



IV. 1 Elaboración de modelos topográficos

Para la elaboración de modelos topográficos actualizados de la zona en estudio surgió el inconveniente de no contar con una planilla de puntos acotados distribuidos de manera homogénea por toda el área que ocupa la cuenca.

Realizar una campaña de medición recorriendo toda la cuenca y tomando puntos adecuadamente, para luego procesarlos nos hubiese demandado mucho tiempo debido a que es una tarea compleja y costosa por la gran extensión que abarca la cuenca. Por este motivo y por las precisiones que se requieren para este trabajo hemos decidido obtener los puntos acotados de una manera alternativa.

En página web del I.G.N (Instituto Geográfico Nacional) se descargó un mapa digital de curvas de nivel de todo el país con una equidistancia de 10 metros en formato Shape File.

Importando este archivo en el Software Auto Cad Raster Design se seleccionó el área de interés previamente delimitando la cuenca del Arroyo Saladillo, y descartando las curvas de nivel del resto del país.

Luego se exportó de cada curva de nivel los puntos que la contienen con coordenadas (X, Y). Esta lista de puntos fue copiada al programa Excel en el cual se asignó la cota correspondiente. De esta manera se obtuvieron 8.000 puntos acotados distribuidos de manera homogénea por todo el terreno.

Es oportuno aclarar, que los puntos están acotados bajo un sistema de coordenadas X, Y local propio del software Auto Cad, en caso de querer pasarlos a un sistema global, habría que localizar dentro del mapa de curvas de nivel 3 puntos por lo menos de coordenadas conocidas para poder georreferenciarlo.

Posteriormente se describirán los modelos topográficos obtenidos a través de la utilización de distintos software.

IV.1.1 Modelo digital del terreno

Se define modelo digital del terreno como una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas X,Y,Z conocidas, en un sistema de coordenadas arbitrario.

La técnica de modelización digital es aplicable en múltiples campos para la representación de superficies. Es un importante recurso para la automatización de proceso para aplicaciones topográficas. De allí se obtiene planos de puntos acotados, perfiles, vistas espaciales del terreno, curvas de nivel.

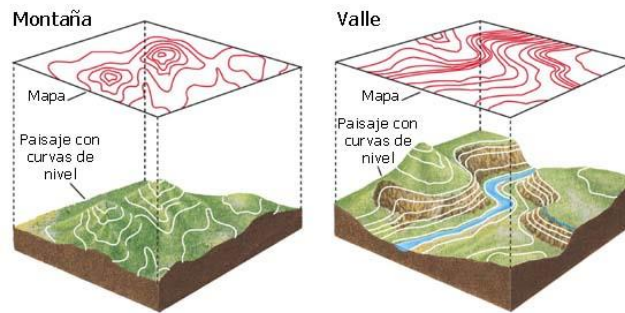


Figura 52: diseño de modelo digital del terreno.

Los programas de representación gráfica tridimensional son capaces de interpolar datos irregularmente espaciados en XYZ, produciendo un archivo de grilla que luego son usados para desplegar mapas tridimensionales. A partir de grillas queda definido un modelo digital de terreno por triangulación del que derivan curvas de nivel, perfiles, volúmenes.

Importando la lista de puntos obtenida anteriormente al software Auto Cad Civil, se crea un modelo de elevación creando una grilla con algoritmos de interpolación Krigging, lo que posteriormente mediante configuraciones del sistema y seleccionando una escala de colores se convierte en un modelo digital del terreno, que no es otra cosa que una representación simplificada de la realidad.

Hay que aclarar que los puntos obtenidos son el resultado de una interpolación realizada por el I.G.N para la confección del mapa de curvas de nivel original, es por este motivo que al interpolarlos nuevamente puede haber errores que se van corrigiendo modificando la triangulación generada por el software.

