

PARTE IV: DATOS DISPONIBLES Y ESTUDIOS BÁSICOS

IV.1 Cartografía, Fotos Aéreas e Imágenes de Satélite

IV.1.1 Cartografía

La Cuenca del Río Iruya esta comprendida entre los 22°20' y 23°05' de latitud sur y los 64°27' y 65°20' de longitud oeste.

Las cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM) que abarcan la zona es estudio son:

- Escala 1:500.000: La Quiaca N° 2366
- Escala 1:250.000: La Quiaca N° 2366-II; Lib. Gral San Martín N° 2366-IV; Tartagal N° 2363-I.
- Escala 1:100.000 (inéditas): Hojas N° 2366-11, 2366-17, 2366-18, 2366-23 y 2366-28.

La Dirección Nacional de Minería, departamento Topografía dispone de la Hoja 3d-Iruya de Salta (provisoria) escala 1:100.000 y la Hoja 2c de Salta y Jujuy escala 1:200.000 (edición 1957).

IV.1.2 Fotos aéreas

Se dispone de material fotográfico relevado por el IGM durante el año 1986. La escala aproximada es 1:80.000 y cubre toda la cuenca.

IV.1.3 Imágenes de satélite

Se trabaja en el proyecto con dos imágenes de satélite LANDSAT N° 231076. La primera, del 9 de Noviembre de 1986, pertenece a la Universidad Nacional de Salta (UNSa). La segunda, del 2 de Abril de 1997, adquirida en el marco del Programa Estratégico de Acción para la Cuenca del Río Bermejo (PEA). La segunda imagen está cubierta por nubes en un 40% de la cuenca (aproximadamente).

En el Anexo I, Figura N°2 se presenta la imagen de 1997, con una combinación de las bandas 5-4-2.

La primera imagen será utilizada por la UNSa para la elaboración de los mapas temáticos de vegetación, geología y geomorfología.

La segunda imagen ha sido utilizada en este estudio para la determinación de las unidades del paisaje.

IV.2 Hidrografía y Paisaje de la Zona de Estudio

El Río Iruya nace en las estribaciones del Cerro Morado y en su cabecera recibe el nombre de Colanzulí. Entre las nacientes y la localidad de Iruya recibe el aporte de las quebradas: Lacho Chico, Caranchi, Pie de Cuesta, Antigal, Toroyoc, Pamahuaico, Campo Redondo, Campo Corrales, Pueblo Nuevo, El Chorro y Milma Huasi. Aguas abajo del pueblo de Iruya recibe al Río San Isidro que es el afluente más importante del tramo. A partir de esa confluencia hasta la localidad de Higueras, recibe los afluentes Agua Blanca y San Juan, como los más significativos, y a los afluentes Chañar, Taco Pampa, Corpusito y Chaupi-Higuera como afluentes menores.

En el sector norte de la cuenca, los ríos más importantes son el Poscaya o Nazareno y el Viscarra o Bacoya. El Poscaya nace en el sector noroeste de la cuenca. El Viscarra es el principal afluente aguas abajo de la localidad de Nazareno. Entre la confluencia Viscarra-Nazareno y la localidad de Higueras, recibe a los afluentes San Pedro, Mesada Chica y Grande, Tacu-Pampa (o Vallecito), Estanque, Aguanita, Zapallar y Arpero. La localidad de Higueras esta ubicada en el volcán que produce el afluente Higueras; el mismo ingresa al Río Iruya (sobre margen izquierda) en la confluencia con el Nazareno.

Desde Higueras hacia el sur en la dirección del escurrimiento, el Iruya recibe a los afluentes Lopiara y Taracayoc. En San Antonio recibe al Campo Grande y Cueva del Toro. Aguas abajo ingresan los afluentes Panal, Cebilar, Zapallar, Sausalito, Astillerito, Monoyoc y Mulular.

En Puesto Rioja, el Iruya recibe al Río Astilleros (alimentado por los afluentes Vallecito y Agua Salada) y el Río Cañas que en este sector se convierten en sus dos principales afluentes.

Aguas abajo de Isla de Cañas, el Iruya recibe a los ríos Piedras y Negro, para luego desembocar en el río Pescado.

Es de destacar que las nacientes del río Iruya se encuentran aproximadamente a 5000 msnm y la confluencia con el Pescado a solo 450 msnm. Esto implica un desnivel de más de 4000 m en un recorrido aproximado de 125 km.

La superficie de la cuenca hasta Portillo (El Angosto) es de 3002 km² y el caudal medio anual en San José es de 25 m³/s con un máximo medio diario de 457 m³/s (EVARSA, 1994).

En el Anexo I, Figura N° 3 se presenta un mapa con la red hidrográfica, indicándose los nombres de los principales afluentes.

Relevamientos de campo

Durante los trabajos de campo realizados por COREBE en 1997¹, se recopiló información de base actualizada para la determinación de la producción/transporte de sedimentos en la cuenca. A continuación se describe el paisaje de los tramos de ríos relevados (Anexo I, Figura N° 6), haciendo referencia a las fotos del recorrido, las cuales se adjuntan en el Anexo II.

- Desde las Nacientes del Iruya hasta la Confluencia Iruya-Nazareno
Esta zona fue recorrida durante el primer trabajo de campo. En las Fotos 1 y 22 se puede apreciar el paisaje del área. La secuencia de presentación corresponde al

¹Del informe: Trabajo de Campo en el Río Iruya 1997. COREBE.

sentido del relevamiento topográfico realizado, desde la confluencia de los Ríos Iruya y Nazareno, hacia las nacientes del primero.

En este tramo se observan depósitos aterrazados que están asociados al cambio de base producidos por el movimiento ascendente que genera la actual situación de inestabilidad de la zona. Otro aspecto que resalta en la zona son los flujos densos que dan lugar a depósitos de conglomerados en forma de conos a la salida de las quebradas. La formación de estos depósitos origina modificaciones en la topografía del cauce donde se acumula el material, el cual será eliminado en forma gradual o total por el escurrimiento superficial.

La Foto 1 es una vista de los depósitos aterrazados que fueron transportados por los Ríos Iruya y Nazareno, donde se observa claramente el nivel original antes del movimiento ascendente. La Foto 2 muestra la diferencia de gasto sólido en suspensión de los Ríos Nazareno e Iruya (en julio, época de bajante).

Las Fotos 3 a 8 muestran la morfología del paisaje desde la confluencia Nazareno-Iruya a la confluencia San Isidro-Iruya. Este tramo del Iruya se caracteriza por una sucesión de angostos y planicies, con el evidente cambio de granulometría en el material de fondo que genera el cambio de morfología. Se destaca el Volcán Agua Blanca (Foto 6) como uno de los afluentes con mayor aportes de sedimento.

Las Fotos 9 y 10 corresponden al Río San Isidro que es, en este tramo, el afluente más importantes del Río Iruya. Las Fotos 11 y 12 muestran el pueblo de Iruya, emplazado claramente sobre el cono construido por el río Milma Huasi.

De la Fotos 13 a la 22 se puede apreciar claramente los distintos fenómenos de remoción en masa que se observan en la cuenca:

- cauce de río ocupado por depósitos de materiales transportados por flujos densos (Foto 13)
- vista de desplomes (Fotos 14 y 22)
- erosión por acción del escurrimiento concentrado (Foto 15)
- zona de carcavamiento (Foto 17)
- Nor-oeste de la Cuenca
Durante el primer trabajo de campo se recorrió la zona noroeste de la cuenca, llegando hasta la localidad de Nazareno.
Las Fotos 23 y 24 muestran la vista de localidad de Nazareno y las Fotos 25 a 28 el paisaje del Poscaya y del Putu Mayo (afluente del Viscarra).
- Río Nazareno desde Mesada hasta Higuera
En el segundo trabajo de campo se realizó el único relevamiento sobre el río Nazareno, desde Mesada hasta Higuera. Sobre la margen derecha se presentan deslizamientos en considerable magnitud (Fotos 29, 31 y 32). Los afluentes importantes en este tramo son el Vallecito o Tucu Pampa (Foto 30) e Higueras (Foto 33 y 34).
- Río Iruya desde Monoyoc hasta Isla de Cañas
El último tramo relevado se ubica en la parte baja de la cuenca donde se destaca una cobertura vegetal importante (Fotos 35 a 38). En esta zona, el paisaje es homogéneo, con llanuras aluviales muy extendidas (Foto 36). En este tramo se ubica la estación de aforos San José operada por EVARSA (Foto 37). Los afluentes importantes son los Ríos Astilleros y Cañas (Fotos 39 y 40). Frente a la localidad de Isla de Cañas se observan las barrancas que se generaron por la profundización del cauce debida a la captura del Río Iruya.

IV.3 Topografía, Red Hidrográfica, Subcuencas y Perfil Longitudinal

IV.3.1 Topografía digital

Del informe: Cartografía Digital de la Cuenca del Río Iruya hasta la Confluencia con el Río Pescado. Convenio COREBE-FICH - Abril 1998.

Se elaboró la cartografía digital georreferenciada de la Cuenca del Río Iruya hasta la confluencia con el Río Pescado.

La información de base fue la cartografía del Instituto Geográfico Militar, hojas 2366-11, 12, 17, 18, 23 y 24, información no publicada y adquirida en acetato con coordenadas Gauss Kruger.

A partir de esta información de base se procedió al armado del sector a estudiar, determinando los límites de la cuenca, definiendo el área de estudio y demarcando los puntos de control planimétrico necesarios para efectuar el ajuste geométrico del sector a digitalizar.

El análisis de la topografía característica de la región permitió la identificación de las curvas de nivel entre 500 y 5000 m con una equidistancia de 100m, graficadas en la cartografía 1:100.000.

Una vez compaginada esta información se efectuó la digitalización de esta cartografía básica de la cuenca del Río Iruya, en proyección Gauss Kruger, utilizando el software TOSCA, incorporando las curvas de nivel abiertas y cerradas con equidistancia de 100 m entre las mismas, otorgándole el número identificador a cada ente digitalizado de manera coincidente al valor de cota en metros de cada curva de nivel.

Se determinó el límite de la cuenca a través del análisis de las curvas de nivel y análisis de fotografías aéreas, el cual fue digitalizado, como así también el límite de la subcuenca del Río Iruya hasta la confluencia con el Río Nazareno.

La unidad de medida asignada para este trabajo está expresada en metros, considerando que la imagen de satélite disponible ha sido georreferenciada tomando también una unidad de medida, facilitando de esta manera la integración entre la información en formato vectorial y en formato raster.

En ambiente de diseño asistido por computadora (AutoCad) se efectuó la edición y corrección de los entes digitalizados. La información se agrupó en distintas capas o layer para facilitar la visualización y/o extracción de datos, asignando como nombre de cada layer el correspondiente al valor de cota referido al nivel medio del mar de cada una de las curvas de nivel existentes.

Se efectuó la edición de la información correspondiente a las curvas de nivel digitalizadas, límites de cuenca y subcuenca solicitados, a los efectos de integrar la información en forma correcta, ya que no fue posible digitalizar cada curva como un ente íntegro por su gran desarrollo espacial, debiendo unir los distintos sectores para integración de la información.

Se conformó un archivo de polígonos superpuestos desde el plano de comparación 435 metros constituyendo la cota más baja del sector, hasta el polígono cerrado constituido por el plano de comparación 5000 metros constituyendo la cota más alta del sector.

La totalidad de la información procesada fue clasificada en distintas capas o layers temáticas con los datos correspondientes a cada valor de altura del terreno por separados desde 435 a 5000, para facilitar el análisis y tratamiento de la misma.

Desde este archivo generado en AutoCad se efectuó la exportación a formato Dxf para facilitar el intercambio de este formato vectorial a raster.

Utilizando el software Idrisi®, se efectuó la importación del archivo en formato Dxf a formato Vec, para ser tratado directamente en Idrisi. La conversión vector-raster se realizó utilizando el módulo PolyRas de Idrisi una vez generada la imagen inicial en función de los límites de la imagen de satélite de la cuenca en estudio. El tamaño del pixel es de 30 metros y de 200 metros.

Los productos finales entregados son los archivos vectoriales y raster descriptos anteriormente.

En el Anexo I, Figura N°4 se presenta la topografía digital obtenida en esta etapa.

IV.3.2 Red hidrográfica y subcuencas

Tomando como base la topografía digital 1:100.000, se determinaron 11 subcuencas considerando los principales afluentes. Las mismas son detalladas en la Tabla IV.1 y presentadas en el Anexo I, Figura N°5.

