

# Evaluación del método de predicción y de las medidas de control de la sedimentación en el embalse "San Jacinto"

ALBERTO BENÍTEZ REYNOSO (\*)

**RESUMEN** Se caracterizan brevemente la cuenca del río Tolomosa y el embalse San Jacinto, se describe la problemática de la erosión de los suelos en el Valle Central de Tarija y la sedimentación hacia el embalse San Jacinto. Se estima la sedimentación en el embalse San Jacinto usando los modelos de M. DJorovic, Fournier y Lawrence et al., se analizan los resultados de los estudios batimétricos y se comparan éstos con las predicciones hechas durante los estudios y los modelos mencionados, luego se describen, brevemente, las medidas de control reflejadas en obras físicas y biológicas. Al final, se dan las conclusiones sobre la predicción de la sedimentación hacia el embalse y el efecto de las medidas de control.

## FALTA TITULO EN INGLES

**ABSTRACT** The Tolomosa Basin River and San Jacinto Reservoir characteristics are given. Then, the Central Valley of Tarija erosion soils and Sedimentation to San Jacinto Reservoir problems are summarized. The sedimentation to San Jacinto Reservoir using M. DJorovic, Fournier and Lawrence et al. models are estimated. The results of bathymetric studies are analyzed and compared with the predictions made during the studies and the named models, the control measurements as physical and biological works are mentioned. Finally, the conclusions on sedimentation prediction and effects of control measurements are given.

**Palabras clave:** Embalse, Sedimentación, Predicción, Obras físicas y biológicas.

## 1. INTRODUCCIÓN

El lago o embalse "San Jacinto" fue creado artificialmente en base a la planificación, diseño y construcción de las obras del denominado Proyecto Múltiple San Jacinto, el mismo que se ubica en la cuenca del río Tolomosa, afluente del río Guadalquivir, el que posteriormente se convierte en río Grande de Tarija que, a su vez, confluye con el río Bermejo,

formando parte de la Gran Cuenca del Plata. En las figuras 1 y 2 se muestran las ubicaciones de Bolivia, el Departamento de Tarija y las cuencas de los ríos Guadalquivir (Valle Central de Tarija), Tolomosa y sus subcuencas.

La cuenca del río Tolomosa es una de las cuatro cuencas que forman la cuenca del río Guadalquivir o Valle Central de Tarija y tiene como límites geográficos las siguientes coordenadas (Espinoza, 2002):

| Punto | X (m)  | Y (m)   |
|-------|--------|---------|
| E     | 322220 | 7612407 |
| O     | 293364 | 7595507 |
| N     | 314806 | 7617617 |
| S     | 296971 | 7588494 |

**CUADRO 1.** Coordenadas geográficas (utm) cuenca del río Tolomosa.

(\*) Ingeniero Civil, M.Sc., Ph.D. Fundación para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Hídricos y el Medio Ambiente (HIDROBOL).



FIGURA 1. Mapa de ubicación de Bolivia en Sudamérica.

El río Tolomosa tiene, como afluentes más importantes, los ríos Sola, Pinos, Mena y Molino, cuyas características morfométricas se presentan en el cuadro 2.

Los objetivos para los cuales fue diseñado y construido el proyecto múltiple San Jacinto están divididos en tres etapas, a saber:

- Primera etapa: generación de energía hidroeléctrica.
- Segunda etapa: riego de 3.300 hectáreas.
- Tercera etapa: desarrollo del turismo.

Las características de las principales obras y del citado embalse (en la cota 1884 m.s.n.m.) pueden resumirse en:

- Presa de hormigón en arco de doble curvatura con una altura de 47.50 m.
- Dique de tierra de 2.97 km de longitud.
- Área del embalse: 5600338.00 m<sup>2</sup>.
- Perímetro del embalse: 48270.00 m
- Volumen almacenado: 49720761.00 m<sup>3</sup>

CUADRO 2. Características morfométricas cuenca Tolomosa y afluentes.

| Nombre del río | Perímetro (km) | Área (km <sup>2</sup> ) | Longitud (km) | Pendiente media (%) |
|----------------|----------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| Tolomosa       | 98.0           | 432                     | 45            | 4.8                 |
| Sola           | 70.0           | 159                     | 31            | 6.5                 |
| Pinos          | 40.0           | 80                      | 18            | 5.1                 |
| Mena           | 37.5           | 65                      | 18            | 1.2                 |
| Molino         | 43.5           | 92                      | 22            | 5.2                 |

Los estudios de preinversión, concretamente los de factibilidad se realizaron entre los años 1976 y 1978, para luego culminarse con el diseño final de las obras, las mismas que se terminan de construir en el año 1989.