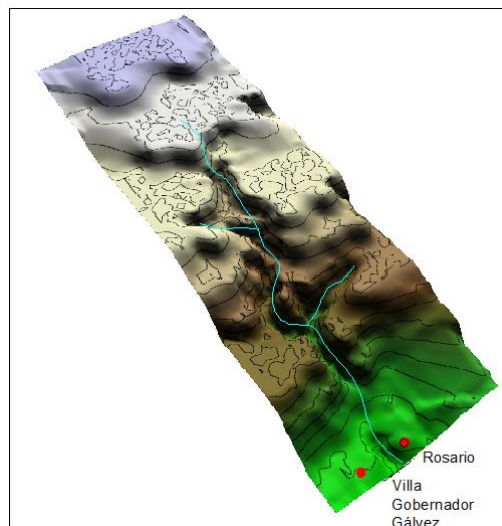


Figura 53: modelo digital del terreno



Se puede observar con claridad la pendiente hacia el Rio Paraná desde el comienzo del Arroyo Saladillo en la Cañada Los Leones hasta su desembocadura, así como la presencia de arroyos secundarios que desaguan en el curso principal de la cuenca.

Para la confección de la cartografía resultante se trazó el Arroyo Saladillo y se localizaron las ciudades de Rosario y Villa Gobernador Gálvez.

IV. 1.2 Curvas de nivel

Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de puntos acotados, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel. Dicho plano de referencia puede ser o no el nivel del mar, pero en caso de serlo se hablará de altitudes en lugar de cotas.

Partiendo del modelo de alturas anteriormente generado por triangulación de puntos, posteriormente se crearon las curvas de nivel con una equidistancia de 2,5 metros.

Debido a que el listado de puntos (X,Y,Z) provienen de una interpolación se pueden generar errores en la construcción de curvas de nivel. Es por este motivo que efectuamos un control de los trazos obtenidos comparándolos con las curvas de nivel de una antigua cartografía en formato papel diseñada por el I.G.N con equidistancia 2,5 metros. Dicha lámina fue proporcionada por el Instituto de Fisiografía de la Universidad Nacional de Rosario.

Las curvas de nivel van desde la cota 120 metros en el Nord-Oeste descendiendo hasta la cota 20 metros en el Sur-Este llegando a la localidad de Rosario y Villa Gobernador Gálvez. Se puede observar perfectamente los cursos de agua secundarios al Arroyo Saladillo como ser por ejemplo el Arroyo Candelaria.

IV. 1.3 Perfiles transversales y longitudinales

El perfil topográfico es una representación de tipo lineal, que permite establecer las diferencias de altitud que se presentan a lo largo de un recorrido.

Se pueden clasificar como perfil longitudinal a aquel que toma la misma dirección durante todo el recorrido sin cambiar el rumbo y como perfil transversal a la intersección del terreno con un plano vertical, es decir los perfiles transversales son perpendiculares al perfil longitudinal.

Para poder confeccionar los perfiles se utilizó las curvas de nivel obtenidas anteriormente. Continuando con la aplicación del mismo software se estableció con una alineación la ubicación de los mismos. El programa de manera automática, seleccionando las líneas e indicando el sentido de avance crea los perfiles tanto transversales como el longitudinal.



Lo que resta son simples operaciones de edición de los perfiles para poder construir la lámina resultante (XI), adecuando la escala y la exageración vertical hasta obtener una cartografía útil y de fácil comprensión.

IV. 2 Comparación de los resultados obtenidos

A partir de las mediciones efectuadas en las dos etapas se evidencia claramente que la cascada ha sufrido pequeños desmoronamientos generando desplazamiento de la misma. Esto se debe al proceso de erosión retrogradente característico de la geoforma en estudio.

Se trata de un proceso natural propio característico de la estratigrafía (material limo-arcilloso, poco cohesivo) presente en la zona pero que se ve agravado por los cambios producidos en los últimos tiempos: cambio de uso del suelo, rectificación y canalización del curso, construcción y densificación de canales clandestinos y las intensas precipitaciones.

A partir de los puntos medidos sobre la cascada en ambas etapas de campaña se trazó la forma de la cascada de manera tentativa en el software Auto Cad. Posteriormente dibujando normales entre las dos figuras generadas se obtuvieron los distintos corrimientos.