Tabla IV.1: Subcuencas consideradas en el análisis

Nro Subc.	Nombre del principal río / afluente / tramo	Áreas Parciales (km ²)	Área Acumulada (km ²)
1	Viscarra	432	432
2	Poscaya- Nazareno hasta la confluencia con el Viscarra	266	699
3	Nazareno desde confluencia con Viscarra hasta confluencia con el Iruya	210	909
4	Iruya hasta confluencia con el Nazareno	350	1259
5	Iruya desde confluencia con el Nazareno hasta confluencia con el Volcan Higueras	216	1475
6	Volcan Higueras	378	1853
7	Iruya desde confluencia con el Volcan Higueras hasta confluencia con el Astillero	356	2208
8	Astillero	240	2449
9	Cañas	237	2685
10	Iruya desde confluencia con Cañas hasta el Pescado; incluye el Negro y excluye el Piedras	181	2866
11	Piedras	136	3002

IV.3.3 Pendiente del tramo principal

Durante el primer trabajo de campo en 1997 se relevaron 23 km. de perfil longitudinal del cauce principal del Iruya-Colanzulí, desde la confluencia Colanzulí-Grande hasta la confluencia Iruya-Nazareno. Además se relevaron 2.3 km. del cauce del Río San Isidro.

Los resultados obtenidos son representados en la Tabla IV.2.

Tabla IV.2: Perfil longitudinal desde las nacientes del Colanzuí hasta la confluencia Iruya-Nazareno

Progresiva [km]	Poblado - Afluentes	Cota [m]	Pendiente [%]
0.0	Conf. Grande-Colanzuí	3365	
0.6	Af. Lacho	3323	7.0
1.0	Af. Lacho Chico	3297	6.5
2.8		3162	7.5
4.1	Af. Pumahiaico	3062	7.7
6.4		2895	7.3
7.2	Af. Campo Corrales	2840	6.9
8.3		2754	7.8
9.1	Pueblo de IRUYA	2682	9.0
10.5	Des. Milmahuasi	2564	8.4
11.0	Af. San Isidro	2525	7.8
11.9		2459	7.3
15.0	Af. San Juan y Agua Blanca	2280	5.8
16.0		2211	6.9
18.0	Af. Corpusito	2104	5.4
18.5		2083	4.2
20.6	Af. Chauspi-Higuera	1985	4.7
23.0		1874	4.6
23.3	Conf. Nazareno-Iruya	1855	6.3

En la segunda campaña se relevaron 10 km. del Río Nazareno, desde Mesada hasta la confluencia con el Río Iruya y 16 km. del Río Iruya desde Monoyoc hasta la estación de aforo San José.

La ubicación de los tramos relevados durante los trabajos de campo se presentan en el Anexo I, Figura N°6.

Tabla IV.3: Perfil longitudinal desde la localidad de Nazareno hasta la confluencia de los Ríos Iruya-Pescado

Progresiva [km]	Poblado - Afluentes	Cota [m]	Pendiente [%]
0.0	Nazareno	2990	
4.8	Azul Cuesta	2720	5.6
4.9	Af. Azul Cuesta	2715	5.0
8.0	Af. Blanco	2585	4.2
9.2	Palca Molino	2500	7.1
9.9	Af. Viscarra	2460	5.7
14.7	Piyayoc	2279	3.8
14.8	Af. Piyayoc	2274	5.0
16.3	Af. San Pedro	2195	5.3
17.7		2130	4.6
19.1	Mesada	2069	4.4
21.5	Af. Aguanita	1993	3.2
23.9	Af. Zapallar	1929	2.7
24.9		1907	2.2
27.4	Higuera - Af. Iruya	1855	2.1
34.9	Tipayoc	1640	2.9
35.9	Af. Tarucayoc	1620	2.0
40.9	Cuesta del Chañar	1490	2.6
45.4	Af. Higuera	1350	3.1
45.9	San Antonio	1340	2.0
47.6	Af. Del Panal y Cebilar	1310	1.8
52.8	Matancilla	1200	2.1
53.3	Af. Zapallar 2	1190	2.0
56.0	Af. Astillerito	1120	2.6
62.2	Af. Monoyoc	1070	0.8
64.0	Af. Molular	1033	2.1
76.9	Est de Aforos - San José	858	1.4
81.7		730	2.7
82.9		710	1.7
86.0	Isla de Cañas	675	1.1
88.4	Af. Piedras	640	1.5
90.4	Af. Negro	610	1.5
105.6	Confluencia Pescado	435	1.2

Estos datos de campo fueron completados en gabinete con la topografía de base a escala 1:100.000. De este modo se reconstruyó el perfil longitudinal desde el Pueblo de Nazareno hasta la Confluencia Iruya-Pescado.

En la Tabla IV.3 se presentan los datos obtenidos, indicando la progresiva a partir del Pueblo de Nazareno, la cota referida al punto fijo del IGM en Iruya.

Es interesante destacar la diferencia de pendiente longitudinal en los distintos tramos analizados, que alcanza el 9% en la cuenca alta del Río Iruya (Colanzulí-San Isidro-Iruya), pasando al 1-2% en la zona de Isla de Cañas.

Esta información será utilizada para la implementación de los modelos hidrológicos e hidrosedimentológicos.

IV.4 Mosaico Digital Aerofotogramétrico

Trabajo realizado por el Sr. Antonio Gomez de la Empresa GEONOVA.

En base a las fotos aéreas del IGM (escala aproximada 1:80.000), se procedió al escaneo de las diapositivas, la conversión de negativo a positivo, georreferenciación con las coordenadas del IGM, procesamiento de contraste y amosaicado.

Se obtuvo el mosaico digital de aerofotografías para toda la cuenca del Río Iruya hasta la confluencia con el Río Pescado. El mismo esta disponible en el SIG-COREBE y será utilizado para la vista en tres dimensiones de zonas de interés.

En el Anexo I, Figura N°7 se presenta una de las corridas del vuelo (la N° 110) que abarca desde las nacientes del Río Iruya hasta la confluencia con el Río Pescado.

IV.5 Captura del Río Iruya

Del Informe: Estudios geomorfológicos tendientes a establecer la evolución histórica, el estado actual y tendencia futura de la captura del Río Iruya. Convenio UNSa-Corebe. 1997.

La captura del Iruya responde al tipo de erosión retrocedente, con dos características propias muy singulares:

- en la primera mitad del siglo pasado el Río Iruya había colmatado una amplia depresión, comprendida entre el Río Cañas, por el oeste, y las Lomas Coloradas, por el este. Al encontrarse con las lomadas e San Ignacio se desviaba hacia el sur, formando un codo pronunciado, para desaguar, a través de lo que hoy se conoce como Río de San Ignacio, al Río Blanco y finalmente aportar sus aguas al Bermejo. De tal manera que el típico codo de captura, característico de los procesos de captura fluvial generados por erosión retrocedente, se encuentra ausente en este caso. El Río Iruya ha sido enderezado por la captura.
- las capturas son procesos geológicos naturales, que eventualmente ocurren como consecuencia de la dinámica del ciclo fluvial; en el caso de las condiciones naturales estaban dadas para que la captura se produzca en algún momento del futuro, en este siglo o quizás en el próximo. Sin embargo el proceso fue acelerado por acción antrópica.

La imagen satelital TM del 9 de Nov. de 1986 retocada (en el Anexo I, Figura 8), pretende recrear la situación a mediados del siglo pasado. Para ello se ha tenido en cuenta tanto los aspectos geomorfológicos, tales como la ubicación de terrazas aluviales, cambios en la vegetación y relieve del terreno, obtenidos por fotointerpretación, como los datos y mediciones realizada durante las campañas al terreno. Al abandonar el cordón montañoso ubicado inmediatamente al oeste de la confluencia del Río Astillero, el Iruya se explayaba formando una amplia llanura de inundación, limitada lateralmente por barrancas de un par de metros de altura. Esto se debía a la escasa pendiente del terreno (0.58%), ya que el nivel local de base para este tramo de la cuenca estaba controlado por la cota del lecho de lo que actualmente es la naciente del Río San Ignacio. Al encontrarse con las Lomas de San Ignacio, el Río Iruya se deflectaba hacia el sur en la forma ya descripta.

El Río captor, en este caso un modesto arroyo tributario del Río Pescado, poseía una pendiente media de 5.6 % y el Pescado discurría a un nivel sensiblemente inferior al actual, no determinable sin la aplicación de métodos geofísicos, debido a la colmatación actual del cauce. Se ha estimado el espesor del relleno en 30m, sobre la base de la extrapolación lógica de las pendientes del valle en las proximidades de su desembocadura.

Antecedentes Históricos

Según cita Alicia E. Poderti (1994), una de las primeras poblaciones en la comarca fue la ciudad de Santiago de Guadalcazar. Fue fundada por el Teniente de Gobernador de Jujuy, Martín de Ledesma y Balderrama, alrededor de 1616, en un lugar muy cercano al que ocupa en la actualidad la ciudad de Orán. La ciudad fue acosada por el ataque de los indios hasta ser completamente destruida y abandonada en 1631.

En 1792 Pizarro, como encargado de la Intendencia de Salta y Tucumán, encaró una gira de inspección por las comarcas del Valle de Zenta, y tuvo la idea de fundar una ciudad en la región. El proyecto fue puesto a consideración de la Junta de Hacienda de

la Intendencia de Salta y luego el Virrey. Luego de la aprobación se publicó el bando “para que los individuos casados, ya sean Españoles, ya cholos, ya mestizos, ya mulatos y ya Zambaigos, que quisieran trasladarse al paraje de Zenta, y tener el honor, la satisfacción y el provecho de ser los primeros pobladores de la Nueva Orán (cuya denominación tendrá el Pueblo, Villa o Ciudad, que se estableciere) y comparezcan personalmente, o por medio de un memorial en este Gobierno e Intendencia a dar su nombre, el de su mujer e hijos con expresión de patria y condición, explicando el número de ganados, que hubiese y la clase de armas, que manejare para que, tomada la razón correspondiente, se le dé el necesario pasaporte...”

La ciudad quedó oficialmente establecida el 16 de julio de 1794. El 30 de agosto los pobladores reconocieron a San Ramón Nonato como patrono de la ciudad, por lo que fue rebautizada con el nombre de San Ramón de la Nueva Orán en el Valle de Zenta.

Bonarelli, Guido, 1914, menciona que el Río Zenta provocaba frecuentes inundaciones, durante la estación lluviosa, constituyendo un peligro para la ciudad de Orán, motivo por el cual se vio la necesidad de efectuar correcciones en el río. El trabajo fue ejecutado por cuenta de la municipalidad de Orán.

Actas del Consejo Municipal de Orán, en Bonarelli, Guido. 1914, con referencia a las tramitaciones motivadas por tal trabajo.

“En esta ciudad de Orán, a los veinte días del mes de Agosto de mil ochocientos sesenta y tres años, reunidos en número competente los Señores Municipales anotados al margen (Uriburu, Vico, Riera, Algañaraz, Morales, Blasco y Cuenca) bajo la presidencia del Señor Uriburu, se leyó, aprobó y firmó el acta de acuerdo anterior.

En virtud de que en sesión extraordinaria del diez y nueve del corriente, celebrada por invitación de S:S: el Teniente Gobernador, se trató la manera de evitar el peligro que amenaza el Río Zenta en sus crecientes hacia esta población, acordándose en ella se haga invitación por carteles a las personas que quieren tomar por empresa la obra de echar el Río Iruya, por el Portillo, al del Pescado, por haber visto como único remedio de impedir aquel mal, el de apocar el Río de Zenta desviando uno de sus afluentes como el de Iruya a la parte del Pescado; se presentó por Don Miguel Reyes una propuesta ofreciendo por ella: 1º botar el río de Iruya al del Pescado rompiendo la loma del Portillo; 2º formar en el actual cauce y trabajo necesarios para hacer variar el curso de éste hacia la quebrada que desemboca el Pescado; 3º y que por este trabajo se le indemnice con las entradas de la carnicería por un año, más doscientos pesos. Leída que fue la propuesta se mandó pasar a la Comisión de Acuerdos. Después de un cuarto intermedio la Comisión de acuerdos presentó el dictamen de que se admita la propuesta del Señor Reyes ofreciéndole en pago de la obra los derechos de la carnicería por un año y cien pesos.

Puesto en consideración el dictamen y con aceptación del proponente se acordó en los términos propuestos por la Comisión y en su consecuencia se formule la correspondiente escritura con las seguridades de Derecho, autorizando al efecto al Señor Presidente con lo que se dio por terminado el acuerdo”

(Fdo.) Uriburu
Luis Carrasco
Secretario

En la sesión del Consejo Municipal de Octubre 10 de 1863:

“Se dio parte de haber entrado a Secretaría una nota del seis del presente contratista de la obra del Portillo pidiendo se mande la Comisión que ha de recibir dicha obra; y otra nota de S.S. el Teniente Gobernador relativa al mismo objeto; se mandó nombrar la Comisión pedida, compuesta de cinco individuos; recayó la elección en los Señores D. Pedro Morales, D. Mariano Blasco, D.Fr.Ant. Villafañe, D. José Arze y D. Anastasio Perez”

En la Sesión siguiente, de Octubre de 1863:

“Se leyó el informe de la Comisión que se mandó para reconocer la obra del Portillo avisando que aún no estaban cumplidas por el contratista algunas condiciones a que estaba obligado, y puesto en consideración y sin oposición ninguna de acuerdo se le haga saber al empresario Don Miguel Reyes, que el Consejo no se daba por recibido de la obra y que por consiguiente pesaba sobre aquel señor el cargo de llenar la contrata en todas sus partes en el tiempo prefijado en ella”

En la sesión de Noviembre 2 de 1863 el Consejo tomó la deliberación siguiente:

“No siendo suficiente para ayudar al gasto de la obra del Portillo la subscripción levantada al principio de dicha obra; se acordó se amplíe aquella, nombrando en comisión, para la nueva subscripción, a los señores...”

