente consistió en el relevamiento de cada uno de los sitios seleccionados analizando las obras de arte existentes (compuertas de ataje, de derivación (toma), partidores, estructuras de aforos, rejas o trampas para basura, etc.), registrando las dimensiones básicas de las mismas (ancho y profundidad) y analizando sus curvas de gasto (cuando las había) (Tabla 1). Cada uno de los sitios de registro fue espacialmente referenciado por medio de GPS, obteniéndose las respectivas coordenadas (Tabla 2).

Tabla 1: Obras de arte existentes en las tomas de cada canal o hijuela en estudio

| Canal | Partidor | Reja | Compuerta de ataje | Compuerta de toma | Sección de aforo y escala | Curva de gasto |
|---------------------------------|----------|------|--------------------|-------------------|---------------------------|----------------|
| Hijuela González | Si | - | Si (2) | Si | - | - |
| Ramo Pascual Segura | - | - | - | Si | - | - |
| Rama Gil | Si | Si | Si (3 + V) | Si (3) | Si | Si |
| Hijuela en Carbometal* | - | Si | - | Si | - | - |
| Hijuela 2da Guiñazú | Si | - | - | Si | Si | Si |
| Hijuela Villanueva | - | Si | - | Si | Si | Si |
| Canal Auxiliar Tulumaya | Si | - | - | Si | Si | Si |
| Hijuela Paramillo –Barón | Si | - | - | Si | - | - |
| Hijuela El Retiro | Si | - | - | Si | - | - |

(*) Hijuela en Carbometal: no posee partidor. Sobre el canal cacique Guaymallén existen compuertas de ataje. La hijuela nace con un ángulo de 30°, presentando en su toma una tapa de madera que hace de compuerta fija y no llega hasta el fondo de canal.

Tabla 2: Coordenadas (GPS) de los sitios relevados

| Coordenadas | Datum Campo Inchauspe | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|
| | Este | Norte |
| Hijuela González | 2.513.249 | 6.366.005 |
| Ramo Pascual Segura | 2.516.229 | 6.364.984 |
| Rama Gil | 2.512.650 | 6.349.869 |
| Hijuela en Carbometal | 2.512.963 | 6.351.234 |
| Hijuela 2da Guiñazú | 2.512.377 | 6.348.832 |
| Hijuela Villanueva | 2.511.674 | 6.347.751 |
| Canal Auxiliar Tulumaya | 2.528.801 | 6.368.154 |
| Hijuela Paramillo -Barón | 2.534.335 | 6.368.171 |
| Hijuela El Retiro | 2.531.937 | 6.383.792 |