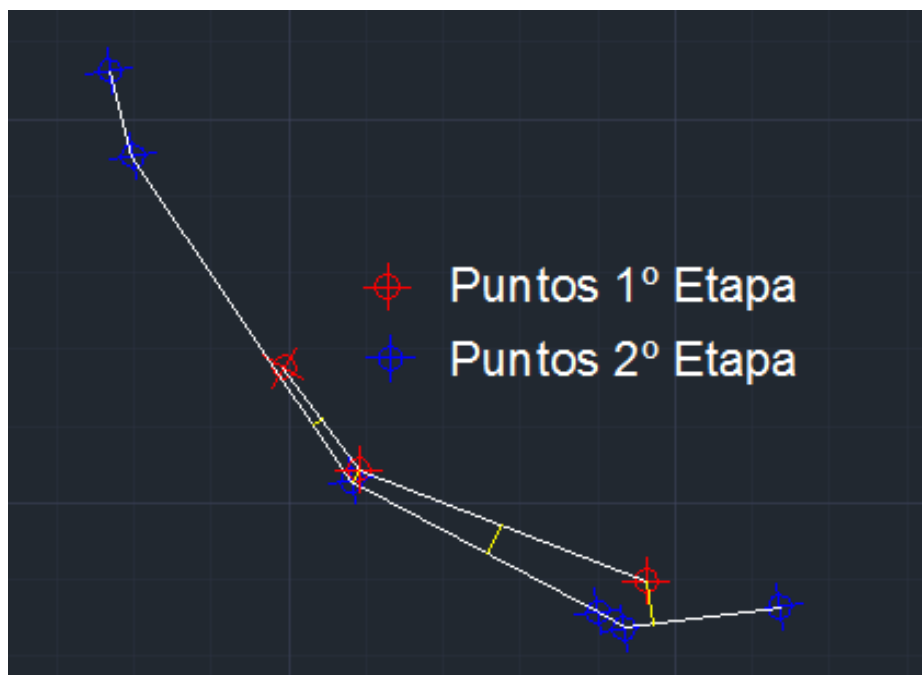


Figura 54: Captura del software AutoCad

Debido a que la cascada no presenta una forma definida, los desmoronamientos y por consiguientes los desplazamientos no son similares a lo largo de la misma. Se distingue que en el margen Sur se produjo mayor desmoronamiento de material, llegando a un desplazamiento máximo de aproximadamente 5 metros.

En el sector medio de la cascada los corrimientos son muy inferiores llegando a un desplazamiento del orden de medio metro.

Relacionando los resultados obtenidos con las precipitaciones ocurridas en el período Octubre 2015- Marzo 2016 se evidencia que existe una relación entre los milímetros caídos y la intensidad de la lluvia con los desplazamientos ocurridos, ya que al aumentar el caudal del arroyo en poco tiempo se acelera el proceso erosivo.

La precipitación media anual es de 960 mm, registrándose el 68% en el período primavera – verano, es decir 650 mm. Al comparar este dato con las lluvias ocurridas en lapso en estudio (747.2 mm) se evidencia un notable incremento de las precipitaciones debido al ciclo húmedo que está transcurriendo.



Figura 55: Fotografía de la cascada capturada en el mes de Octubre 2015



Figura 56: Fotografía de la cascada capturada en el mes de Marzo 2016

IV. 3 Análisis comparativo del desplazamiento de la cascada en distintos años

A partir de las imágenes obtenidas del Google Earth de diferentes años se realizó un estudio de los corrimientos estimados que sufrió la cascada. Se seleccionaron imágenes cada dos años, todas en la misma escala. Con el objetivo de marcar sobre cada una de ellas la ubicación de la cascada, se tomó como criterio el punto medio de la misma, prolongando rectas a un eje horizontal, sobre el cual se referenciaron los desplazamientos relativos.

De esta manera se obtuvieron los siguientes desplazamientos aproximados:

Período [Años]	Desplazamiento Aprox. [m]
2006-2008	6
2008-2010	0
2010-2012	2
2012-2014	13
2014-2015	85

Tabla: Desplazamientos aproximados en diferentes períodos.