Después de nuevas dificultades y formalidades de las que tuvo que ocuparse el Consejo en sus sesiones de Diciembre 14 de 1863, Enero 16 y Marzo 21 de 1854, Agosto 4 y 18 del mismo año, Septiembre 16 y 223 de 1865, en esta última sesión: “habiendo sido devuelta también la nota del empresario del Portillo, con el dictamen de la Comisión de acuerdos de que se le pague por haber cumplido con el contrato estipulado, según solicita, con el ramo de carnicería por el término de ocho meses, se acordó en los mismos términos expuestos por la Comisión.”

Según informaciones, el gasto total no pasó de 850 pesos.

Según Bonarelli, “después de dicha fecha el Consejo de Orán no tuvo más ocasión de ocuparse de la cosa, ni ha sido posible buscar de otro modo la fecha exacta del día en que empezó a funcionar el desvío. Sólo se sabe que durante las primeras lluvias del verano de 1865 a causa de una creciente muy caudalosa, una parte de las aguas del Río de Iruya consiguieron tomar el nuevo camino llevando consigo a dos peones que imprudentemente se habían entretenido en el cauce del nuevo canal.

Fue suficiente esta primera creciente para ensanchar y profundizar ese cauce hasta tal punto que desde entonces el nuevo curso del Río Iruya se hizo definitivo.

Entre el Portezuelo del Portillo y la laguna nueva del Pescado (en la confluencia actual de este último río con Iruya) existía un desnivel de cerca de sesenta metros. Ese desnivel ya no existe. Las fuerzas erosivas del río desarrollando su mayor actividad contra el fondo del cauce eliminó casi completamente ese desnivel; se puede calcular en 42.000.000 de metros cúbicos el material llevado por esas fuerzas erosivas, originándose así un cañadón de 60 metros de alto y más de 100 de ancho en que, al presente, desde la confluencia con el Río Piedras hasta su misma confluencia con el Pescado, el Río de Iruya queda canalizado definitivamente.

En las barracas de erosión que forman las paredes de tal cañadón se puede observar el más hermoso perfil del Terciario Subandino. Lo hemos llamado “Perfil de Portezuelo”.

Examinemos ahora los efectos inmediatos cuyo origen está ligado a la abertura del cañadón Portillo. Los aluviones gruesos que llenaban en parte el valle superior del Río Iruya, en su trecho entre Río Piedras y San Carlos, no fueron muy lejos del punto donde las aguas del río los habían arrastrado y se depositaron muy pronto, río abajo del antiguo desnivel, llenando completamente el cauce antiguo del Pescado y levantando de algunos metros el nivel de su fondo hasta tal punto que la laguna Nueva fue la natural consecuencia del fenómeno. Esta laguna se ha formado en la confluencia del Pescado Superior con el Río Iruya. Al presente entre los dos ríos el que lleva más agua y mayor cantidad de aluviones es el de Iruya, formando barra con estos materiales en la desembocadura del Pescado originando con esto dicha laguna.

Tenemos la impresión de que no sea completamente fortuita la coincidencia de los trabajos de Portezuelo con el cambio de cauce del Río Bermejo a la altura del Teuco”

Situación Actual

Una vez excavado el Portillo y establecida la conexión, el Iruya transfiere el total de su caudal al río captor. El importante aumento de la pendiente produce una aceleración de la corriente, un incremento de la capacidad de transporte y erosión y la consecuente profundización del lecho. Así comienza la excavación del imponente cañón que se observa actualmente en el área de la captura (Anexo I. Figura 9).

Se ha observado que está a punto de producirse una nueva captura por aplanamiento lateral en el tramo inferior del Río Iruya, aguas arriba de la confluencia con el Río Pescado. En este sitio, una barranca de unos tres metros de altura separa al Río Iruya de un valle vecino, cuyo lecho se encuentra a unos 25 m por debajo del primero. El material de la barranca es de areniscas rojizas de edad terciaria, medianamente compactas, contra la cual incide la corriente fluvial.

Perfil de Equilibrio

La captura produjo una ruptura importante en el relativo equilibrio del Río Iruya, consecuentemente comienza inmediatamente la acción erosiva y deposicional tendiente

a establecer un nuevo perfil adaptado a un nivel local de base situado a una cota más baja y lejana, que se puede fijar tentativamente en el Cordón de la Sierra Baja de Orán. Como resultado de esto se profundiza el cauce en la zona de captura donde alcanza un desnivel de 112m, referido a la cota del antiguo lecho pre captura (Perfiles en el Anexo I. Figura 9), y como es lógico, esta profundización del cauce troncal se traslada a sus tributarios, ramificándose la reactivación erosiva aguas arriba de la cuenca.

Por otro lado comienza a depositar sedimento sobre el tramo inferior del río captor. La colmatación produce la elevación de la desembocadura del Río Pescado, como ya lo había observado Bonarelli, de tal manera que este último también debe corregir su perfil de equilibrio, y, al contrario de lo que ocurre en el cañón del Iruya, pierde gradiente, disminuye la velocidad y rellena su lecho. De esta manera se puede observar que el Río Pescado construye una amplia planicie aluvial en su tramo final, sobre la que divaga en amplios meandros y forma la laguna de Pintascayo.

No es apropiado dividir los metros excavados por los años transcurridos para obtener la rata de erosión anual, con ánimo de extrapolar estos datos a futuro. En los primeros años la profundización debió ser muy rápida, pero en desaceleración progresiva. En la actualidad la casi totalidad del lecho está cubierta por bloques, grava y arena, con escasas “islas” de roca in situ, lo que conjuntamente con las pendientes observadas en el tramo: confluencia del Piedras-confluencia del Pescado, indican que la profundización actual es muy lenta.

El principio de perfil de equilibrio implica que cualquier cambio en el nivel de base de un río debe afectarlo en su conjunto, hasta restablecer un nuevo perfil en equilibrio, y una lectura ligera conduciría a la conclusión de que la enorme carga sólida del Iruya se debe a la reactivación erosiva aguas arriba de la captura, en tanto que el Pescado es mucho más limpio por la elevación del nivel local que representa su confluencia con el primero.

Esto es parcialmente cierto. Sin embargo los cambios producidos afectan solamente los tramos finales de las cuencas. Del análisis de las fotografías aéreas y de la medición de la altura de las terrazas se comprueba que la profundización del Iruya decrece rápidamente: 112m en el perfil 1 (punto de captura), 64 m en el perfil 2 (Isla de Cañas) distante 6,2 km. del anterior, 9 m en el perfil 4, distante 10,2 km. del anterior y 16.9 km. de la captura. Las barrancas se extinguen a la longitud del paraje Limoncitos, distante 22 km. de la captura.

Cálculo de Volúmen

En 1914 Bonarelli calculó que el volumen de material erosionado era de 42.000.000 m³. Más recientemente se encuentra otra referencia al volumen de material erosionado como consecuencia de la captura en el informe de Agua y Energía Eléctrica de 1983 “Estudio sedimentológico del sistema Iruya-Pescado”, donde se estima el mismo en 213 Hm³. En ambos casos no se explicita el método de cubicación.

Se describe a continuación el cálculo del volumen del material erosionado y del depositado aguas abajo como consecuencia de la reactivación erosiva causada por la captura, estimada por el presente grupo de trabajo.

Erosión:

Sobre la base de las mediciones de perfiles transversales al cauce, realizados en el terreno (Anexo I. Figura N°9), utilizando una estación total GTS-303, y

complementadas con determinaciones de alturas utilizando técnicas elementales de fotogrametría, basadas en estereoscopio de espejos y barra de paralaje, se confeccionó un mapa con curvas de igual profundidad de erosión (Anexo I. Figura N°10), conceptualmente similar a un mapa isópaco. La curva externa, A0, fue obtenida por fotointerpretación y representa el área máxima que está directamente influenciada por la reactivación erosiva. Se le asignó el valor 0. La curva A1 tiene una separación de -10 m, las curvas A2, A3, A4 y A5, representan espesores erosionados de -25, -50, -75 y -100 respectivamente. Por debajo de la curva A5 se encuentra el fondo en -112 m.

Se digitalizó la información y se calculó automáticamente el área encerrada por cada curva (AutoCad) y se aplicó la siguiente ecuación:

A0= 63.445.997,19 m ²	6.344,6	Ha	Nivel 0
A1= 13.498.807,84 m ²	1.349,9	Ha	Nivel -10
A2= 9.541.490,52 m ²	954,1	Ha	Nivel -25
A3= 5.226.085,00 m ²	552,6	Ha	Nivel -50
A4= 985.535,34 m ²	98,9	Ha	Nivel -75
A5= 125.719,83 m ²	12,6	Ha	Nivel -100

Fórmula aplicada para el cálculo del volumen erosionado por la captura:

$$\text{Volumen} = 10 (A0+A1)/2 + 25 [(A1/2)+A2+A3+A4+A5] + 12 (A5/2)$$

$$\text{Volumen erosionado} = 951.284.216 \text{ m}^3 = 951 \text{ Hm}^3$$

Deposición:

Para la zona de deposición se procedió en forma similar, con la diferencia que en este caso las curvas de espesor son inferidas, por cuanto no se cuenta con datos ciertos de espesores del relleno. En un caso se ha medido la diferencia de nivel entre el cauce colmatado y un cauce vecino y se ha asumido que originalmente ambos tenían el mismo nivel de lecho, en cuyo caso el espesor de sedimentos recientes es de 26 m. Se ha estimado en 30 m el espesor de material acumulado desde el inicio de la captura.

Debe tenerse en cuenta que el cálculo de volumen depositado es solamente estimativo

Superficie encerrada por cada curva del área de deposición:

A1'= 14.512.465,54 m ²	10451,2	Ha	Nivel 0
A2'= 3.830.310,13 m ²	383,0	Ha	Nivel -15
A3'= 716.010,77 m ²	71,6	Ha	Nivel -30

Fórmula aplicada para el cálculo del volumen depositado por la captura:

$$\text{Volumen} = 15 [(A1'/2)+A2'+A3']$$

$$\text{Volúmen depositado} = 177 \text{ Hm}^3$$

La cantidad de sedimento aportado por el Río Iruya al sistema del Bermejo, como consecuencia de la reactivación erosiva causada por la captura y sin considerar la actividad erosiva “normal” del primero, es de **774 Hm³**.

Tendencia Futura

La reactivación erosiva se encuentra en sus comienzos, los 132 años de historia de la captura es un tiempo corto en términos geomorfológicos y el proceso recién ha involucrado 63,4 km², que representan tan solo un 2,11% del área total de la cuenca.

La erosión retrocedente, originada en la captura del Río Iruya, ha tenido al presente una pequeña influencia en el volumen global de sedimentos aportados al Bermejo, la espectacularidad del cañón labrado en las rocas terciarias impresiona fuertemente al observador y estimula una apreciación exagerada de su impacto. Sin embargo tampoco debe subestimarse este proceso por cuanto continuará evolucionando. Si se considera que en 132 años la erosión retrocedente progresó 22 km, desde El Portillo hasta Limoncito, involucrando una superficie de unos 63 km², es de esperar que en el futuro se acelere progresivamente el aporte de sedimentos, no tanto por la profundización del cañón, que disminuye, sino porque aumentará rápidamente el área de la cuenca involucrada en el proceso.

Como se explicó en párrafos precedentes, está a punto de producirse una nueva captura del Iruya, en tal caso es de esperar que se produzca también una nueva reactivación erosiva, de intensidad moderada, que profundizará algunos metros más el cañón del Iruya, y simultáneamente producirá una mayor descarga de sedimentos sobre la desembocadura del Río Pescado.