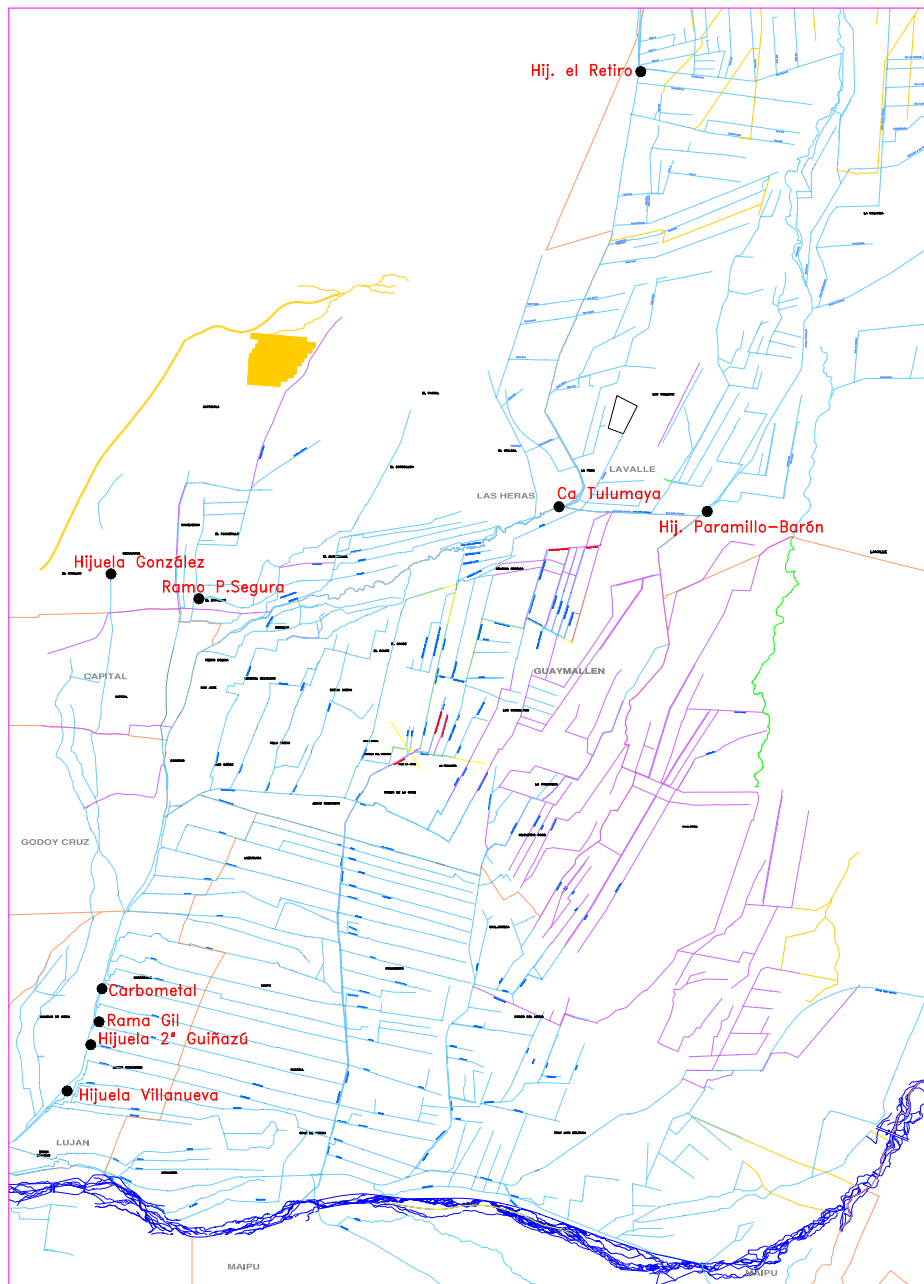


Figura 1: mapa del área de estudio y marcación de los puntos de medición donde se localizan los sitios medidos

Descripción de los sitios de aforo.

Hijuela González: Su toma se encuentra unos 50 m al Norte de la rotonda de Regalado Olguín, sobre el costado Este de la continuación de Boulogne Sur Mer, en el Departamento de Las Heras. La Rama Jarillal se encuentra revestida desde unos 10 m antes de llegar a la toma de la hijuela, la que también está revestida en sus primeros 30 m. La derivación se hace por medio de un partidor fijo y **no existe escala de aforo** en la rama, ni en la hijuela.

Ramo Pascual Segura: Su toma se encuentra en la intersección de las calles Olascoaga y Pascual Segura (costado Este) del Departamento Las Heras. Ambos cursos se encuentran revestidos en la zona de ataje y derivación del agua. La derivación se hace mediante compuerta y **no existe escala de aforo**.

Rama Gil: Nace sobre la margen derecha del canal Cacique Guaymallén a unos 100 m al Sur de la calle Pueyrredón, existiendo un dique, es decir compuertas de ataje sobre el Cacique Guaymallén y de toma sobre la rama, ambos cursos están revestidos. Unos 70 m aguas abajo de la compuerta de toma **se encuentra instalado una reja para la contención de la basura** y luego se encuentra la sección de aforo con escala y curva de gasto.

Hijuela en Carbometal. Nace sobre la margen derecha del Canal Cacique Guaymallén a unos 100m al sur de la calle Besares, inmediatamente se separa unos 50m del Canal para correr paralelo a él hasta entrar a la ex Fabrica Carbometal . Sobre el canal Cacique Guaymallén existen compuertas de ataje. La hijuela nace con un ángulo de 30°, presentando en su toma una tapa de madera que hace de compuerta fija y no llega hasta el fondo de canal.

Hijuela 2da. Guiñazú: nace de la margen derecha (Este) del cacique Guaymallén y su toma se ubica a 100 m al Oeste del carril San Martín, sobre el costado norte de la calle Almirante Brown. Ambos cursos están revestidos. La derivación se efectúa mediante compuerta. Tiene la particularidad de poseer un derivador (by pass) que devuelve el agua al cacique Guaymallén antes de traspasar la compuerta de toma, **que se usa para eliminar el primer golpe de agua que puede venir con basura**. Unos 20 m aguas abajo de la compuerta de toma se encuentra la sección de aforo con escala y curva de gasto.

Hijuela Villanueva: Su toma se encuentra 200 m al Norte de calle Castelli sobre el costado Oeste del canal cacique Guaymallén (Distrito Mayor Drumond del Departamento Luján de Cuyo) y ambos cursos se encuentran revestidos en la zona de derivación y toma. La derivación es por medio de una compuerta y -luego de unos 30 m de recorrido- la hijuela continúa en forma subterránea hasta la calle Castelli y luego cruza el canal Cacique Guaymallén mediante un puente canal para doblar nuevamente hacia el Norte, encontrándose unos 20 m más adelante una sección de aforo con escala y curva de gasto. Es de destacar que **tiene colocada una reja** para evitar el pasaje de basura en el lugar donde la hijuela pasa a ser subterránea (desde este punto hasta la sección de aforo sólo están a cielo abierto los últimos 20 m anteriores a la sección de aforo).

Canal Auxiliar Tulumaya: en el Distrito La Pega, del Departamento Lavalle y a unos 600 m al oeste de la Ruta Provincial 24 finaliza el canal Cacique Guaymallén. En ese punto nacen dos canales revestidos, el Jocolí y el Auxiliar Tulumaya, existiendo sección de aforo con escala (**sin curva de gasto**) sólo en el Cacique Guaymallén y Jocolí. El canal Jocolí sigue sobre el Oeste mientras que el Auxiliar Tulumaya tuerce un poco al Sur para luego tomar dirección Este La partición del agua se realiza mediante un partidor móvil y al llegar a la Ruta 24 se encuentra una sección de aforo con escala pero **no se tiene curva de gasto**.