Al relacionar estos valores con las precipitaciones registradas en dichos períodos observamos que si bien en el período 2008-2010 se registró la menor cantidad de milímetros no se evidenció un desplazamiento visible gráficamente, entonces no se puede establecer una relación directa entre milímetros caídos y corrimientos.

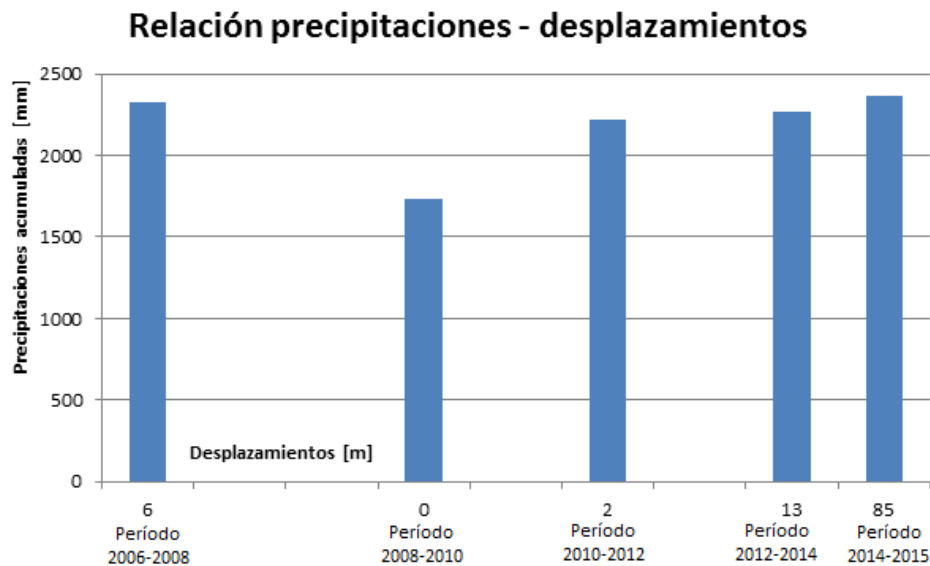


Figura 57: Gráfico de barras, relación precipitaciones – desplazamientos.

Consideramos que la relación entre los desmoronamientos que sufre la cascada está directamente relacionada con la intensidad de las lluvias, generando un aumento considerable del caudal del arroyo en poco tiempo, y la posición de los materiales de la Formación Saladillo.

IV. 4 Proyecto de estabilización de la cascada

En el año 1995 la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la Provincia de Santa Fe en conjunto con la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral asimilaron el riesgo del proceso erosivo retrogradante de la cascada y realizaron un estudio ambiental para otorgarle una solución: la canalización y obra de arte en la cuenca del Arroyo Saladillo.

Había dos alternativas planteadas, la primera era una rápida con estructura disipadora con régimen de superficie, y la segunda un vertedero con variantes para la estructura disipadora. Por razones de ventajas y desventajas, se decidió que la primera opción era la mejor. Esta alternativa consiste en una rápida de 70 metros de base de fondo, un canal de entrada de transición de 30 metros y una estructura disipadora de trampolín con remolino inferior.