Bibliografía

- Agua y Energía Eléctrica. 1983. Estudio sedimentológico del sistema Iruya-Pescado. Gerencia de Estudios y Proyectos. Estudios Básicos – Recursos Hídricos. Sedimentología Fluvial. Informe inédito.
- Bonarelli, Guido. 1914. *La estructura Geológica y los yacimientos petrolíferos del distrito minero de Orán, Provincia de Salta*. Bol. N° 9 serie B. Ministerio de Agricultura, Dir. Gral. de Minas, Geolog. e Hidrología., 1 – 44. Bs.As.
- Poderti, Alicia E. 1994. *San Ramón de la Nueva Orán: una ciudad, muchas historias*. Fundación del Banco Noroeste. Vol. 13. Salta.
- Konzewitsch, Nicolás. 1958. *Cantos rodados y material en suspensión de los ríos Bermejo, Pescado e Iruya, Provincia de Salta*. Informe de Agua y Energía Eléctrica. Bs.As.
- Reboratti, Carlos. 1996. *Sociedad, ambiente y desarrollo regional en la Alta Cuenca del Río Bermejo*. Instit. de Geog.Fac. de Filosofía y Letras. UBA. Bs.As.

IV.6 Cartas Temáticas de Vegetación y Uso del Suelo, Geología y Geomorfología.

Se dispone de cartografía temática de vegetación, geomorfología y geología de la cuenca alta del Iruya, abarcando un 60% de la cuenca del Río Iruya. Los datos interpretados y comprobados en el terreno fueron transferidos de las fotos aéreas a láminas colocadas sobre el master de satélite mediante instrumentos de transferencia y corrección, generando mapas a escala 1:50.000 (Viera y Menendez,1980).

Esta información de base fue digitalizada en COREBE e ingresada en primera instancia al Sistema de Información Geográfica “Genamap” donde se le incorporaron los atributos de cada unidad, trabajando en modo vectorial. Posteriormente se exportó esta información al SIG Idrisi® que opera en modo raster.

Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo I, Figura N°11.

Estas cartas temáticas han sido utilizadas como base para la determinación de unidades de paisaje, estimación de erosión superficial y definición de parámetros del modelo hidrológico.

Bibliografía

Viera y Menedez Consultores (1980). *Estudio Geológico - Geomorfológico y de Vegetación de los Ríos Nazareno, Iruya e Izcuya en la Provincia de Salta.*

IV.7 Estudio Climatológico del Régimen de Precipitaciones

Del informe: Estudio de la precipitación en el Río Iruya. Informe Final. Dr. Daniel Barrera. Convenio COREBE-Universidad de Buenos Aires (1999).

IV.7.1 Objetivos del estudio

Los objetivos del estudio fueron los de estimar , a partir de información de una red pluviométrica poco densa y de distribución muy irregular, lo siguiente:

- los campos climatológicos de precipitación acumulada anual y estival en la cuenca del Río Iruya y
- las láminas medias de precipitación acumulada anual y estival en las diferentes subcuencas, con función de los valores registrados en estaciones pluviométricas cercanas.

IV.7.2 Datos disponibles

Se contó con series de precipitación acumulada diaria en las doce estaciones pertenecientes o cercanas a la cuenca del Río Iruya, cubriendo períodos variables para cada estación, entre 1982 y 1996. Esta información fue provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

El listado de las estaciones, con su ubicación y su cota altimétrica se presentan en la Tabla IV.4 . La ubicación de dichas estaciones se presentan en el Anexo I, Figura N°12.

Tabla IV.4: Listado de estaciones de medición de la precipitación

Nro Estac.	Nombre	Latitud (coor geográf.)	Longitud (coor geográf.)	Coor. Gaus-Kruger Este-Oeste	Coor. Gaus-Kruger Sur-Norte	Altura (m)
1	SAN JOSÉ	22 51 50	64 35 00	3633.17	7472.19	858
2	IRUYA	22 47 33	65 12 56	3580.55	7480.46	2730
3	HIGUERA	22 45 02	65 06 05	3592.30	7485.04	1950
4	SAN ANTONIO	22 50 00	64 56 00	3609.50	7475.75	1400
5	SAN ISIDRO	22 45 28	65 14 26	3578.00	7484.32	3000
6	NAZARENO	22 30 34	65 06 05	3592.46	7511.74	3050
7	PALTORCO	22 24 00	65 05 00	3594.40	7523.85	3800
8	TUC TUCA	22 24 56	65 15 27	3576.45	7522.22	3950
9	POSCAYA	22 27 18	65 04 47	3594.73	7517.76	3210
10	EL MOLINO	22 36 00	65 09 01	3587.38	7501.74	2600
11	PABELLÓN	22 33 00	65 17 00	3573.72	7507.35	3000
12	COLANZULÍ	22 53 19	65 13 24	3579.30	7471.80	3500

IV.7.3 Campos de precipitación acumulada anual y estival

Consistencia y depuración de datos pluviométricos diarios

La primera etapa consistió en un análisis de consistencia y depuración de los datos diarios disponibles. Se seleccionó el período enero 1983- febrero 1996 como Período de Análisis (quince años) ya que en el mismo la mayoría de las series tiene información simultánea, lo cual es condición necesaria en los estudios posteriores. La estación N°12 (Colanzulí) no se utilizó, ya que presenta registros de observaciones a partir de enero de 1994, siendo insuficiente para el análisis el período común con las restantes estaciones.

Se realizó un análisis de consistencia mediante el desarrollo de algoritmos de cálculo y sus respectivos programas en lenguaje Fortran, comparando los datos con límites mínimos y máximos asignados. Se concluyó que los registros recibidos aparentemente han sido depurados y consistidos, ya que no contienen caracteres extraños ni valores fuera de los rangos esperados.

Generación y relleno de series de precipitación acumulada mensual

A continuación se generaron series de precipitación acumulada mensual. Mediante una inspección visual de los totales mensuales, se concluyó que los datos pluviométricos contenidos en los registros no poseen inconsistencias físicas detectables mediante el examen de los mismos.

Se encaró entonces el problema del relleno de información faltante en series de precipitación acumulada mensual, sobre un período común de al menos 10 años.

Se tomaron como aptas para ser rellenadas aquéllas series mensuales que presentaban no más del 10% de datos faltantes en el período seleccionado. Con este criterio se determinó el período octubre/1984 - febrero/1996 (12 años y 13 veranos) denominado Período con Información Suficiente, como aquél válido para realizar análisis posteriores con las series rellenadas, y en el cual se estimaron los valores mensuales faltantes. En dicho período, 4 de las 11 estaciones seleccionadas resultaron estar completas; las 7 restantes debieron ser rellenadas (en proporciones menores al 10% en cada caso).

A fin de estimar los valores mensuales faltantes se realizaron análisis estadísticos. Las regresiones lineales múltiples tuvieron mejor ajuste que las no lineales. Se tomaron, por lo tanto, como ecuaciones predictoras las regresiones lineales múltiples, excepto en los casos de las estaciones San Antonio y Nazareno. Se utilizaron para estas dos estaciones las tres regresiones univariadas de mejor ajuste (lineales o cuadráticas) como ecuaciones predictoras y el valor de relleno del dato faltante para un mes en particular se calculó obteniendo las 3 estimaciones respectivas, y luego efectuando un promedio de éstas pesado con la varianza explicada por cada regresión.

Se procedió al relleno de las series de precipitación mensual mediante el desarrollo y aplicación de un programa computacional.

Las ecuaciones predictoras en cada caso, y dos listados de totales mensuales (en décimas de mm.) cubriendo las once estaciones estudiadas, uno con las series mensuales incompletas y otro con las series rellenadas o completas, se presentan en Barrera (1999).

Zonificación de la cuenca por regímenes de precipitación

A fin de realizar el estudio del régimen de precipitación en la cuenca del Río Iruya, y su posible zonificación, se analizaron, por un lado, el grado de asociación de las estaciones pluviométricas según los valores de sus series mensuales, y por el otro, las características topográficas de la cuenca y la ubicación de las estaciones.

Se obtuvo la matriz de correlaciones entre pares de estaciones, para la precipitación acumulada mensual. Del análisis de correlaciones, de la ubicación de las estaciones y los cordones montañosos interiores a la cuenca, surgen, en un estudio preliminar, tres regiones con regímenes distintos de precipitación debido a la diferente disponibilidad de humedad atmosférica:

- La región comprendida entre el cierre de la cuenca y el cordón que, partiendo del cerro Vizcacha, se dirige hacia el norte, separando las cuencas de los Ríos Astillero

e Iscalla. Por el norte, este límite se completa con la Sierra El Astillero. Esta es la región que está abierta a la entrada de aire húmedo desde las planicies del este, y por lo tanto la de mayores lluvias. Dentro de esta región está la estación 1 (San José).

- La región central comprendida entre el límite oeste de la región este, y el cordón montañoso que parte del cerro Fraile hacia el norte, pasando por los cerros Morado y Pelado. Dentro de esta región está ubicada la estación 4 (San Antonio). La disponibilidad de humedad es menor y, por lo tanto, decrece la precipitación con respecto a la primera región.
- La región al oeste de la región central, en donde están ubicadas las estaciones 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11. Los datos de la estación 6 (Nazareno) son, aparentemente, de menor calidad dada sus bajas correlaciones con las otras estaciones. En menor medida, la estación 9 (Poscaya) presenta un problema similar. Esta región es la más seca. El aire húmedo sólo puede entrar desde el sur, principalmente por el valle del Río Iruya en la zona cercana a la estación 3 (Higuera), y en menor medida sobrepasando el cordón montañoso que une los cerros Fraile, Morado y Pelado, separando esta región de la central. Esto es así porque el límite de cuenca presenta elevaciones muy importantes, y el aire, al ascender por encima de 4.000 metros, pierde casi toda su humedad debido a la condensación durante el ascenso.

Estimación de los campos climáticos de precipitación anual y estival

Las tres zonas identificadas en el punto anterior, responden a un único patrón anual de lluvias, con una estación húmeda de octubre a abril, y una estación seca el resto del año. Esto responde al régimen monzónico prevaleciente en la región, que provee advección de aire húmedo y potencialmente inestable desde el norte en los meses estivales. Por lo tanto, La precipitación se debe fundamentalmente a procesos convectivos, y los campos climáticos de precipitación anual y estival son muy similares. En este estudio se ha considerado el período estival de octubre a abril.

No fue posible construir diagramas de dispersión de precipitación versus altura de la estación para cada una de las 3 regiones, ya que en dos de ellas sólo se disponía de una estación. En consecuencia, se buscó una relación empírica que se ajustara con los valores anuales medios de precipitación en las 11 estaciones, en función de: a) La altura del terreno; y b) La distancia recorrida por las parcelas de aire desde el límite este de la cuenca hasta el punto analizado.

Tabla IV.5: Precipitación anual y estival observadas

Nro Estación	Nombre	Altura (m)	Distancia (km.)	PAO (mm)	PEO (mm)
1	SAN JOSÉ	858	26.9	1981.2	1814.7
2	IRUYA	2730	78.6	309.2	303.9
3	HIGUERA	1950	71.1	328.2	326.2
4	SAN ANTONIO	1400	50.5	590.3	564.5
5	SAN ISIDRO	3000	82.8	626	611.8
6	NAZARENO	3050	98.1	784.4	771.8
7	PALTORCO	3800	110.3	556.1	546.9
8	TUC TUCA	3950	118.3	478.7	475.9
9	POSCAYA	3210	104.2	537.9	537.5
10	EL MOLINO	2600	88.2	414	406.5
11	PABELLÓN	3000	106.1	486.3	468.7

Los valores de precipitación anual observada (P.A.O.) y estival observada (P.E.O), ambos en mm, se muestran en la Tabla IV.5. Se consignan asimismo los datos de ubicación en km., distancia recorrida en km., y altura de las estaciones en m, a fin de hacer notar la fuerte dependencia de la precipitación con los parámetros mencionados.

Para la determinación de la precipitación anual estimada (P.A.E.) a partir de la información de las 11 estaciones, se ajustaron varias expresiones matemáticas, siguiendo el criterio de selección de minimizar el error cuadrático medio de las estimaciones con respecto a las observaciones. La función empírica de mejor ajuste hallada fue el siguiente polinomio de grado 3.

$$P.A.E. = -1.29653E-7 X^3 + 0.001141 X^2 - 3.07027 X + 2923.803$$

La variable independiente X es a su vez una función de la altura del terreno (Z) y de la fracción porcentual de camino recorrido (F):

$$X = Z [1 - \exp(-0.04425406 F)]$$

El porcentaje de varianza explicado por dicho polinomio es de 98.3%.

Para la precipitación estival media (P.E.E.), se halló una relación que la explica en función de la precipitación anual media y la fracción porcentual de camino recorrido, siendo ésta cero en el límite este de la cuenca, y cien en la parte más lejana.

$$P.E.E. = P.A.E. * [(F + 0.5)/(F + 1.25)]^2$$

Los valores de precipitación anual y estival media estimados se muestran en la Tabla IV.6.