En los estudios mencionados (SOFRELEC – CONSA, 1978), se estima que la cantidad de sedimentos que se depositaría en el embalse es de 271000.00 m<sup>3</sup>/año (872.00 toneladas/km<sup>2</sup>/año).

El Valle Central de Tarija o Cuenca del río Guadalquivir se halla gravemente afectado por los procesos de erosión hídrica de sus suelos, fenómeno que afecta en general a todas las actividades de la sociedad en su conjunto y en particular a las actividades agrícolas, pecuarias y la conservación de los ecosistemas.

La problemática citada tiene su origen, entre otros aspectos, en los siguientes:

- La repentina desaparición del lago que cubría parte del Valle Central de Tarija, puso al descubierto suelos de origen sedimentario, altamente susceptibles a los procesos de erosión y produjo una modificación permanente de la red de drenaje, que se manifiesta en una fuerte inestabilidad de los sedimentos finos acumulados durante muchos años.
- El régimen de precipitaciones pluviales con frecuentes eventos de gran intensidad y corta duración, que se concentran en su mayor parte (90%) entre los meses de diciembre, enero y febrero, las mismas que al impactar sobre suelos carentes de protección vegetal, producen tasas elevadas de transporte de sedimentos.
- Las acciones antrópicas como el pastoreo, la quema y la extracción de leña, que degradan la cubierta vegetal y disminuyen el nivel de protección hidrológica al suelo, generando procesos acelerados de erosión hídrica, que deterioran los ecosistemas del Valle Central de Tarija.

Debido al acelerado proceso de erosión hídrica de los suelos que sufre la Cuenca del Guadalquivir o Valle Central de Tarija en general y la cuenca del río Tolomosa en particular, varios especialistas (Benitez, 1985; Fundación Chile, 1988 y otros) alertaron sobre la cifra estimada como transporte anual al embalse San Jacinto y la calificaron como poco conservadora para los objetivos del proyecto, poniendo en riesgo la vida útil del embalse y consecuentemente el logro de los objetivos para los cuales ha sido construido.

Ante este panorama preocupante, que ocasionaría la disminución acelerada de la vida útil del embalse, se toman una serie de decisiones entre las que se citan:

- Diseño y construcción de obras, tanto físicas como biológicas que controlen la erosión de los suelos en la cuenca del río Tolomosa y minimicen el transporte de sedimentos hacia el embalse.
- Realización de estudios batimétricos que permitan determinar el volumen de sedimentos depositados en el embalse.