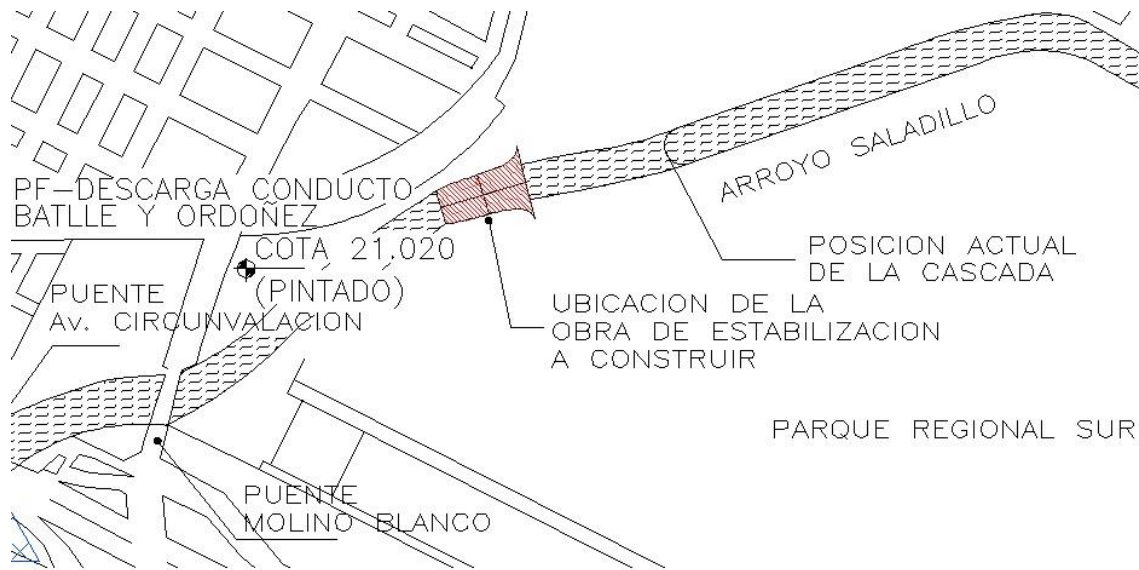


Figura 58: Ubicación de la obra de estabilización, plano confeccionado por la Provincia de Santa Fe

Sin embargo, por cuestiones políticas y económicas no se realizó la intervención. En el año 2005 tuvo lugar el “Estudio de actualización de la evaluación ambiental y económica del Proyecto de Estabilización de Cascada sobre el Arroyo Saladillo” por parte de la Provincia de Santa Fe y la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

El proyecto similar al del año 1995 pero con algunas modificaciones se trataba de una estructura disipadora del tipo de remolino de eje horizontal sumergido. Estaba constituido por una transición de entrada y canal de ingreso, una caída con perfil del tipo de un vertedero de altura 0, una platea horizontal donde se disipara la energía y una transición de salida con sus muros de ala, y la transición flexible entre la estructura de hormigón armado y el lecho del arroyo.

El conjunto incluía además una serie de elementos complementarios tales como un sistema de drenes, veredas, escaleras laterales y barandas que faciliten la presencia de observadores, la rectificación de la descarga existente del canal Batlle y Ordóñez y la provisión e instalación de un sistema de monitoreo hidráulico entre otros elementos

La ejecución de las obras requería de la conformación de un recinto seco, para lo cual se había proyectado un modo de desvío del curso para un caudal igual a 800 m³/s, correspondiente a una recurrencia de diez años. Ejecutada la obra principal, se removían todos los terraplenes y se rellenaba el canal auxiliar lográndose condiciones similares a las iniciales. Se ejecutarían en todo el perímetro de las obras veredas perimetrales, que posibiliten el acceso del público a la cascada. Las mismas, ubicadas en cota inferior a la del actual terreno natural en su casi totalidad, incluirían en su desarrollo transversal una pequeña canalización superficial que posibilite la captación de las aguas de lluvia que descarguen desde el parque. Estas pequeñas canalizaciones descargarían en las cámaras de captación de drenes a través de sumideros.



El desvío del arroyo, para realizar las tareas de construcción de la obra, sería el punto en el que se debería tener mayor cuidado, ya que requería la construcción de un canal paralelo al curso, inmediatamente aguas arriba, el que sería remediado luego de construida la obra sobre el cauce. Esta zona de margen no tiene asentamientos urbanos, por lo que se produciría un impacto negativo pero temporal en la imagen del lugar. Una consideración especial debería tener la instalación del obrador para evitar interceptar en gran medida las zonas de recreación habitualmente utilizadas por los vecinos. No se utilizarían otros recursos propios del área de influencia directa de obras.