Tabla IV.6: Precipitación anual y estival estimadas

Nro Estación	Nombre	Altura (m)	Distancia (km.)	PAE (mm)	PAE (mm)
1	SAN JOSÉ	858	26.9	1991	1852
2	IRUYA	2730	78.6	415	404
3	HIGUERA	1950	71.1	347	337
4	SAN ANTONIO	1400	50.5	652	626
5	SAN ISIDRO	3000	82.8	537	524
6	NAZARENO	3050	98.1	565	553
7	PALTORCO	3800	110.3	580	569
8	TUC TUCA	3950	118.3	472	464
9	POSCAYA	3210	104.2	557	546
10	EL MOLINO	2600	88.2	452	441
11	PABELLÓN	3000	106.1	477	468

Se aplicaron luego estas expresiones a todos los puntos de la cuenca, en discretización de 30m x 30m, a fin de obtener los campos de precipitación anual y estival.

Para los puntos de la cuenca con fracciones de camino recorrido fuera del rango dado por las 11 estaciones, se hicieron ligeras correcciones a los valores dados por las funciones. El algoritmo de cálculo se programó en lenguaje Fortran.

El mapa con los campos de precipitación anual se presenta en el Anexo I, Figura N°13.

IV.7.4 Lámina Media de Precipitación por Subcuenca

Metodología

Para realizar el cálculo de la precipitación media sobre las subcuencas se consideran los coeficientes de peso de cada una de las estaciones y los factores de corrección por

orografía aplicados a los valores pluviométricos observados.

De este modo, la lámina media de precipitación acumulada sobre una subcuenca en particular S_i , es calculada en función de los puestos pluviométricos interiores o cercanos a la misma, según:

$$S_i = \sum_{j=1,n} CP_{i,j} * CR_{i,j} * PP_j$$

donde:

- S_i : precipitación en la subcuenca i
- $CP_{i,j}$: coeficiente de peso para el pluviómetro j en la subcuenca i
- $CR_{i,j}$: coeficiente de reducción del pluviómetro j en la subcuenca i
- PP_j : precipitación en la estación j
- i : subcuenca
- j : estación
- n : número total de estaciones en la subcuenca j .

El coeficiente de ponderación CP_{ij} , se calcula como

$$CP_{ij} = d_{ij}^{-1} / \sum_{k=1,n} d_{ik}^{-1}$$

donde

- n : cantidad de puntos de influencia
- j : índice del punto de influencia analizado
- i : índice de la subcuenca analizada
- k : índice de los puntos de influencia considerados
- d_{ij} : distancia entre el punto pto. de influencia j y el centro de masa de la subcuenca i

El coeficiente de reducción CR_{ij} permite estimar el valor que se habría observado en un puesto pluviométrico dado, si éste estuviera a la altura media de la subcuenca considerada. Este coeficiente se calcula según:

$$CR_{ij} = PA_j(z_i) / PA_j(z_j)$$

donde:

- $PA_j(z_i)$: Precipitación ajustada en la localidad j , para una altura igual a z_i
- $PA_j(z_j)$: Precipitación ajustada en la localidad j , para una altura igual a z_j
- z_i : Altura media de la subcuenca i
- z_j : Altura del terreno en el punto de influencia o puesto pluviométrico j

Los valores PA fueron extraídos de una curva empírica de ajuste, obtenida a partir de los valores observados de precipitación media estival en los 12 puestos pluviométricos con datos disponibles. A fin de obtener dicho ajuste, se tuvo en cuenta que la precipitación en la cuenca del Río Iruya es principalmente función de la altura del terreno y de la cercanía de la localidad considerada a la fuente de humedad, que en este caso es el borde este de la cuenca.

Expresiones matemáticas de estimación para cada subcuenca

Las subcuencas del Río Iruya consideradas en este estudio son las definidas en la Tabla IV.1 y las estaciones pluviométricas son las presentadas en la Tabla IV.4 (ubicación en el Anexo I, Figura N° 12).

Las áreas parciales de las fajas de altitud para cada subcuenca se detallan en la Tabla IV.7. En base a esta información se calcularon las alturas medias de cada subcuenca, mediante promedios de alturas parciales, pesados con las áreas parciales respectivas.

Tabla IV.7: Áreas parciales (en km²) para fajas de altitud, para cada subcuenca

Sub-Cuenca	< 500m	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-2500	2500-3000	3000-3500	3500-4000	4000-4500	4500-5000	>5000m
1	0	0	0	0	0	15	43	85	175	113	0.31
2	0	0	0	0	0	13	55	90	82	27	0.00
3	0	0	0	1	23	54	65	40	22	4	0.00
4	0	0	0	0	11	40	87	98	79	34	0.05
5	0	0	2	27	49	61	46	21	10	0	0.00
6	0	0	1	14	35	58	82	88	79	20	0.00
7	0	25	87	96	74	39	14	1	0	0	0.00
8	0	29	59	53	41	34	17	7	1	0	0.00
9	0	25	57	46	36	32	17	13	11	0	0.00
10	4	95	32	4	0	0	0	0	0	0	0.00
11	3	110	66	11	2	0	0	0	0	0	0.00

Los coeficientes de peso CP y los coeficientes de reducción CR son definidos en las Tablas IV.8a y IV.8b respectivamente.

Tabla IV.8a: Coeficiente de Peso CP

Subcuenca <i>i</i>	Pluviómetro <i>j</i>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1								0.30			0.70	
2						0.45	0.15		0.25	0.15		
3			0.50							0.50		
4		0.60			0.40							
5		0.25	0.50	0.25								
6		0.20		0.30								0.40
7	0.30			0.70								
8	0.40			0.60								
9	0.50			0.50								
10	1.00											
11	1.00											

Tabla IV.8b: Coeficiente de Reducción CR

Subcuenca <i>i</i>	Pluviómetro <i>j</i>											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1								0.961			1.318	
2						1.336	1.004		1.212	1.780		
3			1.320							1.440		
4		1.614			1.370							
5		1.025	1.021	0.436								
6		1.465		0.580								0.967
7	0.470			0.629								
8	0.445			0.589								
9	0.391			0.518								
10	0.976											
11	0.911											

Las ecuaciones para cada una de las subcuencas son entonces:

Subcuenca 1: $S_1: 0.30 * 0.961 * PP_8 + 0.70 * 1.318 * PP_{11}$

Subcuenca 2: $S_2: 0.45 * 1.336 * PP_6 + 0.15 * 1.004 * PP_7 + 0.25 * 1.212 * PP_9 + 0.15 * 1.780 * PP_{10}$

Subcuenca 3: $S_3: 0.50 * 1.320 * PP_3 + 0.50 * 1.440 * PP_{10}$

Subcuenca 4: $S_4: 0.60 * 1.614 * PP_2 + 0.40 * 1.370 * PP_5$

Subcuenca 5: $S_5: 0.25 * 1.025 * PP_2 + 0.50 * 1.021 * PP_3 + 0.25 * 0.436 * PP_4$

Subcuenca 6: $S_6: 0.20 * 1.465 * PP_2 + 0.30 * 0.580 * PP_4 + 0.40 * 0.967 * PP_{12}$

Subcuenca 7: $S_7: 0.30 * 0.470 * PP_1 + 0.70 * 0.629 * PP_4$

Subcuenca 8: $S_8: 0.40 * 0.445 * PP_1 + 0.60 * 0.589 * PP_4$

Subcuenca 9: $S_9: 0.50 * 0.391 * PP_1 + 0.50 * 0.518 * PP_4$

Subcuenca 10: $S_{10}: 1.00 * 0.976 * PP_1$

Subcuenca 11: $S_{11}: 1.00 * 0.911 * PP_1$

IV.8 Datos Hidrológicos

IV.8.1 Caudales líquidos

En el cauce principal del Río Iruya actualmente existe una única estación con mediciones de caudales (líquidos y sólidos). Es la Estación San José, que encierra una cuenca de 2208 km². Se ubica aguas arriba de la confluencia del Río Iruya con el Río Cañas y el Río Astillero.

Antiguamente se midió caudales en la estación Anta Muerta, que está ubicada a la salida de la cuenca. Las mediciones se realizaron entre el período 1955-56/1959-60 y el 1971-72/1979-80 y presentan datos faltantes por lo que no se tienen valores medios. El caudal máximo medio diario registrado en Anta Muerta es de 948 m³/s.

Se disponen de registros históricos en los afluentes Astillero y Cañas.

La información provista por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, disponible en COREBE se presentan en la Tabla IV.9. La ubicación de las estaciones fluviométricas se presenta en el Anexo I, Figura N°14.

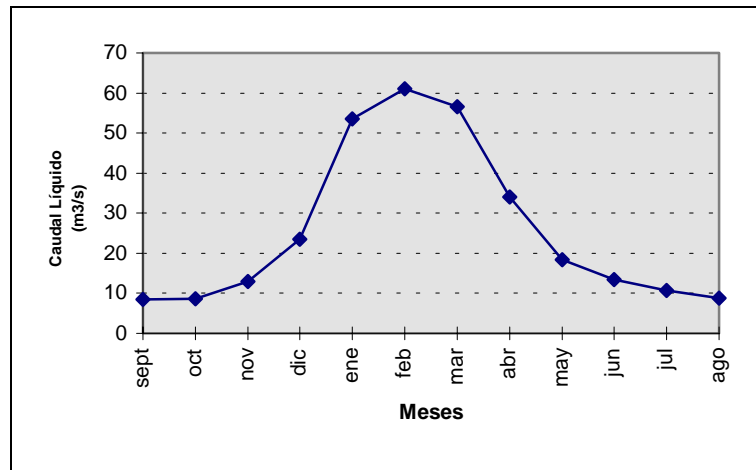
Tabla IV.9: Datos de aforos y caudales

Estacion	Variable medida	Frec.	Fecha inicial	Fecha Final
San José	Aforos	diaria	sep 85	abr 98
Anta Muerta-El Ang	Caudal	diaria	set 71	dic 79
San José	Caudal	diaria	ene 80	abr 98
Anta Muerta-El Ang	Caudal	mensual	55-56	79-80
San José	Caudal	mensual	79-80	sep 96
El Angosto en Río Astillero	Caudal	mensual	ene 83	dic 87
San Antonio en Río Piedras	Caudal	mensual	ene 83	dic 91

De los anuarios hidrológicos de 1990 y 1995 de la Secretaría de Energía - EVARSA se recopilaron los valores medios mensuales que se presentan en la Tabla IV.10.

Tabla IV.10: Datos de caudales líquidos

		San José en Iruya período 79-90 a 93-94			Anta Muerta en Iruya período 55-56 a 59-60 71-72 a 79-80			El Angosto en Astillero período 83-84 y 85-86 a 89-90			San Antonio en Piedras período 83-84 y 85-86 a 89-91		
		prom	max.	min	prom	max.	min.	prom	max.	min.	prom	max.	min.
Caudal	sep	8.40	10.50	5.80	12.7	19.0	6.0	2.01	2.86	1.57	0.29	0.44	0.21
Medio	oct	8.60	12.30	5.00	17.0	45.0	11.0	2.36	3.30	1.53	0.54	0.89	0.21
Mensual	nov	13.00	35.10	7.00	24.5	41.0	11.0	7.30	12.21	2.61	2.99	7.77	0.13
m ³ /s	dic	23.50	47.80	12.20	63.3	211.0	18.0	11.48	15.40	4.07	5.35	14.03	0.53
	ene	53.60	114.00	27.20	135.0	474.0	35.0	22.55	32.90	13.16	12.51	26.69	1.89
	feb	61.00	133.00	33.30	181.0	345.0	62.0	22.78	28.84	15.40	11.32	26.13	5.34
	mar	56.60	102.00	21.20	151.0	294.0	63.0	24.67	54.75	7.46	12.10	34.27	1.97
	abr	34.00	60.70	13.50	67.2	88.0	35.0	14.33	17.40	11.20	7.56	13.39	3.57
	may	18.3	28.80	9.76	36.5	51.0	24.0	6.56	7.68	5.52	2.06	2.84	1.14
	jun	13.40	16.80	7.46	22.0	33.0	15.0	3.70	4.16	3.28	0.81	1.04	0.54
	jul	10.70	13.60	6.15	16.8	24.0	12.0	2.71	3.09	2.25	0.50	0.67	0.36
	ago	8.82	11.50	4.82	14.5	21.0	9.0	2.33	2.86	1.91	0.37	0.69	0.28
Derrame Anual	Hm ³	809	1128	485	1809	2843	1150						
Caudal Max. Med. Diario	m ³ /s	213	457	102				87.07	148.80	59.80	94.36	154.30	68.94
Caudal Mín. Med. Diario	m ³ /s	6.04	8.18	3.97				1.51	1.87	1.17	0.18	0.26	0.08
Caudal Medio Anual	m ³ /s	25.60	35.80	15.40	57.3	90.1	36.4	10.23			4.70		

Gráfico IV.1: Caudales medios mensuales en San José

IV.8.2 Análisis de frecuencia de crecientes en Estación San José

Del informe: Análisis de frecuencia de crecientes en la Cuenca de Río Iruya. Estación San José. Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (1999).