Hijuela Paramillo - Barón: nace sobre la margen derecha (Este) del canal Auxiliar Tulumaya, en el denominado “triple compartó”. En dicho sector nacen además de la Hijuela Paramillo-Barón

(margen derecha) la Higuera Mosso (margen izquierda). Todas las hijuelas así como el Auxiliar Tulumaya están, en dicho punto, revestidos. La derivación del agua se hace mediante un partididor fijo y existe una sección de aforo y escala (*sin curva de gasto*) solamente sobre el Auxiliar Tulumaya.

Higuera El Retiro: nace en la margen izquierda del Canal Jocolí, en el lugar denominado “cuádruple compartó” ubicado sobre el costado Este de la Ruta Nacional 40, a la altura de la calle Villanueva, en el Distrito Tres de Mayo del Departamento Lavalle. En dicho punto todos los cursos están revestidos, presentando el canal Jocolí (metros antes de las compuertas de ataje y derivación) una reja precaria constituida por rieles de ferrocarril introducidos en el canal y apoyados en el otro extremo sobre un puente. Sólo existe sección de aforo con escala sobre el Jocolí unos metros antes de la reja pero *no posee curva de gasto*. Las derivaciones se efectúan mediante partididores fijos.



**Foto 2: Cuádruple compartó (Canal Jocolí, Tres de Mayo, Lavalle)
Estructuras de toma de sus 4 hijuelas de riego**

Desde el mes de agosto del 2005 hasta diciembre de 2006 y con una periodicidad mensual se han realizado los aforos correspondientes en los puntos seleccionados y arriba descriptos. Se utilizaron minimolinetes de alta precisión (marca A. OTT Kempten tipo C2 “10.150”) para medir los caudales pasantes. La metodología de aforo consistió en que, una vez arribados al punto de muestreo, se realizaron *dos aforos*. Uno, en el estado en que se encontraran el canal o la hijuela al momento de la llegada del operador y el segundo, luego de eliminar la basura que pudiera dificultar la libre circulación del agua en el cauce. De esta manera pudo calcularse el porcentaje de disminución/aumento del volumen entrado/pasante en ese punto. En forma complementaria se cuantificó la basura oportunamente extraída por el tomero, que se encontraba a los costados del canal.



Foto 3: Hijuela Guevara: material acumulado en la hoja partidora (rotonda de Regalado Olgún y Boulogne Sur Mer , costado Norte)



Foto 4: Ramo Pascual Segura (calles Olascoaga y Pascual Segura, Las Heras): material extraído



Foto 5: Canal Gil (reja para basura)



Foto 6: Hijueta 2da. Guiñazú: material extraído

Análisis estadístico

Para determinar la confiabilidad de los resultados obtenidos se procedió al análisis estadístico de los mismos, mediante la utilización de la *prueba de T para muestras apareadas*, ya que las mismas no son independientes para cada canal. La hipótesis planteada fue que el caudal aforado en un canal “limpio” deberá ser mayor que el medido en el mismo canal “sucio”.

Hipótesis:

$$H_0: \mu_{\text{limpio}} - \mu_{\text{sucio}} = 0$$

$$H_1: \mu_{\text{limpio}} - \mu_{\text{sucio}} > 0$$

El estadígrafo de prueba se comparó con valores críticos correspondientes a niveles de significancia de 5 y 10 %.

RESULTADOS

La Tabla 3 presenta los aforos (caudales) realizados en los canales estudiados antes (sucio = S) y después (limpio = L) de efectuar la limpieza de las compuertas (tarea de mantenimiento), el número de aforos realizados (n), el caudal medio (M), la desviación estándar (DS) y la mediana (Ma).

Tabla 3: caudales aforados en el período agosto 2005 a diciembre 2006 ($m^3 \cdot s^{-1}$) antes de eliminar la basura (sucio = S) y después de haber limpiado el canal (limpio = L).