Terminada la construcción de la obra, que tenía una duración estimada en 20 meses, no se estimaban cambios negativos y de gran magnitud en el paisaje. Por el contrario, y este es un objetivo de la obra, se realzaría el valor escénico recreativo del área, impidiendo el retrogrado del salto y la inestabilización y derrumbe de sus márgenes tal como ocurre actualmente. En este sentido, se destaca que las Obras no modificarían la posición ni el tamaño del salto de agua; por el contrario, la construcción acarrearía efectos positivos, ya que si se ejecutan tareas para minimizar la contaminación hídrica y terrestre reinante, se puede aumentar el potencial turístico y de recreación del área.

Si bien en el entorno de la obra no hay población asentada, las personas beneficiarias del proyecto serían las que habitan las localidades aledañas, ya que encontrar un salto de agua en una zona de llanura es un bien intangible de la región.

Este proyecto no fue aceptado por los vecinos de la zona argumentando que se perdería la esencia de la cascada y sosteniendo que se incumplía con la Ley Nº 10.000, por lo cual, mediante un amparo judicial se suspendió el inicio de la obra.

Ley de intereses difusos Nº 10.000: esta norma determina que procederá el recurso contencioso administrativo contra cualquier decisión, acto y omisión, que violando disposiciones vigentes lesionaren los intereses simples o difusos de los habitantes de la provincia de Santa Fe en tutela de la salud pública, en la conservación de la fauna, flora y del paisaje, en la protección del medio ambiente, en la preservación del patrimonio histórico, cultural y artístico, en la correcta comercialización de mercaderías a la población y en general, en la defensa de valores similares de la población

A fines del año 2010, la justicia rechazó el proceso judicial iniciado por los vecinos y autorizó a la provincia a continuar con la ejecución de dicha obra. Desde el Ministerio de Aguas, Servicio Públicos y Medio Ambiente de la provincia dieron a conocer que a razón de lo sucedido con los vecinos se perdió un crédito internacional provisto por el Banco Mundial que iba a financiar la obra.

En el mes de Agosto del año 2015, luego de la gran crecida y desmoronamiento de la cascada, el gobierno se encontraba realizando los estudios y trámites administrativos correspondientes para poder llevar adelante nuevamente la licitación pública de esta obra tan



importante para la ciudad de Rosario y Villa Gobernador Gálvez. En el mes de Octubre del mismo año se lanzó la licitación por parte de la provincia sin novedades a la actualidad.

Podemos concluir que los impactos positivos son de mayor orden de beneficios que los negativos, fundamentalmente mejorando el escurrimiento superficial del arroyo, disminución de posibles daños provocados por la erosión retrogradante de la cascada, y un monitoreo constante de la misma. A su vez en términos de mejora de la calidad de vida en los núcleos urbanos beneficiados, son ampliamente positivos. Por otra parte el componente recreativo del lugar se verá potenciado, debido a que la obra incluye pasarelas y otros accesorios que embellecen la zona y haciéndola más atractiva y limpia que la situación actual. Sin embargo nos parece oportuno un consenso entre el grupo vecinal y el gobierno para la realización de la misma, dialogando en los beneficios y desventajas del proyecto y discutiendo, por qué no, algunos cambios en la obra de arte.

IV. 5 Conclusiones Generales

Para abordar la problemática que nos motivó a realizar el presente trabajo, fue necesario realizar un estudio de la cuenca con la finalidad de comprender la dinámica de la misma, ya que la geoforma es consecuencia de un conjunto de variables y no puede ser estudiada aisladamente.

Debido a los movimientos tectónicos producidos desde tiempos geológicos las precipitaciones pueden encauzarse en un mismo curso, caso contrario estaríamos en presencia de simples cañadas. En cuanto a la estratigrafía, muy importante para comprender el proceso erosivo, se puede inferir que el material limoso presente es de baja plasticidad, lo que facilita los desprendimientos en la cascada.

Al encontrarse un salto de aproximadamente 10 metros en zona de llanura (que varía de cota 115 a 20 metros en 160 km) es natural y lógico el manifiesto del proceso de erosión retrogradante.