El objetivo de este trabajo fue obtener la relación caudal-período de retorno en la sección de aforos de la cuenca del río Iruya, a fin de seleccionar las crecidas a simular en función de su probabilidad de ocurrencia.

Se contó con la serie de caudales medios diarios en la estación San José, con datos correspondientes a los años hidrológicos 80-81 al 97-98.

A pesar de que los registros finalizan el 30 de abril de 1998, el año hidrológico 97-98 fue considerado como completo, a los fines de este estudio, debido a que el período de producción de máximos estaba incluido en la información suministrada.

Los datos utilizados para el análisis se presentan en la Tabla N° IV.11.

Tabla IV.11: Datos de caudales líquidos

año hidrológico	caudal máximo anual
80-81	327.38
81-82	210.64
82-83	129.41
83-84	198.68
84-85	260.28
85-86	194.48
86-87	236.68
87-88	183.83
88-89	171.09
89-90	157.28
90-91	456.57
91-92	196.65
92-93	102.32
93-94	193.12
94-95	173.38
95-96	169.94
96-97	146.27
97-98	74.20

El método del Water Resources Council (Chow, et. al, 1994) fue utilizado para detectar la presencia de valores atípicos. Básicamente, determina el valor umbral, en unidades logarítmicas, a partir del cual los valores se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. Este valor de $y_N = y_m + K_N s_y$, donde y_m es la media de la serie

de los logaritmos, s_y es el desvío y K_N es un coeficiente en función del tamaño de la muestra. La aplicación dio como resultado que el valor umbral es 468.33 m³/s, en consecuencia no se identificaron datos atípicos en la serie.

Modelo de frecuencia de crecientes

El modelo estadístico utilizado para estimar la relación caudal-período de retorno (Q-T) en la sección, considerando independencia y distribución idéntica de los picos de crecida, fue el de máximos anuales.

Se ajustaron dos funciones de distribución de probabilidades, la de Valor Extremo Tipo 1 (EV1-Gumbel) y la General de Valores Extremos (GVE). En ambos casos los parámetros fueron estimados por el método de los momentos de probabilidad ponderada, que para muestras de corta y mediana longitud proporciona estimaciones mas confiables.

Las formas inversas de las distribuciones son:

$$\begin{aligned}
 Q_T &= \mu + \alpha (- \ln (- \ln F)) && \text{EV1} \\
 Q_T &= \mu + \alpha/k (1 - (- \ln F)^k) && \text{GVE} \\
 \text{siendo } F &= P(Q < Q_T) = 1 - 1/T
 \end{aligned}$$

Los parámetros estimados fueron:

$$\begin{aligned}
 \text{EV1: } & \mu = 159.9 \text{ y } \alpha = 64.86 \\
 \text{GEV: } & \mu = 155.79, \alpha = 55.15 \text{ y } k = -0.153
 \end{aligned}$$

Se aplicó el test de Hosking et al. (WMO, 1989.) con hipótesis nula H_0 : la distribución es EV1 y con hipótesis alternativa H_1 : es GVE.

Este test asume que el valor de k estimado por momentos de probabilidad ponderada, se distribuye según una normal con media 0 y varianza 0.5635/N, siendo N la longitud de la serie. De esta forma se compara el valor del estadístico $Z = k (n/0.5635)^{1/2}$ con los valores críticos de la variable estandarizada normal.

Esta comparación dio como resultado que se acepta la hipótesis nula, con un nivel del 5%, es decir k no es significativamente distinto de cero.

Resultados obtenidos

En el Gráfico IV.2 se presentan los datos y la función de distribución EV1, utilizando su variable reducida, $Y_T = - \ln (- \ln F)$, a los efectos de mostrar mejor el ajuste.

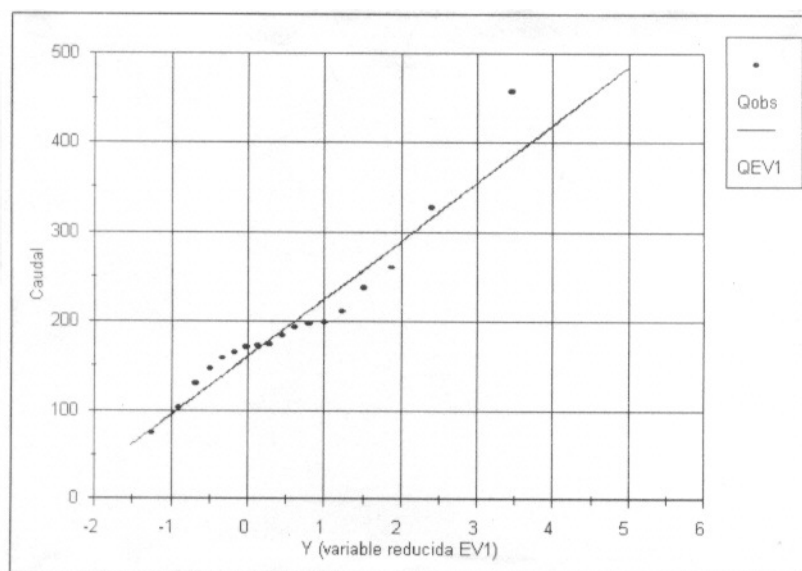
En la Tabla IV.12 se presentan los valores de la variable reducida Y_T y los caudales en función del período de retorno T, calculados como $Q_T = 159.91 + 64.86 \{- \ln [- \ln(1-1/T)]\}$.

Tabla IV.12: Relación caudal-período de retorno

T(años)	2	5	10	25	30	50	100	150
Y_T	0.367	1.5	2.25	3.199	3.384	3.902	4.6	5.007
$Q(m^3/s)$	183.67	257.19	305.86	367.36	379.40	412.98	458.26	484.67

Del análisis de estos resultados se decidió utilizar para la simulación hidrológica de crecientes, los caudales máximos del año hidrológico 90-91 de $456.57 \text{ m}^3/\text{s}$ con recurrencia de 100 años y del 94-95 de $173.38 \text{ m}^3/\text{s}$ con 2 años de recurrencia.

Gráfico IV.2: Ajuste de la distribución EV1



Bibliografía

Chow, V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill Interamericana S. A.

WMO (1989) *Operational Hydrology* Report No. 33.

IV.9 Datos hidro-sedimentológicos

IV.9.1 Caudales sólidos

Trabajo realizado con el asesoramiento de los ingenieros Máximo Peviani y Daniel Brea

Información de Base

El Anuario de Sedimentología 1994 de la Secretaría de Energía - EVARSA contiene datos mensuales de caudal sólido en suspensión, en las siguientes estaciones:

- Río Iruya en San José
- Río Iruya en El Angosto/Portillo
- Río Astillero en El Angosto
- Río Cañas en Las Bateas
- Río Piedras en San Antonio

También se dispone de datos de la Estación Cuatro Cedros en el Río Pescado.

Los datos disponibles se resumen en la Tabla IV.13 y la ubicación de las estaciones se presenta en el Anexo I, Figura N° 14. Es importante destacar la variación de la longitud de los registros en el momento de comparar los valores medios, ya que los períodos de medición difieren significativamente.

Tabla IV.13: Datos de caudales sólidos

Río	IRUYA	ASTILLERO	CAÑAS	PIEDRAS	IRUYA	PESCADO
Estación	San José	El Angosto	Las Bateas	San Antonio	El Antosto-El Portillo	Puesto Romero
Q sólido MEDIO (miles de toneladas)	13127.3	888.6	775.2	81.9	35341.2	5312.5
Año	Q sólido (miles de toneladas)					
67						3134
68						898
69						345
70						5657
71						3990
72					33953	5697
73						
74						7656
75						11240
76						
77						7221
78					36728	3581
79						
80	12674					
81	15359					
82	3962	162				2033
83	17182	2032	2368	170		
84	15273	413	542	120		13452
85	19518	945	532	44		6030
86	14363		664	106		5145
87			467	27		
88	6685		75	22		3602

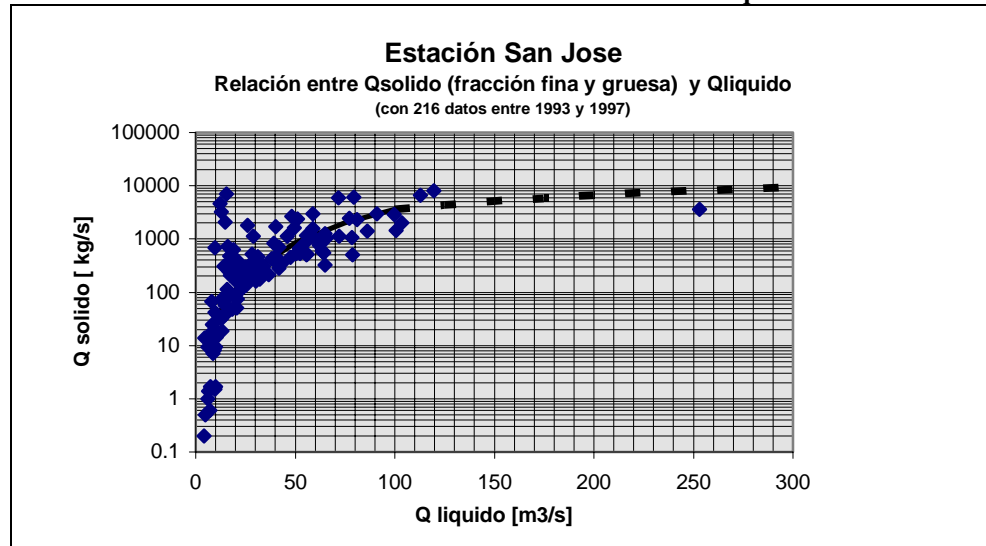
file: eva90.xls

Estación San José:

Se disponen de 215 datos de aforos líquidos y aforos de sólidos en suspensión en la Estación San José, durante el período 1993-1997 (Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable).

La relación entre los datos de caudal sólido en suspensión y el caudal líquido es representada en el Gráfico IV.3.

Gráfico IV.3: Relación caudal sólido - caudal líquido



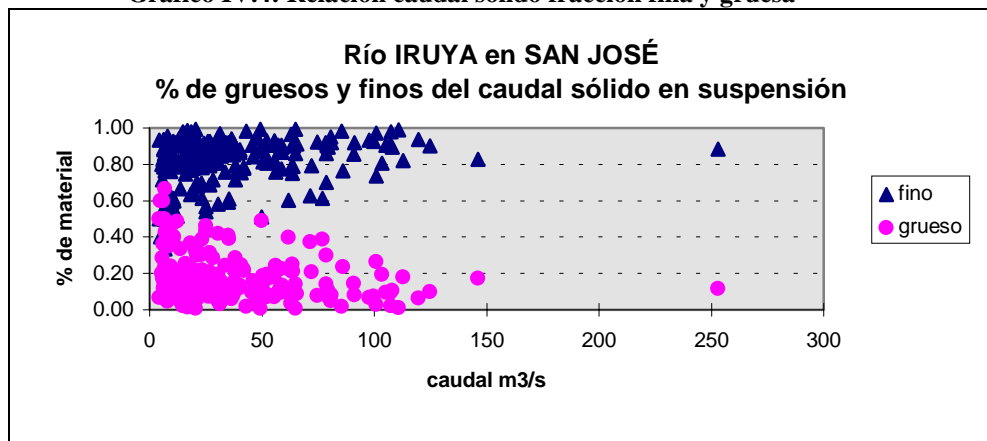
El mejor ajuste para la relación entre el caudal sólido (fracción fina y gruesa) y caudal líquido es:

$$\begin{aligned}
 & Q_{liq} < 100 \text{ m}^3/\text{s}: & Q_{sol} [\text{kg/s}] &= 0.2767 Q_{liq}^{2.0569} \\
 & > 100 \text{ m}^3/\text{s}: & Q_{sol} [\text{kg/s}] &= 30 Q_{liq} + 600
 \end{aligned}$$

donde: Q_{liq} es el caudal líquido en m^3/s y Q_{sol} es el caudal sólido en kg/s .

Los aforos de sólidos en suspensión son presentados en porcentaje de material grueso (diámetro mayores de 0.0313 mm - tamiz N° 400) y fino (diámetro menores a 0.0313 mm), y se representan en función del caudal líquido en el Gráfico IV.4.

Gráfico IV.4: Relación caudal sólido fracción fina y gruesa



Se puede observar claramente que aproximadamente el 80% del total de material en suspensión corresponde a la fracción fina, evidenciándose esta relación para caudales líquidos mayores de 100 m³/s.