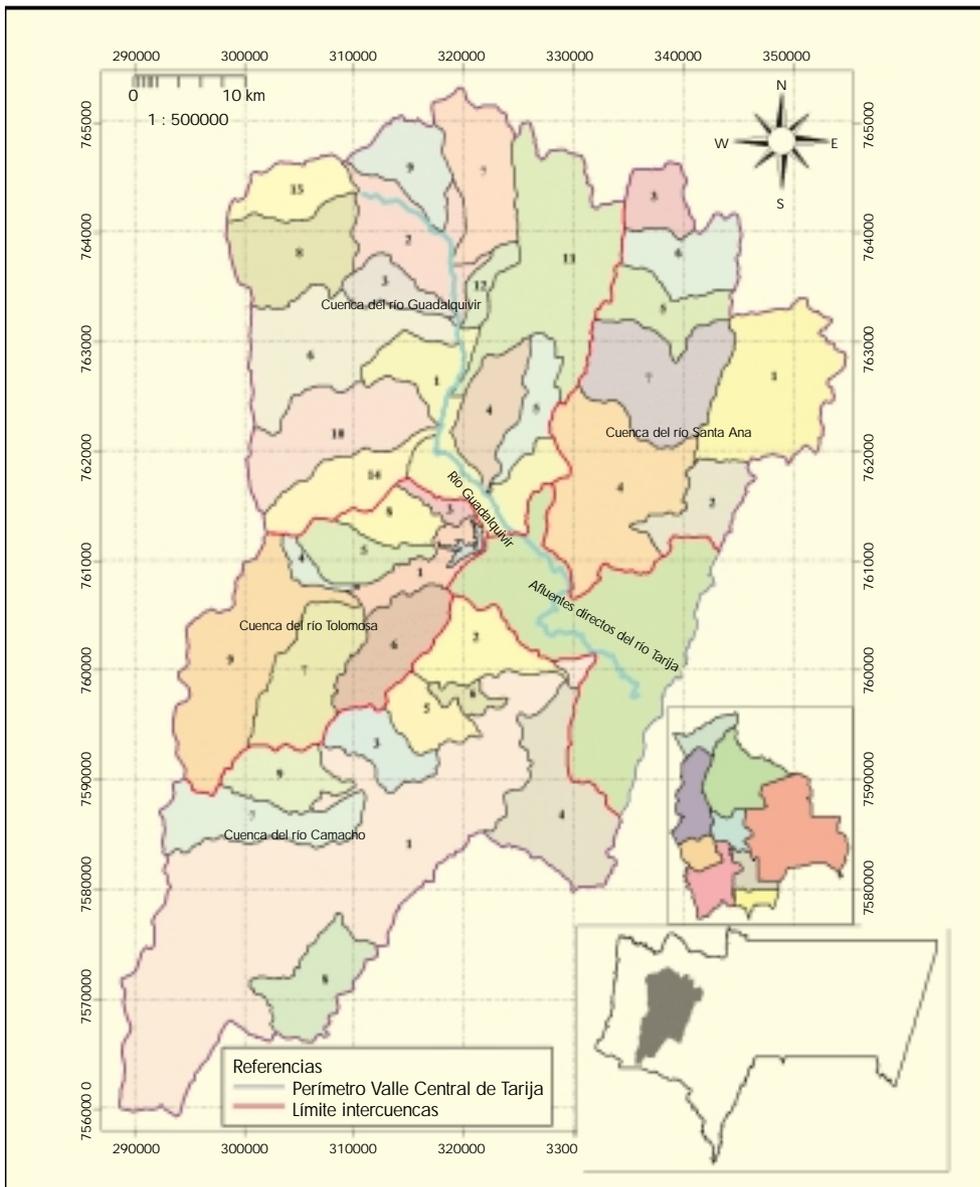


FIGURA 2. Mapa de ubicación de Tarija, Cuenca del Guadalquivir o Valle Central de Tarija y la Cuenca del Tolomosa.

En consecuencia, los objetivos del presente trabajo son:

- Evaluar la precisión del método, usado durante la etapa de los estudios de preinversión, para la estimación de las cantidades de sedimentos depositadas en el embalse "San Jacinto".
- Cuantificar el transporte de sedimentos hacia el embalse usando algunos modelos y comparar los resultados con los valores previstos en la etapa de preinversión los obtenidos en las batimetrías.
- Determinar los efectos cualitativos y cuantitativos de las medidas de control traducidas en obras físicas y biológicas proyectadas y ejecutadas en la subcuenca del río Tolomosa y su área de influencia.

## 2. METODOLOGÍA

La estrategia metodológica general que se ha seguido en la elaboración del presente trabajo tiene tres componentes, a saber:

### 2.1. ETAPA RACIONAL

Esta etapa ha consistido, en primer lugar, en la revisión y análisis críticos de la bibliografía relativa al tema y estudios elaborados sobre transporte de sedimentos hacia embalses (investigación documental).

También, la etapa racional del trabajo está relacionada directamente con el análisis de la metodología empleada para la estimación del transporte de sedimentos hacia el embalse de San Jacinto en la etapa de preinversión, el análisis de los resultados de las mediciones realizadas en el río Grande de Tarija y el proceso erosivo que sufre el Valle Central de Tarija, los resultados obtenidos en otras cuencas vecinas, la estimación del transporte de sedimentos en la cuenca del río Tolomosa usando otros métodos o modelos, la valoración de los resultados de los estudios batimétricos con respecto a las predicciones hechas anteriormente y el análisis de los efectos de las obras físicas y biológicas ejecutadas en la cuenca.

El análisis comparativo entre los modelos empleados para la estimación del transporte de sedimentos y los resultados de los estudios batimétricos ha permitido tomar una posición respecto de los primeros.

## 2.2. ETAPA EMPÍRICA

La parte empírica del trabajo tiene relación con las mediciones, sobre el transporte de sedimentos, realizadas en la cuenca del río Grande de Tarija en las estaciones Algarrobito - San Telmo y Astilleros (Agua y Energía Eléctrica, 1987).