La vegetación natural fue alterada casi en su totalidad debido a la falta de aplicación de medidas mínimas de conservación del suelo, produciendo un perjudicial uso de la tierra, lo que impacta no solo en la fertilidad del mismo, sino también en el compartimiento de la cuenca en cuanto al movimiento de las masas de aguas que capta. Lo expuesto produce una disminución considerable de la capacidad de infiltración, conjuntamente con las intensas precipitaciones, la construcción indiscriminada de desagües rurales inciden en las actuales inundaciones.

Teniendo en cuenta que los parámetros hídricos constituyen la base de futuros proyectos del arroyo es necesario mantener en actividad las estaciones pluviométricas por parte de los organismos estatales y llevar un registro de los aspectos hidrológicos y meteorológicos. A su vez publicar periódicamente los datos estableciendo un intercambio fluido de la información entre los distintos entes interesados.



En cuanto a lo relacionado a la contaminación de las aguas, se puede decir que las fuentes contaminantes son de fácil localización, y en tanto se instrumenten políticas regionales la situación actual es reversible. Para la implementación de dichas líneas de acción debe tenerse en cuenta que el arroyo es un sistema dinámico que supera límites políticos, constituyendo un problema de índole ambiental con fuerte componente político social.

La degradación de los ecosistemas se relaciona en forma directa a la densidad de población que en ellos habita. Desde el punto de vista demográfico el tramo final del arroyo se ha transformado en una secuencia de asentamientos precarios, que vinculando el modo de vida de los habitantes se ha conformado un basural casi continuo.

Los trabajos ligados a rectificación y canalización realizados varias décadas atrás conjuntamente con la anulación del Brazo Norte, lejos de resolver el problema definitivamente, han agravado el proceso erosivo.

En lo referente a los objetivos centrales de desarrollar una propuesta metodológica para cuantificar en forma práctica la evolución de la geoforma producto del proceso erosivo podemos concluir que los desplazamientos ocurridos en los últimos años y las precipitaciones no se relacionan de manera lineal sino que en conjuntos de las diversas variables expuestas. Pudimos verificar que los desplazamientos no están íntegramente relacionados con los milímetros caídos sino con la intensidad de las precipitaciones.

Podemos decir que en los períodos de altas precipitaciones en los cuales no se ha desplazado la geoforma se estaba preparando el escenario para futuros desmoronamientos.

El proceso en estudio tiene como principales variables no modificables a las intensas y cíclicas precipitaciones y al material de baja cementación de la geoforma, otro factor que influye es el mal uso del suelo que puede ser cambiado pero requiere concientización de la sociedad y el transcurso de un largo período de tiempo, esto podría lograrse realizando programas de concientización a la sociedad haciendo hincapié en la construcción indiscriminada de canales clandestinos.

La solución inmediata para frenar dicha erosión que pone en peligro a la sociedad y al flujo cotidiano del transporte es la construcción de una obra estabilizadora de la cascada, sin embargo hace más de dos décadas que la obra no se ejecuta, en ese tiempo se podría haber tomado otras medidas alternativas.

En lo inherente a la construcción de la obra de arte consideramos imprescindible concretar una tarea futura integrada, en base a una permanente intercomunicación y colaboración entre los distintos especialistas y entes a cargo. Resulta a su vez determinante el lineamiento de políticas claras y efectivas de planificación urbana y desarrollo rural, que permitan a sus pobladores integrarse en un proyecto común para acceder a una comunidad organizada.



Es importante destacar, que la construcción de la obra no es una solución definitiva si no se planifica, monitorea y mantiene de manera periódica, debido a que el agua podría infiltrarse produciendo ruptura y colapso de la misma.

El tramo final del arroyo de ninguna manera debe ser un problema, sino que debería constituirse en una zona de uso común para la recreación. Consideramos que la estabilización de la cascada y la recategorización del Parque Regional Sur no alcanzarían para lograrlo, se necesitan políticas para determinar los distintos roles sociales. Las actividades individuales tienen como resultado la realidad de nuestro entorno, solo una visión integral puede abrirnos la puerta a soluciones concretas y efectivas.