| Canal | E | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | n | M | DS | Ma |
|------------|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|-------------|------|-------------|
| HG | S | 0,42 | 0,25 | 0,37 | 0,32 | 0,26 | 0,35 | 0,21 | 0,72 | 0,32 | 0,50 | 0,37 | | 0,23 | 0,50 | 13 | 0,37 | 0,14 | 0,35 |
| | L | 0,90 | 0,31 | 0,50 | 0,32 | 0,26 | 0,38 | 0,27 | 0,48 | 0,32 | 0,50 | 0,37 | | 0,29 | 0,50 | 13 | 0,42 | 0,17 | 0,37 |
| RPS | S | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,25 | 0,13 | 0,12 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 14 | 0,12 | 0,04 | 0,12 |
| | L | 0,115 | 0,12 | 0,10 | 0,25 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,09 | 14 | 0,13 | 0,04 | 0,12 |
| RG | S | 1,75 | 2,82 | 2,85 | 3,30 | 3,46 | 3,60 | 2,82 | 2,70 | 2,27 | 2,67 | 2,76 | 2,95 | 2,95 | 3,07 | 14 | 2,86 | 0,47 | 2,84 |
| | L | 1,75 | 3,07 | 2,93 | 3,50 | 3,66 | 3,60 | 2,82 | 2,82 | 2,27 | 2,67 | 2,76 | 2,95 | 2,95 | 3,07 | 14 | 2,92 | 0,50 | 2,94 |
| HC | S | | | | | | | | 0,60 | 0,56 | 0,57 | | 0,78 | 0,64 | 0,49 | 6 | 0,61 | 0,10 | 0,59 |
| | L | | | | | | | | 0,60 | 0,59 | 0,62 | | 0,78 | 0,64 | 0,49 | 6 | 0,62 | 0,09 | 0,61 |
| H2G | S | 0,35 | 0,56 | 0,57 | 0,51 | 0,63 | 0,65 | 0,56 | 0,56 | 0,58 | 0,56 | 0,41 | 0,40 | 0,58 | 0,68 | 14 | 0,54 | 0,10 | 0,56 |
| | L | 0,35 | 0,56 | 0,57 | 0,51 | 0,63 | 0,65 | 0,56 | 0,56 | 0,63 | 0,56 | 0,41 | 0,40 | 0,58 | 0,68 | 14 | 0,55 | 0,10 | 0,56 |
| HV | S | 0,61 | 0,87 | 0,35 | 0,52 | 0,52 | 0,53 | 0,35 | 0,44 | 0,39 | 0,37 | 0,43 | 0,37 | 0,43 | 0,50 | 14 | 0,48 | 0,14 | 0,44 |
| | L | 0,61 | 0,87 | 0,35 | 0,52 | 0,52 | 0,53 | 0,41 | 0,44 | 0,39 | 0,37 | 0,43 | 0,37 | 0,43 | 0,50 | 14 | 0,48 | 0,13 | 0,44 |
| CT | S | 2,61 | 2,61 | 3,45 | 4,49 | 1,97 | 6,05 | 4,49 | 5,41 | 3,57 | 3,70 | 3,89 | 3,76 | 4,09 | 5,41 | 14 | 3,96 | 1,15 | 3,83 |
| | L | 2,61 | 2,61 | 3,45 | 4,49 | 6,16 | 6,05 | 4,49 | 5,41 | 3,57 | 3,70 | 3,89 | 3,76 | 4,09 | 5,41 | 14 | 4,26 | 1,14 | 3,99 |
| HPB | S | 1,30 | 1,00 | 1,00 | 0,93 | | 0,95 | 0,66 | 0,94 | 0,79 | 0,77 | 1,19 | | | | 10 | 0,95 | 0,19 | 0,95 |
| | L | 1,30 | 1,28 | 1,00 | 0,93 | | 0,95 | 0,66 | 0,94 | 0,79 | 0,77 | 1,19 | | | | 10 | 0,98 | 0,22 | 0,95 |
| HER | S | 0,25 | 0,32 | 0,34 | 0,26 | 0,33 | 0,33 | 0,26 | 0,79 | 0,54 | 0,40 | | 0,37 | 0,34 | 0,42 | 13 | 0,38 | 0,15 | 0,34 |
| | L | 0,38 | 0,39 | 0,34 | 0,26 | 0,33 | 0,36 | 0,26 | 0,79 | 0,54 | 0,40 | | 0,37 | 0,34 | 0,42 | 13 | 0,40 | 0,14 | 0,37 |

La figura 2 grafica la frecuencia de caudales registrados durante la campaña de aforos para el caso de compuerta “sucia” (S): sobre un total de 112 aforos, 80 están comprendidos en un rango menor a $1 m^3 \cdot s^{-1}$.

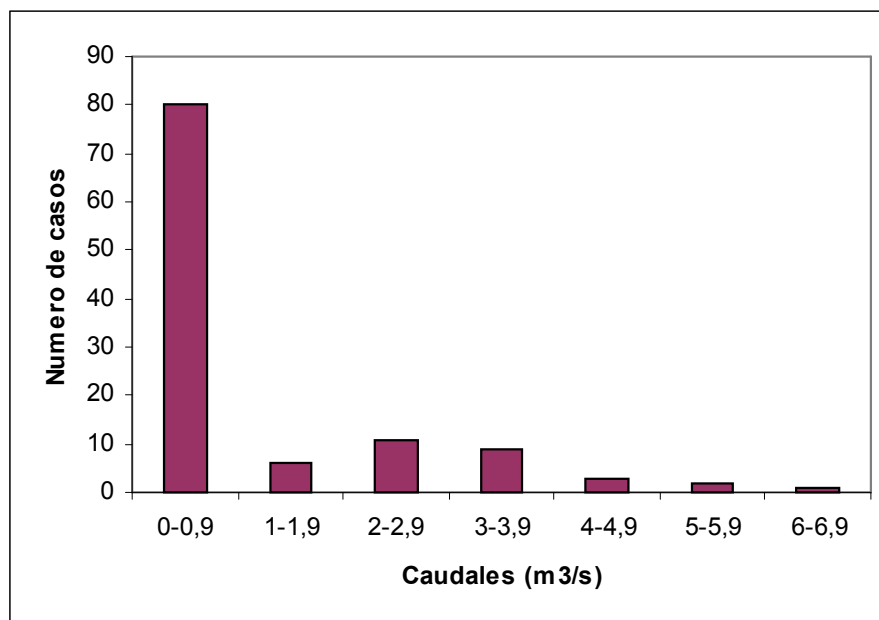


Figura 2: frecuencia de caudales (aforos) correspondientes a compuerta “sucia” (S)