Adicionalmente, en esta misma etapa, se han considerado los estudios batimétricos de campo realizados (Servicio Nacional de Hidrografía Naval, 1989 y 1995 y CARYGLOBAL, 2004).

Finalmente, la etapa empírica del trabajo fue enriquecida y complementada con inspecciones técnicas periódicas, tanto al embalse San Jacinto como a la cuenca del río Tolomosa con la finalidad de valorar in-situ las obras biológicas y físicas y organizar un registro gráfico de la situación.

## 2.3. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Para la determinación y verificación de algunos indicadores, se han empleado métodos estadísticos clásicos, en especial para el cálculo de la tasa anual del transporte de sedimentos en el río Grande de Tarija, en las estaciones mencionadas más arriba. Asimismo, se han usado métodos estadísticos para el análisis y cuantificación de las variables más relevantes que intervienen en los diferentes métodos para la estimación del transporte de sedimentos o erosión específica, los cuales se detallan en los párrafos que siguen.

## 2.4. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN

Con relación a las metodologías específicas para la estimación indirecta de la tasa de transporte de sedimentos en función de algunos parámetros característicos de la cuenca, se han usado los siguientes métodos o modelos:

### a) Modelo de M. Djorovic

El uso de este modelo conduce a la determinación de la degradación específica de cuencas no muy extensas y con características torrenciales, mediante la evaluación de una serie de parámetros representativos de cada uno de los factores influyentes en los procesos erosivos, es decir, precipitación pluvial, temperatura, suelos, relieve y vegetación. Considera, además, un parámetro para estimar la influencia del grado de intensidad que han alcanzado los procesos erosivos presentes en la cuenca y el tipo de erosión predominante (Fundación Chile, 1988). El modelo viene definido por la ecuación:

$$W = \pi ThF\sqrt{Z^3}$$

Siendo:

$W$  = caudal sólido en  $m^3/año$ , como medida de la degradación específica de la cuenca;

$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 1}$  = factor de temperatura;  $t_0$  es la temperatura media anual de la cuenca en  $^{\circ}C$ ;

$h$  = Precipitación media anual en mm;

$F$  = Superficie de la cuenca en proyección horizontal en  $km^2$ ;

$Z$  = Coeficiente de erosión que refleja la intensidad y extensión del fenómeno erosivo de una cuenca, valora,

además, la influencia de los factores de suelo, vegetación y relieve mediante la siguiente expresión:

$$Z = XY(@ + \sqrt{P})$$

Donde:

$X$  = Coeficiente adimensional que cuantifica el estado de la cubierta vegetal y las prácticas de conservación de suelos, variando de 0.05 para bosques y vegetación arbustiva bien cubierta a 1.0 para suelos desnudos sin labrar;

$Y$  = Coeficiente adimensional de erosionabilidad del suelo que varía de 0.05 para los suelos con estructura menos erosionable a 2.0 para arenas, gravas y suelos sueltos;

@ = Coeficiente adimensional que cuantifica el estado erosivo de la cuenca, desde 0.2 para cuencas sin otro tipo de erosión manifiesto que pequeños deslizamientos de márgenes en la red de drenaje a 0.1 en cuencas en su totalidad bajo procesos erosivos profundos.

$P$  = Pendiente media de la cuenca como parámetro representativo del factor de relieve, expresado en %.

El valor  $Z$ , representativo de la cuenca, se calcula como media ponderada de los distintos valores de este coeficiente, obtenidos para cada una de las superficies parciales que integran los diferentes valores de los coeficientes representativos de los factores:

$$Z = \frac{\sum Z_i @_i}{F}$$

Siendo  $Z_i$  y  $@_i$  los valores parciales que en cada caso corresponden al coeficiente de erosión.

Por las características torrenciales de la cuenca del río Tolomosa, se considera que el modelo es apropiado para estimar su degradación específica.

### b) Método de Fournier

El método se sustenta en el análisis de las relaciones entre la acumulación de sedimentos registrados en varios embalses y los parámetros topográficos y climáticos de sus cuencas vertientes (Fournier, 1960). Del estudio de 96 embalses, en cuencas de todo el mundo, se han desarrollado unas relaciones lineales entre los valores de las aportaciones sólidas anuales y un coeficiente asociado al potencial erosivo de las precipitaciones. El valor de la erosión específica, en toneladas/ $km^2/año$ , que proporciona este procedimiento debe entenderse como la acumulación de sedimentos en los embalses, puesto que, como se dijo, las correlaciones establecidas se basan en la comparación entre los valores de la sedimentación observada en determinados embalses y los parámetros climatológicos y topográficos correspondientes sus cuencas vertientes.