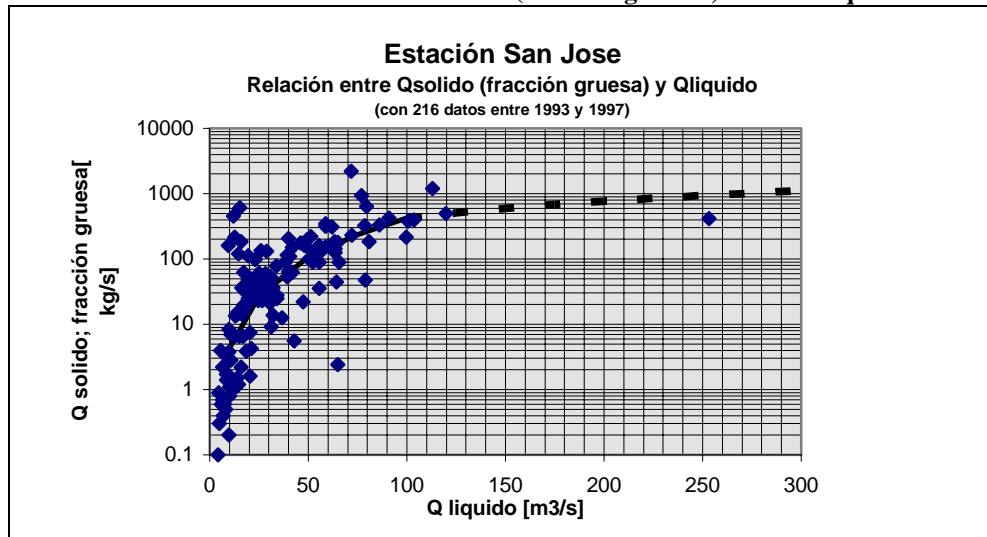
El estudio de transporte de sedimentos deberá entonces tener en cuenta estas características especiales de la composición granulométrica, analizando metodológicamente la fracción gruesa separada de la fina.

Análisis de la fracción gruesa (material retenido en el tamiz N° 400, compuesto básicamente de arenas y limos):

Se realizó una nueva estimación de la relación entre caudal líquido y caudal sólido en suspensión, considerando ahora solamente la fracción gruesa. Esto se debe a que las fórmulas de transporte a utilizar en el presente estudio consideran solamente la fracción gruesa del material en suspensión.

De este modo, se realiza una segunda estimación de caudal sólido en suspensión (fracción gruesa) en función del caudal líquido. Los resultados se presentan en el Gráfico IV.5.

Gráfico IV.5: Relación caudal sólido (fracción gruesa) - caudal líquido



El mejor ajuste para esta nueva relación es el siguiente:

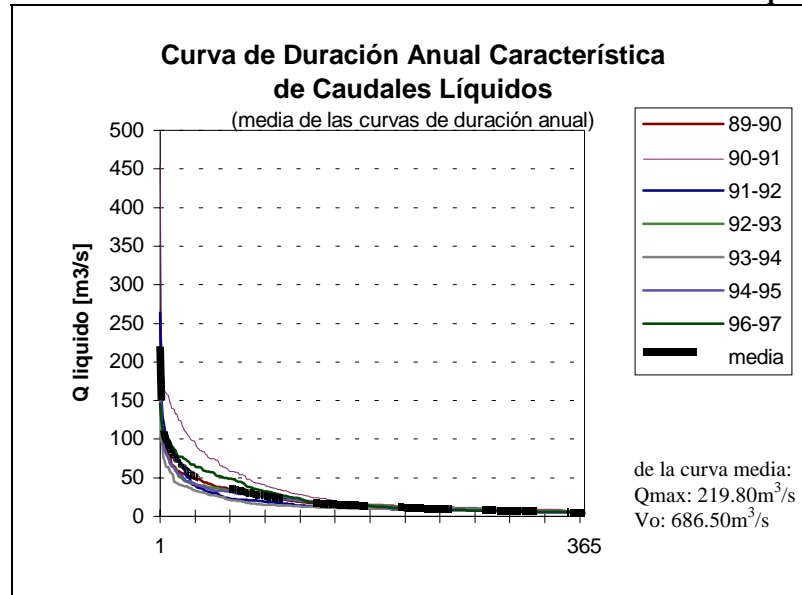
$$\begin{aligned} Q_{liq} < 100 \text{ m}^3/\text{s}: & \quad Q_{sol} \text{ [kg/s]} = 0.0457 Q_{liq}^{1.9822} \\ > 100 \text{ m}^3/\text{s}: & \quad Q_{sol} \text{ [kg/s]} = 3.5 Q_{liq} + 70 \end{aligned}$$

donde: Q_{liq} es el caudal líquido en m³/s y Q_{sol} es el caudal sólido (fracción gruesa) en kg/s.

Curvas de duración característica:

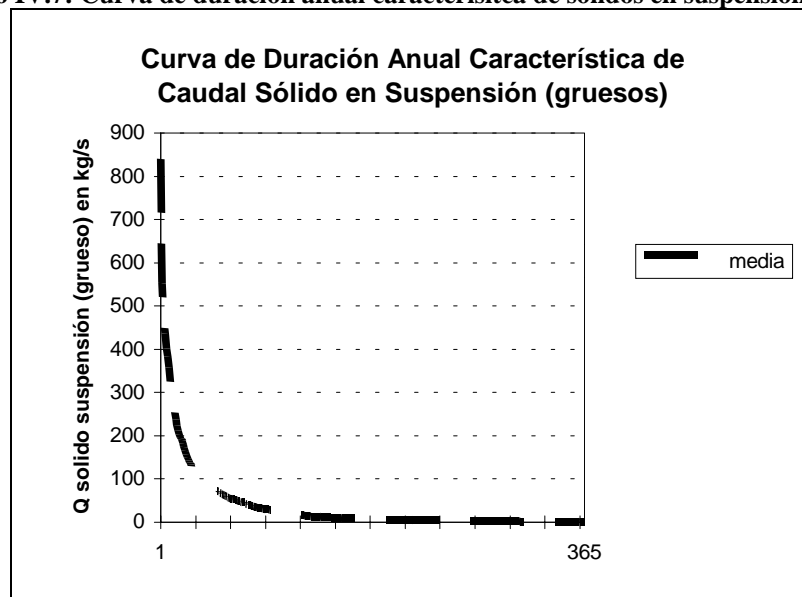
Considerando los 7 años de caudales líquidos diarios (completos), se calculó para cada año la curva de duración y la media de las mismas. Esta última se denomina curva de duración anual característica de caudales líquidos y se presenta en el Gráfico IV.6.

Gráfico IV.6: Curva de duración anual característica de caudal líquidos



Utilizando esta curva de duración anual característica de caudales líquidos y la relación de caudal sólido (grueso) en suspensión con caudales líquidos, se determina la curva de duración característica de transporte sólido en suspensión característica, que se presenta en el Gráfico IIV.7.

Gráfico IV.7: Curva de duración anual caracterísitca de sólidos en suspensión (gruesos)



Ajuste de los coeficientes de las formulas de transporte:

Tomando como base la curva de duración anual característica de caudal sólido en suspensión (gruesos) y tratando de reproducir los valores máximos y el volumen anual de aporte, se ajustaron los parámetros de las fórmulas de transporte de Di Silvio(1989) y Van Rijn (1984).

La características de la sección transversal en San José fueron estimadas de acuerdo al relevamiento de campo. Se consideró una pendiente longitudinal de 0.014. La

granulometría del fondo adoptada corresponde a la muestra G26 relevada en el trabajo de campo (ver Anexo III).

Los parámetros resultantes del ajuste son los siguientes:

Di Silvio: m (exponente del caudal líquido) = 1.8
 n (exponente de la pendiente del fondo) = 2.1
 p (exponente del ancho del cauce) = 0.8
 q (exponente del diámetro) = 1.2
 α (coeficiente de ajuste) = 0.09
 s (coeficiente de acorazamiento - hiding factor) = 0.4

Van Rijn: α_{fb} (coeficiente de transporte de fondo) = 0.005
 α_{fs} (coeficiente de transporte en suspensión) = 0.7
 s (coeficiente de acorazamiento - hiding factor) = 0.4

Los resultados obtenidos del ajuste se presentan en la Tabla IV.14.

Tabla IV.14: Ajuste de caudales (fracción gruesa)

Curva días	Duración Anual Qliq (m ³ /s)	Característica Qsol (kg/s)	Van Rijn			Di Silvio
			Qsol (total) (kg/s)	Qsol (fondo) (kg/s)	Qsol (suspensión) (kg/s)	Qsol (total) total
1	219.00	839	891	51	840	769
5	104.00	436	375	20	356	306
10	85.00	312	296	15	281	238
15	72.00	223	244	12	231	194
20	65.00	180	216	11	205	171
25	58.00	142	187	9	177	148
30	53.00	120	170	8	161	132
45	43.00	80	132	6	126	102
60	36.00	56	107	5	102	82
90	27.00	31	77	4	74	57
120	20.00	16	54	2	52	40
240	10.00	4	24	1	23	17
365	0.00	0				

Los parámetros ajustados en esta etapa corresponden a las fórmulas serán utilizadas en el modelo hidrosedimentológico donde se analiza la dinámica fluviomorfológica. Se desea remarcar nuevamente que este ajuste tiene en cuenta la fracción gruesa de los sedimentos en suspensión.

Análisis de la fracción fina del material en suspensión (material que pasa el tamiz N° 400, compuesto basicamente de limos y arcillas):

Gran parte de estos sólidos no sedimentan en la cuenca del Río Iruya, dada las características hidráulico-morfológicas de la misma. Estos sedimentos encuentran condiciones para su deposición en las zonas de desborde del río en el tramo inferior de Río Bermejo, en el delta del Río Paraná y en el estuario del Río de la Plata.

En estas condiciones, la cuenca del Río Iruya se presenta como exportadora de este tipo de material y su estudio deberá ser realizado, en principio, en el ámbito del estudio de sedimentos de la Cuenca Baja del Río Bermejo.

IV.9.2 Granulometría

Granulometría del material del lecho

Del informe: Granulometría del material de fondo del Río Iruya. Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.

Durante los trabajos de campo se realizaron muestreos en 26 puntos para determinar la composición granulométrica del material del lecho del cauce principal y de algunos volcanes importantes. La ubicación de dichos puntos se presentan en la Tabla IV.15.

Tabla IV.15: Puntos de muestreo de granulometrías

Tramo Colanzulí - Confluencia Iruya y Nazareno			
Progresiva [km]	Poblado - Afluentes	Cota [m]	Ubicación granulometrías
0.0	Conf. Grande-Colanzuli	3365	
0.6	Af. Lacho	3323	G20
1.0	Af. Lacho Chico	3297	
2.8		3162	G19
4.1	Af. Pumahiaico	3062	G17-G18
6.4		2895	G16
7.2	Af. Campo Corrales	2840	G14-G15
8.3		2754	G13
9.1	Pueblo de IRUYA	2682	G11-G12
10.5	Des. Milmahuasi	2564	G10
11.0	Af. San Isidro	2525	G9
11.9		2459	G8
15.0	Af. San Juan y Agua Blanca	2280	G6-G7
16.0		2211	G5
18.0	Af. Corpusito	2104	G5
18.5		2083	G3
20.6	Af. Chauspi-Higuera	1985	G2
23.0		1874	G1
23.3	Conf. Nazareno-Iruya	1855	
Tramo Localidad de Nazareno - Confluencia Iruya y Pescado			
Progresiva [km]	Poblado - Afluentes	Cota [m]	Ubicación granulometrías
0.0	Nazareno	2990	
17.7		2130	G21
19.1	Mesada	2069	G22
23.9	Af. Zapallar	1929	G23
24.9		1907	G24
62.2	Af. Monoyoc	1070	G25
76.9	Est de Aforos	858	G26
81.7		730	G27
82.9		710	G28
86.0	Isla de Cañas	675	G29
105.6	Confluencia Pescado	435	

Para la determinación de la curva granulométrica en los cauces principales, se relevaron muestras de materiales gruesos (diámetro mayores de 16 mm) y de materiales finos (diámetro menores a 16 mm). En el caso de los volcanes más importantes, se relevó la muestra de material fino con una foto general del perfil vertical de la colada.

Durante el primer trabajo de campo, se realizó el recuento de clastos in-situ y la toma de fotos referenciadas para el análisis de los materiales gruesos. En el caso de los materiales finos, se recogió la muestra de sedimento.

En las Fotos 42 y 43 del Anexo II se muestra el equipo utilizado para la toma de las fotos referenciadas y un ejemplo del resultado obtenido.