La figura 3 presenta el correspondiente diagrama de caja y la figura 4 los caudales aforados antes y después de limpiar la compuerta (S y L) en la Higuera González durante el ciclo 2005/06, con el objeto de compararlos entre sí y de analizar las variaciones existentes a lo largo de dicho ciclo. Como puede verse en el mes de agosto la diferencia entre los caudales es muy grande ($0,90$ a $0,42 m^3 \cdot s^{-1}$) mientras que en noviembre y diciembre no se aprecian diferencias. También se observa que en el mes de marzo el caudal recibido supera al esperado, lo que se explica por el hecho de que –en este único caso– el canal pasante estaba atascado.

El caudal promedio obtenido considerando las obstrucciones generadas por los residuos sólidos urbanos (RSU) o “basura” fue de $1,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mientras que el caudal promedio medido después de haber realizado la limpieza de la compuerta fue de $1,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La relación entre ambos promedios es de $1,23/1,28 = 0,96$, muy próxima al error de medición del minimolinete utilizado para el aforo. A su vez, si se comparan las medianas (Ma) de los caudales éstas resultan iguales ($0,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Para un nivel de confianza del 5 %, el análisis indica que sólo en la Rama Gil (RG) el caudal del canal limpio es significativamente mayor que el aforado antes de su limpieza (canal sucio = S). En los demás canales las diferencias entre caudales medios con y sin presencia de RSU no resultaron significativas. Para un nivel de confianza del 10 %, en cambio, el caudal del canal limpio es significativamente mayor que el caudal del canal sucio en cuatro (4) sitios de muestreo: Ramo Pascual Segura (RPS), Rama Gil (RG), Hijuela en Carbometal (HC) e Hijuela El Retiro (HER).

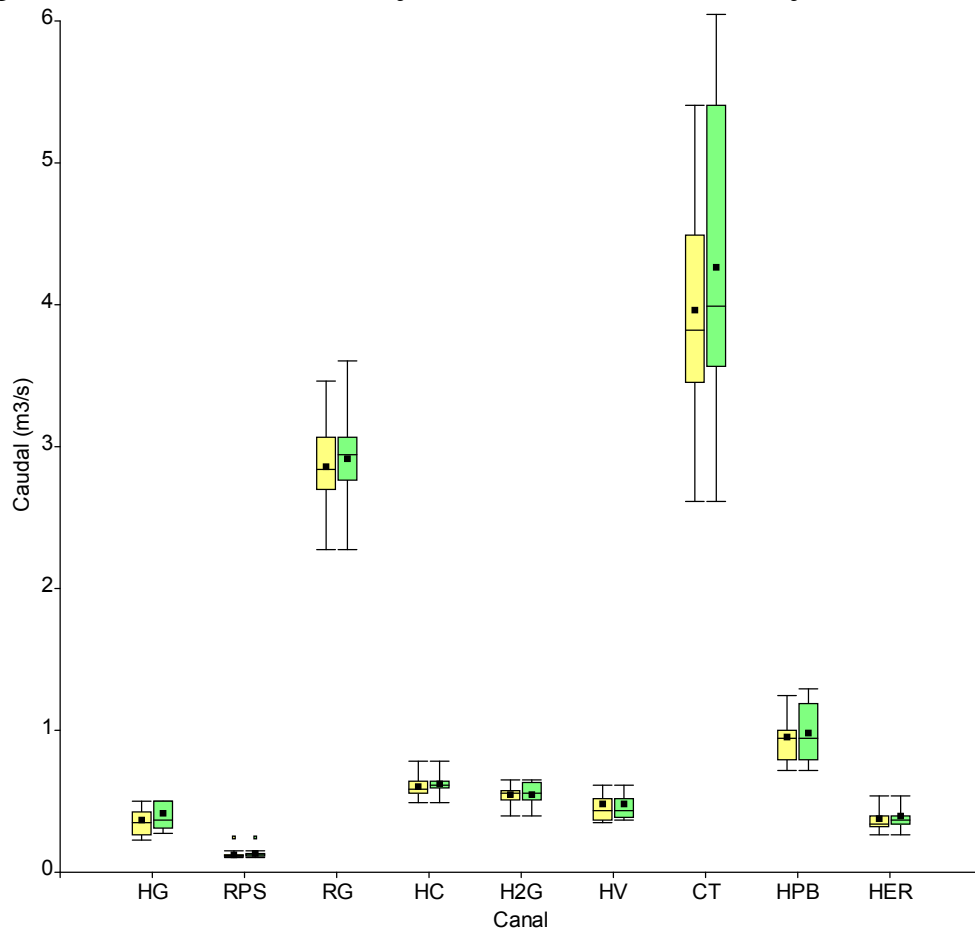


Figura 3: Diagrama de caja de caudal sucio (amarillo) y caudal limpio (verde) en los sitios de muestreo