Las relaciones propuestas por Fournier son:

$$Y = 6.14X - 49.78$$

(cuenca de relieve poco acentuado,  $Htan\alpha < 6$  y  $X < 20$ )

$$Y = 27.12X - 475.4$$

(cuenca de relieve poco acentuado y  $X > 20$ )

$$Y = 52.49X - 513.21$$

(cuenca de relieve acentuado,  $Htan\alpha > 6$  y cualquier clima, excepto climas áridos)

$$Y = 91.78X - 737.62$$

(cuenca con relieve acentuado situadas en climas semiáridos)

La clasificación climática se realiza de acuerdo a los índices de Turc:

- $P > P_1$ : zona húmeda
- $P_2 < P \leq P_1$ : zona semiárida
- $P \leq P_2$ : zona árida

En estas ecuaciones, P es la precipitación media anual sobre la cuenca y  $P_1$  y  $P_2$  son valores definidos por las siguientes ecuaciones:

$$P_1 = 0.632L; L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

$$P_2 = 0.316L; T = \text{temperatura media anual sobre la cuenca (}^\circ\text{C)}$$

En las expresiones algebraicas anteriores:

- Y = erosión específica en toneladas/km<sup>2</sup>/año;
- X = factor pluviométrico =  $p^2/P$  (mm);
- p = precipitación del mes de mayor pluviometría (mm);
- P = precipitación media anual sobre la cuenca (mm);
- H = altura media de la cuenca (m), cota media sobre la del cauce en el punto más bajo de la cuenca;
- tan $\alpha$  = coeficiente de pasividad, según Martonne; igual a la altura media de la cuenca dividida por la proyección horizontal de su superficie.

**c) Modelo de Lawrence, et al.**

Lawrence, P. et al. (2004), basados en mediciones realizadas en embalses de pequeñas cuencas y algunas de sus características, en zonas semiáridas del este y del sur de África, han propuesto el modelo siguiente:

$$Y = 0.0194 A^{-0.2} P^{0.7} S^{0.3} (EA)^{1.2} (TS)^{0.7} (CV)^{0.5}$$

donde:

- Y = sedimentación expresada en toneladas/km<sup>2</sup>/año;
- A = área de la cuenca en km<sup>2</sup>;
- P = precipitación media anual en mm;
- S = pendiente del curso principal de agua, desde el borde de la cuenca hasta la presa;
- EA = coeficiente de erosión activa del suelo;
- TS = coeficiente de tipo de suelo y drenaje;
- CV = condición de vegetación de la cuenca.

Los coeficientes EA, TS y CV son determinados en función de una caracterización de la cuenca, para lo cual se ha propuesto una tabla que sugiere valores para diferentes condiciones.

**3. RESULTADOS**

**3.1. ESTIMACIÓN DE LA SEDIMENTACIÓN**

Se recuerda que, en la etapa de los estudios de preinversión, la sedimentación hacia el embalse ha sido estimada en 271000.00 m<sup>3</sup>/año (872.00 toneladas/km<sup>2</sup>/año).

El análisis y procesamiento de la información publicada en la Estadística Hidrológica hasta 1983 Tomo II: Sedimentología - Nivología (MOSP, Agua y Energía Eléctrica, 1987), concretamente en las estaciones Algarrobito – San Telmo y Astilleros, ambas ubicadas en el río Grande de Tarija, del cual son afluentes el Guadalquivir y el Tolomosa, conduce a establecer lo siguiente:

- En la estación Algarrobito – San Telmo, el transporte promedio anual de sedimentos se estima en 11418000 toneladas/año, que equivale a una tasa específica de 1091.59 toneladas/km<sup>2</sup>/año (periodo de registro: 1968 – 1981).
- En la estación astilleros, se alcanza un valor promedio de 10969400 toneladas/año, es decir, una tasa específica de 1142.65 toneladas/km<sup>2</sup>/año (periodo de registro: 1969 – 1983).
- El promedio aritmético de las cifras correspondientes a las dos estaciones mencionadas arroja un valor de 1117 toneladas/km<sup>2</sup>/año.