Las medición de los clastos se realizó en la UNSa (a cargo del Lic. Felipe Rivelli). El análisis de las muestras fue efectuado por el grupo de trabajo del Dr. Spalletti en el Centro de Investigaciones Geológicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Las técnicas utilizadas para la determinación de la curva granulométrica fueron las siguientes:

- Técnica A: Recuento de clastos en muestras de campo (material grueso).
A partir de la información textural obtenida en campaña que consistió en la medición de los ejes A, B y C de los clastos, se procedió a la determinación de la frecuencia ponderada (en peso) de cada fracción granulométrica y la acumulativa.
- Técnica B: Recuento de clastos según fotografía obtenida en el campo (material grueso).
Esta técnica se basa en el escaneo de las fotos y la medición del eje intermedio de cada individuo para luego determinar la frecuencia ponderada de cada fracción granulométrica y la acumulativa.
- Técnica C1: Análisis granulométrico de los materiales menores de 16mm y 0.062mm.
Análisis mecánico utilizando la técnica de tamizado.
- Técnica C2: Análisis granulométrico de los materiales menores a 0.062mm.
Análisis de la suspensión mediante sedígrafo para la obtención de la curva granulométrica.

En las Tablas N°1 y N°2 del Anexo III, se presenta el listado de las muestras relevadas con el detalle del tipo de información recopilada y el listado de los resultados obtenidos de la primera y segunda campaña respectivamente.

En las Tablas N°3 a N°5 del Anexo III, se presentan los resultados obtenidos de laboratorios.

En las muestras de fondo se tiene, por un lado el recuento de los materiales gruesos (con diámetro mayor a 16 mm) y por el otro el análisis de los materiales finos (diámetros menores a 16 mm). Sin embargo, no se dispone de la proporción exacta de gruesos y finos que componen la muestra.

Con el objeto de generar la información necesaria para el modelo hidro-sedimentológico, se estimó para cada muestra la proporción de finos y gruesos, observando las fotos disponibles. Teniendo en cuenta esta nueva información, se generaron las curvas granulométricas de cada sitio, las cuales se presentan en los Gráficos N°1 a N°28 del Anexo III.

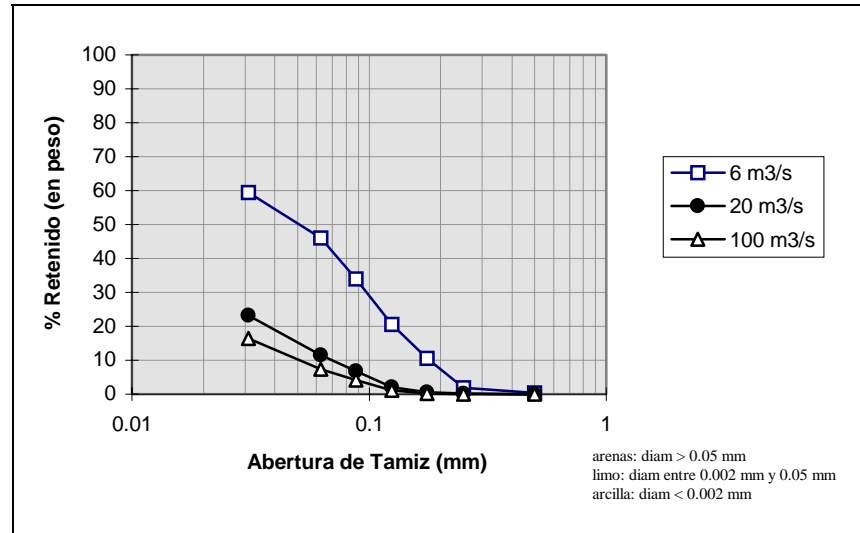
Se debe destacar que esta previsto realizar nuevas tomas de muestras para ajustar la metodología a una determinación más precisa de estos porcentajes de cada fracción, para lo cual se debe relevar in situ la medición de peso de cada fracción granulométrica.

Granulometría del sedimento en suspensión

EVARSA ha determinado la curva granulométrica para los sedimentos en suspensión, para caudales de 6, 20 y 100 m³/s. Las mismas se presentan en las Tablas N° 6 y N°7 del Anexo III.

La representación de la muestra integrada de sedimentos en suspensión se presenta en el Gráfico IV.8. Se puede observar claramente que para mayores caudales se registra un notable aumento de los sedimentos finos en suspensión (diámetros menores de 0.03 mm).

Gráfico IV.8: Curva granulométrica de sedimento en suspensión



IV.9.3 Bibliografía

- Di Silvio G. and M. Peviani (1989). *Modelling short. and long.term evolution of mountain rivers: an application to the torrent Mallero (Italy)*. International Workshop on Fluvial Hydraulics of Mountain Regions. Italy.
- Van Rijn L (1984). *Sediment Transport Part I. Bed Load Transport*. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 110.
- Van Rijn L (1984). *Sediment Transport Part II. Suspended Load Transport*. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 110.

IV.10 Descripción de los Principales Procesos de Producción de Sedimentos

Del informe: Primer Informe de Avance del Estudio Geológico-Geomorfológico en la Cuenca del Río Iruya. Convenio COREBE-UNSa. 1998.

IV.10.1 Introducción

El relieve en la Cuenca el Río Iruya se caracteriza por presentar dos zonas distintas en cuanto a las condiciones climáticas y como consecuencia presenta diferencias en la vegetación y en los procesos morfoclimáticos responsables del modelado y evolución del ambiente.

En la parte baja de la cuenca es posible distinguir el sector de selva donde la meteorización predominante es la química y la morfogénesis está controlada por el escurrimiento difuso, la remoción de suelos y la acción erosiva del colector principal y sus afluentes.

En la alta cuenca, con el incremento de la altura, se registra una disminución de las precipitaciones y temperaturas; esto se traduce en una modificación de la cubierta vegetal, observándose una reducción en el número de especies y un desarrollo de las mismas. En los sectores más expuestos la vegetación tiende a desaparecer dejando la roca totalmente descubierta.

IV.10.2 Relieve y procesos morfogenéticos en la Alta Cuenca

Los mecanismos crioclastismo y termoclastismo juegan un papel destacado en la producción de detritos en la zona, que sumados a los generados durante el período más húmedo, constituyen la fuente de producción de sedimentos, facilitando la acción erosiva de los ríos y los diferentes procesos de remoción en masa, encargándose estos dos últimos de transportar los materiales sueltos disponibles en la cuenca.

En la evolución del relieve es posible distinguir dos etapas netamente diferenciadas:

- La más antigua esta caracterizada por un clima frío y húmedo, coincidente con la glaciación emplazada en su momento en las Sierras de Santa Victoria y cumbres aledañas. Este período se caracterizó por una meteorización física intensa (crioclastismo), responsable en gran parte del modelado que se observa en las altas cumbres con rocas totalmente fracturadas y una producción elevada de material detrítico.
- Superado el período más húmedo, del cual quedaron los depósitos mencionados y un espeso manto de material detrítico cubriendo los afloramientos rocosos y a su vez rocas in situ afectadas por el crioclastismo (el cual en muchos casos actuó ayudado por el diaclasamiento que tenían las rocas) se pasó a una condición climática más seca como la actual.

La meteorización física sigue siendo el proceso más importante como fuente generadora de material suelto.

Debido a que en estos momentos la meteorización actúa en forma alternada según la época del año, el crioclastismo tiene vigencia en los sectores más altos donde hay posibilidad de encontrar agua. Frente a esta situación el termoclastismo adquiere un papel preponderante, dadas las diferencias diarias de temperaturas, factor que en la mayor parte de la cuenca tiene mucha importancia e incidencia.

IV.10.3 Procesos de Remoción

La remoción en masa, junto con la acción fluvial, es uno de los mecanismos morfogenéticos más activos e importantes, sobre todo en lo que se refiere a transporte y desplazamiento de sedimento tanto en volumen como en la dimensión de la carga o materiales.

En la región correspondiente a la alta cuenca actúan diferentes procesos de remoción en masa tales como:

- Flujo Denso
 - Coladas de Barro o Volcán (*mud flow*):

Este proceso de remoción encuentra a lo largo de la alta cuenca un ambiente apropiado para su generación debido a las características topográficas de la misma, traducidas en fuertes pendientes cubiertas de detritos y paredes verticales, los que pueden desplazarse con facilidad en períodos de lluvia, cuando los materiales acumulados se saturan rápidamente de agua. Esto permite el desplazamiento de grandes volúmenes de sedimentos que en forma rápida se desplazan hacia los lugares más bajos aportado de esa manera una mayor carga a los cursos fluviales que conforman la red del río Iruya.

Como consecuencia de este aporte adicional significativo, que normalmente ocurre todos los años, la mayor parte de los cauces experimentan una acreción vertical, caracterizada por un aluvionamiento como consecuencia de la incapacidad de los cursos de agua en transportar toda la carga que reciben.

Las coladas de barro, por la densidad que las caracterizan, transportan gran cantidad de bloques que luego abandonan en los cursos, permaneciendo como carga de fondo durante prolongados períodos, ante la imposibilidad de ser desplazados por el escurrimiento fluvial.

Cuando los materiales transportados por una colada se depositan en la confluencia con otro curso, suelen provocar la obstrucción de uno de ellos, impidiendo de esa manera el normal escurrimiento, provocando de esta manera la acumulación temporaria de grandes volúmenes de agua, la que al cortar dicho cierre, produce un nuevo flujo denso a partir de su rotura; de este modo, se tiene una nueva colada a partir de un mecanismo totalmente diferente a los que normalmente producen este proceso de remoción.

- Flujos detríticos (*debris flow*):

En aquellos sectores donde la resistencia de la roca aflorante es baja y la meteorización produjo materiales de granulometría menor, se suelen observar los flujos detríticos con orígenes o mecanismos de formación similares a los de la colada, notándose una marcada diferencia en el diseño del depósito terminal o final (depósitos lobulados).

Generalmente suelen ser de dimensiones menores a los de las coladas y menos frecuentes. Se caracterizan por el aporte de sedimentos finos que luego el escurrimiento fluvial transporta sin mayores inconvenientes a lo largo del río.

- **Deslizamiento**

Los deslizamientos ocupan un lugar importante entre los procesos de remoción. En especial se deben mencionar los deslizamientos de material suelto en las laderas inestables por su pronunciada pendiente y excesiva carga de detritos. No se observan en Iruya muchos casos de deslizamientos rotacionales. Los más frecuentes son los detritos desplazándose sobre la superficie de la roca infrayacente.

- **Desplomes**

Los desplomes se observan en depósitos inestables (terrazas, conos aterrizados) debido a la socavación basal de los mismos por la acción erosiva del agua de los cursos fluviales. La eliminación de los sedimentos correspondientes a los sectores más bajos desestabiliza la masa detrítica que cae por su propio peso y la falta de apoyo basal.

En algunos casos cuando el volumen caído lo permite, los desplomes interrumpen el escurrimiento del agua por el cauce, dando lugar a la formación de un dique precario que al ser destruido por el agua generan flujos densos, transformándose de esa manera en el denominado proceso complejo o mixto de remoción.

- **Procesos de remoción de detritos y caída de bloques**

Este fenómeno tiene importancia en la alta cuenca como agentes modeladores, aunque en menor grado o intensidad.

IV.10.4 Acción del escurrimiento

Con respecto a la acción del escurrimiento, se pueden diferenciar dos mecanismos efectivos, el relacionado con la concentración de las lluvias que se observa en distintos sectores y el debido propiamente a la acción erosiva de los ríos.

En el primer caso, cuando se concentra el agua de las lluvias en una zona de gran pendiente, se produce un efecto erosivo muy importante que se pone en evidencia por el intenso cárcavamiento. En algunos lugares este mecanismo de escurrimiento concentrado y posterior cárcavamiento se ve favorecido por las técnicas inapropiadas de labranza y riego utilizadas por los pobladores de la zona.

La acción erosiva de los ríos se manifiesta de diferentes formas, a partir de la mencionada con respecto al socavamiento basal de los sedimentos ubicados en ambas vertientes de los mismos y en la eliminación gradual de los materiales que abandonan en sus lechos las coladas de barro u otros procesos de remoción.

Los ríos encuentran dificultad para transportar la carga más gruesa (bloques), consecuentemente en busca de su perfil de equilibrio, eliminan considerables volúmenes de material más finos (arena-limo-arcilla) que son transportados a grandes distancias y finalmente evacuados de la cuenca del río Iruya.

Luego de producido alguno de los flujos densos, es fácil de apreciar la acción erosiva de los ríos y la consiguiente eliminación de esos materiales. En la mayor parte de los casos, los flujos de barro ocupan la totalidad de la sección transversal del cauce, acto seguido el agua forma un nuevo canal que corta al depósito más reciente. En estos casos el agua transporta por rodamiento y suspensión, la máxima cantidad de material seleccionados por tamaños, que le permite su caudal y velocidad.

De acuerdo a observaciones realizadas en la vecindad de la localidad de Iruya, algunos de estos canales alcanzan profundidades que pueden superar los dos metros y con una sección transversal que fluctúa entre los 5 y 10 metros, con un fondo de cauce tapizado de bloques, que por sus dimensiones no puede desplazar aguas abajo. El resto del material más fino (grava-limos-arcillas) fue eliminado en su totalidad.