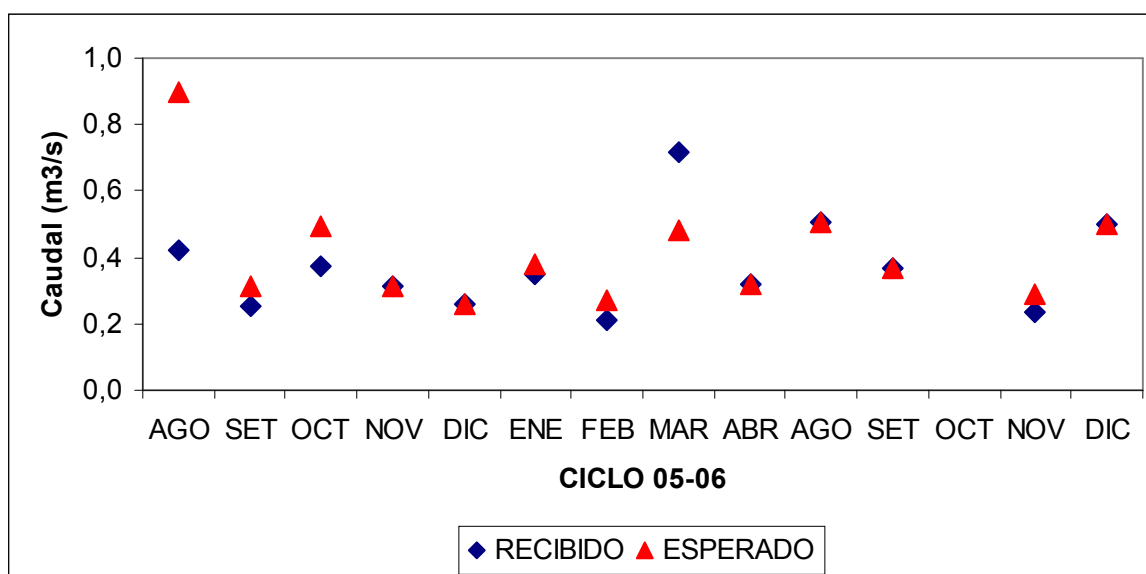


Figura 4: caudales medidos en la Hijauela González (período 2005/2006) con compuerta “limpia” (esperado) y “sucia” (recibido).

Con los caudales medidos en la campaña de aforos es factible definir un indicador de equidad de distribución (IQ) de utilidad para verificar la marcha de la distribución en un determinado cauce a lo largo del tiempo y posibilitar la toma de decisiones o la corrección de posibles desfases. El IQ se define como el cociente entre “caudal recibido/caudal esperado” y la Tabla 4 presenta los indicadores oportunamente obtenidos para cada canal y cada mes del ciclo analizado. En la tabla figura, además, el número de casos analizados (n) y los valores máximos y mínimos registrados.

Tabla 4: Valores de IQ para cada uno de los canales aforados (%)

| Mes Canal | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Ago | Set | Oct | Nov | Dic | n | Max | Min |
|-----------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|
| HG | 47 | 81 | 75 | 100 | 100 | 92 | 77 | 149 | 100 | 100 | 100 | | 81 | 100 | 13 | 149* | 47 |
| RPS | 96 | 100 | 100 | 100 | 100 | 86 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 71 | 100 | 14 | 100 | 71 |
| RG | 100 | 92 | 97 | 94 | 95 | 100 | 100 | 96 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 14 | 100 | 92 |
| HC | | | | | | | | 100 | 95 | 92 | | 100 | 100 | 100 | 6 | 100 | 92 |
| H2G | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 92 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 14 | 100 | 92 |
| HV | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 87 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 14 | 100 | 87 |
| CT | 100 | 100 | 100 | 100 | 32 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 14 | 100 | 32 |
| HPB | 100 | 78 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | | | 10 | 100 | 78 |
| HER | 65 | 82 | 100 | 100 | 100 | 90 | 100 | 100 | 100 | 100 | | 100 | 100 | 100 | 13 | 100 | 65 |
| Promedio | 97 (n = 112 datos) | | | | | | | | | | | | | | 12 | - | 73 |

(*) Canal pasante atascado

Se observa que sobre 112 pares de datos correspondientes a los aforos analizados 24 presentan un valor de IQ diferente a 100, lo que indica que esos cauces reciben una cantidad de agua distinta de la esperada, a causa de la presencia de RSU en la bocatoma del canal. Sólo en un (1) caso el agua recibida en el cauce derivado fue mayor que la esperada (esto resulta lógico ya que hay más posibilidades de que se atasque una compuerta de menor tamaño (derivación) que un canal pasante). La figura 5 grafica (en porcentaje) los valores extremos de caudal factibles de ser recibidos en un canal del área de estudio afectado por la presencia de RSU. Así pues, a modo de ejemplo, la Hijauela González (HG) podría recibir un caudal comprendido entre valores de IQ de 0,47 (compuerta sucia u obturada) y 100 (compuerta limpia).