Este último valor, si bien no es el reflejo particular de lo que ocurre en la cuenca del Tolomosa, es un referente importante de la degradación global de la cuenca del río Grande de Tarija de la que es parte la primera. Como puede apreciarse, la cifra es considerablemente mayor que la obtenida en los estudios de preinversión del proyecto. En todo caso, esta es una ratificación de lo que se advirtió (Benítez, 1985).

Para la estimación de la erosión específica en la cuenca del río Tolomosa, usando los modelos de M. Djorovic, Fournier y Lawrence et al., en primer lugar se han determinado los siguientes valores que corresponden a las características más importantes de la cuenca:

- Temperatura media anual = 18°C;
- Precipitación media anual = 1020 mm;
- Superficie de la cuenca = 432 km<sup>2</sup>;
- Precipitación del mes de mayor pluviometría = 232 mm;
- Altitud máxima de la cuenca = 4000 m;
- Altitud mínima de la cuenca = 1835 m;
- Z = 0.5434, para el modelo de M. Djorovic (valor estimado por Fundación Chile).

Por otra parte, los coeficientes EA, TS y CV, en el caso del modelo de Lawrence, han sido determinados considerando los valores propuestos por los autores y teniendo en cuenta las características de la cuenca del río Tolomosa en relación a los síntomas de erosión activa de los suelos, tipo de suelos y drenaje y condición de vegetación sobre la cuenca.

- EA = 40;
- TS = 40;
- CV = 40.

En consecuencia, los resultados de la erosión específica, se presentan en el cuadro 3.

| No. | Modelo          | Toneladas/km <sup>2</sup> /año | m <sup>3</sup> /año |
|-----|-----------------|--------------------------------|---------------------|
| 1   | M. Djorovic     | 2100.74                        | 648228.34           |
| 2   | Fournier        | 2256.69                        | 696350.06           |
| 3   | Lawrence et al. | 2067.48                        | 637965.26           |

**CUADRO 3.** Erosión específica en la cuenca del río Tolomosa

CUADRO 4. Resultados de los estudios batimétricos embalse san jacinto

| Batimetría (Año) | Volumen almacenado (m <sup>3</sup> ) (1884 m.s.n.m.) | Volumen de sedimentación (m <sup>3</sup> ) |
|------------------|--|--|
| Noviembre, 1989  | 58003421.3   |  |
|                  |  | 4121721.9                                  |
| Junio, 1995      | 53881699.4   |  |
|                  |  | 4160937.9                                  |
| Agosto, 2004     | 49720761.5   |  |

### 3.2. LOS ESTUDIOS BATIMÉTRICOS

Los estudios batimétricos, tal como se dijo, son encargados en 1989, 1995 y 2004, cuyos resultados, en relación a la cantidad de sedimentos acumulados, se presentan en el cuadro 4.

Los valores presentados en el cuadro que antecede reflejan los siguientes elementos:

- En el periodo 1989 – 1995, se han depositado en el embalse 4121721.9 m<sup>3</sup> de sedimentos, lo que significa un promedio anual de 736022 m<sup>3</sup> o 2385 toneladas/km<sup>2</sup>/año.
- En el periodo 1995 – 2004, han llegado al embalse 4160937.9 m<sup>3</sup>, esto quiere decir, un promedio anual de 462326 m<sup>3</sup> o 1498 toneladas/km<sup>2</sup>/año.
- Entre 1989 y 2004, se depositaron en el embalse 8282659.8, lo que arroja un promedio anual de 567305 m<sup>3</sup> o 1838 toneladas /km<sup>2</sup>/año.<sup>1</sup>

Adicionalmente, con fines comparativos, otros estudios (SYNCONSULT, S.L., 1987), indican que la erosión específica de los suelos en las cuencas de los ríos Trancas, Canasmoro y Sella, que forman parte del Valle Central de Tarija y de la cuenca del río Grande de Tarija, alcanzan los valores que se presentan en el cuadro 5, estimados mediante el método de Fournier.

### 3.3. LAS OBRAS FÍSICAS Y BIOLÓGICAS

El problema descrito sintéticamente en los párrafos precedentes ha conducido a proponer soluciones que, por una parte, minimicen el transporte de sedimentos hacia el embalse y, por otra, permitan un manejo integral de la cuenca del río Tolomosa.

En este marco, se han realizado una serie de estudios y diseños entre los que se mencionan el Proyecto de Manejo Integral de la Cuenca del Tolomosa (Prefectura del Departamento de Tarija – PERTT), el estudio de Codetar (1995) y el de la Fundación Chile (1988) como los más importantes y otras acciones desarrolladas por las instituciones ligadas al tema.

Las soluciones que se han planteado en los diferentes documentos técnicos son, de manera general, coincidentes. Los elementos biológicos de estas soluciones se resumen en los siguientes elementos:

<sup>1</sup> Debido a que el sedimento es arenoso con unos contenidos de limo y arcilla muy escasos, se ha considerado que no presenta una compactación significativa.

| Cuenca    | Erosión específica (toneladas/km <sup>2</sup> /año) |
|-----------|---|
| Trancas   | 2300  |
| Canasmoro | 2266  |
| Sella     | 2017  |

CUADRO 5. Resultados de erosión específica cuencas Trancas, Canasmoro y Sella.

- Programa de recuperación de suelos, con importantes acciones entre las que se destacan la siembra, la fertilización, construcción de medias lunas y exclusión.
- Diseño e implementación de viveros forestales, con capacidad de producción de 330000 plantas anuales para satisfacer los requerimientos de plantación y replante de 500 hectáreas.
- Forestación de 500 hectáreas en un periodo de dos años.

Por otra parte, considerando que el transporte de sedimentos hacia el embalse debe ser minimizado con la ayuda de obras físicas, se ha previsto:

- Construcción de pequeños diques de tierra en los cursos de las quebradas, afluentes a los cauces principales, en las áreas identificadas como críticas. Estos diques permitirán detener el arrastre de sedimentos en forma eficiente e inmediata. Se ubican en la parte más próxima a las confluencias con los cauces principales, con alturas variables de acuerdo a la topografía y al tamaño del vaso. En general se ha previsto un dique en cada quebrada.
- Construcción de trampas de sedimentos en los cursos de quebradas de pie de monte, consistentes en la ejecución de diques permeables que permitan la detención del sedimento grueso o sedimento de arrastre y, en su caso, la disminución de la capacidad de arrastre.
- Complementación de estas acciones con la construcción de cercamientos para la regeneración natural y el posterior manejo silvo pastoril en el área.

Los citados documentos indican que este conjunto de acciones son parte de un programa de manejo integral de la cuenca y, por ello, se han previsto proyectos que forman

parte del programa como los de "plantaciones de protección en las áreas de pie de monte" y "manejo y conservación de suelos agrícolas en la cuenca".

Las principales obras ejecutadas hasta la fecha son:

- 8 diques de sedimentación en la quebrada La Tablada y 13 diques en la quebrada Seca, entre los años 1997 y 1998.
- 8 diques en el sector Churquis y 4 diques en el sector Pampa Redonda, ambos ubicados en la subcuenca del río Mena, construidos entre los años 2003 y 2004.
- Cerramientos, plantaciones forestales, plantaciones frutales, barreras vivas, arbustos, asistencia técnica, etc., en los sitios mencionados en los párrafos que preceden, entre los años 1997 y 2004.
- Además, el Programa Ejecutivo de Rehabilitación de Tierras (2004) informa la construcción de más de 10 pequeñas presas de tierra situadas en diferentes sectores de la cuenca del Tolomosa y la realización de prácticas agroforestales.