En el 21 % de los casos (24/112) se comprobó obturación de compuertas por presencia de RSU, con un valor mínimo medio de $IQ = 73\%$, lo que debe interpretarse como una disminución máxima media de caudal del 27 % (indicado en la figura 5 en línea de puntos). El valor extremo correspondió a un $IQ = 32\%$, lo que implica recibir un 68 % menos del caudal esperado (Canal Auxiliar Tulumaya).

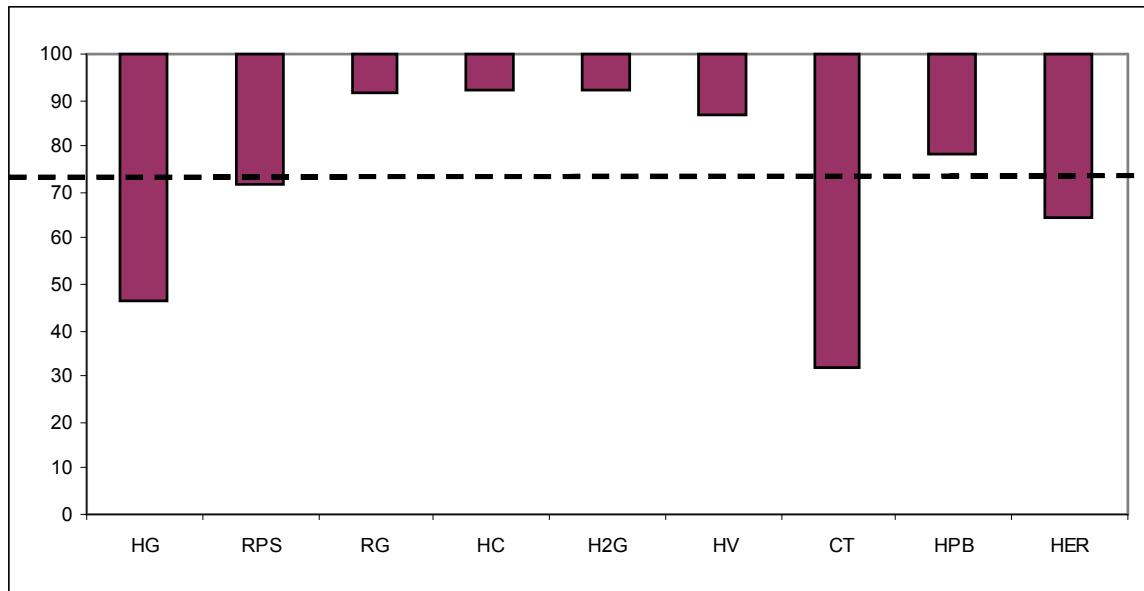


Figura 5: porcentaje de caudales factibles de ser recibidos en bocatoma de cada canal y valor mínimo medio (73 %)

Del mismo modo y también con el objeto de cuantificar la afectación que producen los RSU en los canales derivados la figura 6 muestra la relación “caudal en compuerta limpia versus caudal en compuerta sucia”, sobre los 24 casos en los que hubo diferencias de caudal. La recta de regresión entre ambos casos indica que la reducción de caudal podría alcanzar casi a un 31% ($1 - 0,69$), levemente superior al 27% obtenido como media de los valores mínimos de IQ de la tabla 4.