#### 4. CONCLUSIONES

- La cifra estimada durante la etapa de los estudios de preinversión, de 271000.00 m<sup>3</sup>/año (872.00 toneladas/km<sup>2</sup>/año) es, evidentemente, muy baja, tal como se había advertido.
- La consideración, como un indicador general, del valor de la tasa anual del transporte de sedimentos, obtenido por mediciones directas, en la cuenca del río Grande de Tarija (1117 toneladas/km<sup>2</sup>/año), aún siendo bajo, es más alto que el mencionado en el párrafo que precede y hubiese permitido tener presente la gravedad de la subestimación anotada.
- Considerando la pobreza en la cantidad y calidad de la información, el método utilizado para la predicción de la cantidad de sedimentos transportados hacia el embalse San Jacinto, citado en los estudios de preinversión, no ha sido aplicado apropiadamente.
- Si se toman en cuenta las mediciones hechas mediante los estudios batimétricos del año 1995, las cuales indican que se han depositado en el embalse 4121721.9 m<sup>3</sup> de sedimentos (736022 m<sup>3</sup>/año o 2385 toneladas/km<sup>2</sup>/año), se evidencia que los modelos de M. Djorovic, Fournier y Lawrence et al., arrojan valores muy próximos a la realidad observada (batimétrías).
- Las 2385 toneladas/km<sup>2</sup>/año, producto de las mediciones efectuadas en 1995 tienen una coherente aproximación a las cifras obtenidas para las cuencas de los ríos Trancas (2300 toneladas/km<sup>2</sup>/año), Canasmoro (2266 toneladas/km<sup>2</sup>/año) y Sella (2017 toneladas/km<sup>2</sup>/año), las mismas que, al igual que la cuenca del río Tolomosa, son parte del Valle Central de Tarija o río Guadalquivir.
- Se comprueba, una vez más, tal como destacan otros autores (Linsley et al., 1992) que las metodologías y criterios para la estimación de la sedimentación en embalses son útiles para la predicción bajo condiciones específicas para las cuales fueron desarrollados, pero, que su extrapolación hacia condiciones diferentes es muy riesgosa.
- Las mediciones efectuadas durante los estudios batimétricos de 2004 indican que en el periodo 1995 -

2004 han llegado al embalse 4160937.9 m<sup>3</sup> (un promedio anual de 462326 m<sup>3</sup> o 1498 toneladas/km<sup>2</sup>/año). Esto significa que, hay una evidente disminución de la cantidad anual de sedimentos depositada en el embalse, de 273696 m<sup>3</sup>/año (887 toneladas/km<sup>2</sup>/año), cifra comparable con la predicción hecha durante los estudios de preinversión.

- Lo expresado en el párrafo anterior conduce a establecer categóricamente que las medidas de control del transporte de sedimentos hacia el embalse San Jacinto, reflejadas en las obras físicas y biológicas ya descritas, han tenido un efecto importante y han logrado su objetivo.
- Finalmente, se evidencia, una vez más, la necesidad y utilidad de tratar integralmente la gestión de los embalses considerando todos sus elementos.

#### 5. REFERENCIAS

1. Agua y Energía Eléctrica (1987). *Estadística Hidrológica hasta 1987; sedimentología y nivología; tomo II*. Buenos Aires, Argentina.
2. Benítez, A. (1985). *Informe interno sobre la sedimentación en el embalse San Jacinto*. Codetar, Tarija, Bolivia.
3. Benítez, A. (1999). *Criterios y parámetros para la clasificación de los cursos de agua en la cuenca binacional del río Bermejo*. Programa Estratégico de Acción, Tarija, Bolivia.
4. CARYGLOBAL, S.R.L. (2004). *Batimetría del lago San Jacinto*. Tarija, Bolivia.
5. Corporación Regional de Desarrollo de Tarija (1995). *Estudio del control de sedimentos en la cuenca del río Tolomosa*. Tarija, Bolivia.
6. Espinoza, L. (2002). *Estimación del riesgo a la erosión en la cuenca del río Tolomosa*. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia.
7. Fournier, F. (1960). *Climat et erosion*. Ed. Presses Universitaires de France, París.
8. Fundación Chile (1988). *Proyecto piloto de restauración productiva de la cuenca del río Tolomosa; un modelo de desarrollo agroforestal*. Tarija, Bolivia.
9. Lawrence, et al. (2004). *Sedimentation in Small Dams; development of a catchment characterisation and sediment yield prediction procedure*. HR Wallinford, Department for International Development, England.
10. Maidment, D.R. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw Hill, New York, USA.
11. Prefectura del Departamento de Tarija - Programa Ejecutivo de Rehabilitación de Tierras (2004). *Proyecto de Manejo Integral Cuenca del Tolomosa; informe de gestión*. Tarija, Bolivia.
12. SOFRELEC y CONSA (1978). *Estudio de factibilidad del Proyecto Múltiple San Jacinto; Volumen II - Tomo I; Anexo II - 5: Estudio Hidrológico*. Tarija, Bolivia.
13. SYNCONSULT, S.L. (1987). *Proyecto de desarrollo agropecuario en la Cuenca Alta del Guadalquivir. Estudio de Erosión y Sedimentación*. Madrid, España.
14. Vanoni, V.A. (1975), Ed. *Sedimentation Engineering*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, New York.