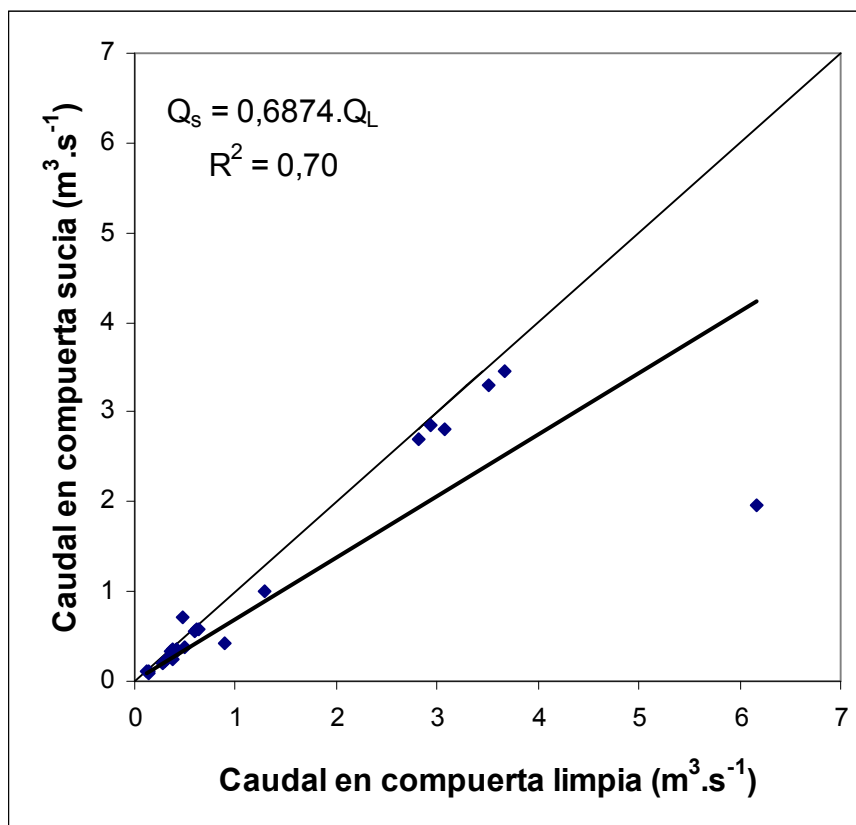


Figura 6: Relación caudal en compuerta limpia versus caudal en compuerta sucia

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten afirmar que para un nivel de confianza del 5 % ($\alpha = 0,05$) existen diferencias significativas sólo en uno de los nueve canales analizados confirmando la hipótesis de que los RSU afectan a los caudales derivados hacia los regantes. Si se considera, en cambio, un nivel de confianza del 10 %, el número de canales afectados (alteración de los caudales entregados) asciende a 4/9 donde el caudal del canal limpio es mayor significativamente al caudal del canal sucio.

Otra conclusión interesante resulta de observar que -en promedio- los RSU afectan la distribución del caudal en el 21 % de las compuertas estudiadas y en ellas las variaciones de caudal mínimo medio recibido se aproximan al 73 % del caudal esperado, es decir, un 27 % menos. Además, la máxima diferencia medida entre caudal esperado y recibido fue del 68 %.

Como puede verse el impacto de los residuos sólidos urbanos sobre la red de riego del oasis norte de la Provincia de Mendoza se ha constituido en una problemática cuya importancia nadie podría discutir, de cara a la relevancia que el elemento agua adquiere para nuestra realidad de zona semiárida. Los conflictos derivados de la deposición, el incremento del consumo con su consecuente aumento de materiales de embalaje (package) plásticos (PET y otros), el crecimiento urbano no planificado del oasis y los numerosos actores intervinientes hacen muy difícil gestionar las soluciones a esta problemática. No obstante ello, las autoridades provinciales, los organismos de usuarios y las principales ONG's están trabajando sobre objetivos concretos, para la consecución de los cuales resulta de gran utilidad disponer de información relevante en forma continua.

Bibliografía

Arce, Marcelo. (2006). Los mendocinos tiran toneladas de basura a los cauces de riego. Diario UNO, Mendoza, 18 de julio de 2006.

Biswas A.K., C. Tortajada, J. Lundqvist y O. Varis. 2004. The water challenges of megacities. Stockholm Water Front 2: 12.

CEAMSE (2001). "Informe sobre el ingreso de residuos a Ceamse. Estudio de caracterización de residuos", Buenos Aires, Argentina.

Chiani, Diana. (2007). Los canales: contaminados, peligrosos y vulnerables. Diario Los Andes, Sección Sociedad, 11 de noviembre de 2007.

DEIE. Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas. www.deie.mendoza.gov.ar

Diario Los Andes (2006). "Por la lluvia sacaron 60 toneladas de residuos de calles y acequias", Ed. del 21 de Septiembre de 2006. En: <http://earchivo.mendoza.gov.ar/idnota=6085>.

Dirección de Saneamiento y Control Ambiental – Mendoza: "Residuos urbanos", En: <http://www.saneamiento.mendoza.gov.ar>

Fasciolo G., Zuluaga J., y otros. (2004) Informe Ambiental del Marco Estratégico de la UNCuyo. Mendoza, Argentina.

Feijóo, María Luisa, J. Morábito y S. E. Salatino. (2007). Gestión de los residuos sólidos urbanos y su impacto sobre los cauces de riego del río Mendoza, Argentina. Diagnostico y propuestas de manejo para la toma de decisiones. Informe correspondiente a la pasantía realizada por María Luisa Feijóo en el CRA –INA, Mendoza, Julio- Diciembre de 2007.

INDEC: Instituto Nacional de Estadística y censos. www.indec.mecon.ar

Martín Agüero (2005). Valoración y propuestas de gestión de residuos sólidos en cauces de riego del área del río Mendoza. Tesina de licenciatura. Universidad de Congreso.

Maza, Jorge. (2005). Propuesta de manual municipal de drenaje urbano. IT n° 66-CRA. Mendoza – Argentina.

Morábito, J. (2003). Desempeño del riego por superficie en el área de riego del río Mendoza. Eficiencia actual y potencial. Parámetros de riego y recomendaciones para un mejor aprovechamiento agrícola en un marco sustentable. Tesis de master. Facultad de ciencias agrarias. Maestría en riego y drenaje. UNCuyo.

Oikos - Red Ambiental (2007). "El problema de los Residuos Sólidos sobre la red de riego", Documentos, 13 de Junio de 2007. En: <http://www.oikosredambiental.org.ar>.

Salomón, M.; Thomé, R.; López, J.; Albrieu, H.; Ruiz, S. (2005). Problemática de las áreas bajo riego y organizaciones de usuarios marginales a la aglomeración del gran Mendoza. CONAGUA 2005. Mendoza, Argentina.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2000). Jefatura de Gabinete de Ministros. (Plan Nacional de Valorización de Residuos (PNVR). Argentina. <http://www.ambiente.gov.ar/default.asp?IdArticulo=3910>